

Cilt / Volume: 13, Sayı / Issue: 2

Haziran / June, 2023

ISSN 2146-0574

E-ISSN 2536-4618

FBED / JIST

Uluslararası Hakemli Dergi / International Peer Reviewed Journal

**İĞDIR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ DERGİSİ**

**JOURNAL OF THE INSTITUTE
OF SCIENCE AND
TECHNOLOGY**



FBED / JIST

IĞDIR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ DERGİSİ

Journal of the Institute
of Science and Technology

<http://dergipark.gov.tr/jist>



İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

Kısaltılmış Başlık: İğdır Üniv. Fen Bil. Enst. Der.

Journal of the Institute of Science and Technology

Abbreviated Title: J. Inst. Sci. and Tech.

Uluslararası Hakemli Dergi / International Peer Reviewed Journal

Basılı ISSN: 2146-0574

Elektronik ISSN: 2536-4618

Veri Tabanı / Indexed by

TR Dizin, EBSCO, ROAD, Open Access Library (oalib), COSMOS IF, Sobiad, Google Scholar, Türkiye Atıf Dizini, International Institute of Organized Researches, Sindex, CrossRef, Scientific Indexing Services (SIS), Eurasian Scientific Journal Index, CiteFactor, International Scientific Indexing, CAB Abstract, Online Journal Platform and Indexing Association (OJOP)

Sahibi / Owner

Doç. Dr. Ahmet TAN / Assoc. Dr. Ahmet TAN

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü / Graduate Education Institute Director

Baş Editör / Editor in Chief

Doç. Dr. Fikret TÜRKAN / Assoc. Prof. Dr. Fikret TÜRKAN

Yardımcı Editörler / Associate Editors

Doç. Dr. Adem KOÇYİĞİT / Assoc. Prof. Dr. Adem KOÇYİĞİT

Doç. Dr. Ersin GÜLSOY / Assoc. Prof. Dr. Ersin GÜLSOY

Dr. Öğr. Üyesi Sevtap TIRINK / Assist. Prof. Dr. Sevtap TIRINK

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Harbi ÇALIMLI / Assist. Prof. Dr. Mehmet Harbi ÇALIMLI

Danışma Kurulu/ Advisory Board

Prof. Dr. Selahattin ÇELEBİ, *Fizik*, University of Ottawa, Canada

Prof. Dr. Kağan KÖKTEN / *Field Crop*, Bingöl Üniversitesi, Agricultural, Bingöl, Türkiye

Prof. Dr. Abdulmecit TÜRÜT/ *Physics*, İstanbul Medeniyet Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

Prof. Dr. Muhammad SARWAR, *Animal Science*, University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan

Prof. Dr. Vaqif ABBASOV, *Chemistry*, Neft Kimya Prosesleri Institutu, Azərbaycan

Prof. Dr. Şükrü BEYDEMİR, *Biochemistry*, Anadolu Üniversitesi, Eskisehir, Türkiye

Prof. Dr. Özkan AKSAKAL, *Botanical*, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye

Prof. Dr. Salih DOĞAN, *Zoology*, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Erzincan, Türkiye

Doç. Dr. Üyesi Mehmet POLAT, *Horticulture*, Isparta Üniversitesi, Isparta, Türkiye

Dr. Snezana ANDJELKOVIC, *Forage Crops*, Institute Za Krmno Bilje, Krusevac, Republic of Serbia

Dr. Öğr. Üyesi Asim FARAZ, *Zootekni*, Bahauddin Zakariya University Multan, Pakistan

Yayın ve Mizanpaj Editörleri / Editorial Reviews and Layouts

Dr. Öğr. Üyesi Ayşe KARACALI TUNÇ

Öğr. Gör. Dr. Adem AKDAĞ

Öğr. Gör. Rabia ACEMİOĞLU

Öğr. Gör. Cansu ÇOLAK

Öğr. Gör. Binnaz BOZKURT

Tasarım / Design

Öğr. Gör. Dr. Adem AKDAĞ

Web link: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jist>

Mail address: fbed@igdir.edu.tr

ULUSAL EDİTÖRLER KURULU
NATIONAL EDITORIAL BOARD

Prof. Dr. Ferhad MURADOĞLU, <i>Horticulture</i> Abant İzzet Baysal University, Bolu, Türkiye	Doç. Dr. Adem KOÇYİĞİT, <i>Electrical Electronic Engineering</i> İğdır University, İğdır, Türkiye
Prof. Dr. Beyhan KİBAR, <i>Horticulture</i> Abant İzzet Baysal University, Bolu, Türkiye	Doç. Dr. Kenan ÇİÇEK, <i>Electrical Electronic Engineering</i> İğdır University, İğdır, Türkiye
Doç. Dr. Ersin GÜLSOY, <i>Horticulture</i> İğdır University, İğdır, Türkiye	Dr. Öğr. Üyesi Agah Oktay ERTAY, <i>Electrical Electronic Engineering</i> Erzincan Binali Yıldırım University, Erzincan, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Mete YAĞANOĞLU, <i>Computer Engineering</i> Atatürk University, Erzurum, Türkiye	Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Said BOYBAY, <i>Electrical Electronic Engineering</i> İğdır University, İğdır, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Gültekin IŞIK, <i>Computer Engineering</i> İğdır University, İğdır, Türkiye	Doç. Dr. Seda TÜRK, <i>Industrial Engineering</i> İğdır University, İğdır, Türkiye
Doç. Dr. Ferhat BOZKURT, <i>Computer Engineering</i> Atatürk University, Erzurum, Türkiye	Dr. Öğr. Üyesi Hamid YILMAZ, <i>Industrial Engineering</i> Bayburt University, Bayburt, Türkiye
Dr. Fatma Özge ÖZKÖK, <i>Computer Engineering</i> Erciyes University, Kayseri, Türkiye	Doç. Dr. İkram ORAK, <i>Physics</i> Bingöl University, Bingöl, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi İshak PACAL, <i>Computer Engineering</i> İğdır University, İğdır, Türkiye	Dr. Öğr. Üyesi Osman AĞAR, <i>Physics</i> Karamanoğlu Mehmetbey University, Karaman, Türkiye
Prof. Dr. Ahmet ULUDAĞ, <i>Plant Protection</i> Düzce University, Düzce, Türkiye	Doç. Dr. Abdulkemal KARABULUT, <i>Physics</i> Erzurum Technical University, Erzurum, Türkiye
Doç. Dr. Celalettin GÖZÜAÇIK, <i>Plant Protection</i> İğdır University, İğdır, Türkiye	Doç. Dr. Harun GÜNEY, <i>Physics</i> Atatürk University, Erzurum, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Tuba GENÇ KESİMCİ, <i>Plant Protection</i> İğdır University, İğdır, Türkiye	Prof. Dr. İhsan Güngör ŞAT, <i>Food Engineering</i> Atatürk University, Erzurum, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Ramazan GÜRBÜZ, <i>Plant Protection</i> İğdır University, İğdır, Türkiye	Prof. Dr. Ahmet ERDOĞAN, <i>Food Engineering</i> Atatürk University, Erzurum, Türkiye
Prof. Dr. Ümit İNCEKARA, <i>Biology</i> Atatürk University, Erzurum, Türkiye	Dr. Öğr. Üyesi Yasemin ÇELEBİ SEZER, <i>Food Engineering</i> Uşak University, Uşak, Türkiye
Prof. Dr. Hasan AKAN, <i>Biology</i> Harran University, Şanlıurfa, Türkiye	Dr. Öğr. Üyesi Mubin KOYUNCU, <i>Food Engineering</i> İğdır University, İğdır, Türkiye
Doç. Dr. Tülin GÜVEN GÖKMEK, <i>Biology</i> Çukurova University, Adana, Türkiye	Öğr. Dr. Hacer AKPOLAT, <i>Food Engineering</i> Bayburt University, Bayburt, Türkiye
Doç. Dr. Medeni AYKUT, <i>Biology</i> Dicle University, Diyarbakır, Türkiye	Öğr. Dr. Menekşe BULUT, <i>Food Engineering</i> İğdır University, İğdır, Türkiye
Doç. Dr. Erhan ZEYTUN, <i>Biology</i> Erzincan Binali Yıldırım University, Erzincan, Türkiye	Doç. Dr. Muhammed Yasin ÇODUR, <i>Civil Engineering</i> Erzurum Technical University, Erzurum, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Emel DIRAZ YILDIRIM, <i>Biology</i> Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Kahramanmaraş, Türkiye	Doç. Dr. Rıza POLAT, <i>Civil Engineering</i> Atatürk University, Erzurum, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet POLAT, <i>Biology</i> Atatürk University, Erzurum, Türkiye	Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Alperen ÖZDEMİR, <i>Civil Engineering</i> İğdır University, İğdır, Türkiye
Prof. Dr. Hakan KİBAR, <i>Biosystem Engineering</i> Bolu Abant İzzet Baysal University, Bolu, Türkiye	Prof. Dr. Mehmet GÜLCAN, <i>Chemistry</i> Van Yüzüncü Yıl University, Van, Türkiye
Prof. Dr. Sefa ALTİKAT, <i>Biosystem Engineering</i> İğdır University, İğdır, Türkiye	Prof. Dr. İbrahim DEMİRTAŞ, <i>Chemistry</i> İğdır University, İğdır, Türkiye
Prof. Dr. Bahtiyar ÖZTÜRK, <i>Environmental Engineering</i> Ondokuz Mayıs University, Samsun, Türkiye	Prof. Dr. İlhami GÜLÇİN, <i>Chemistry</i> Atatürk University, Erzurum, Türkiye
Prof. Dr. Alper NUHOĞLU, <i>Environmental Engineering</i> Atatürk University, Erzurum, Türkiye	Prof. Dr. Fatma Zerrin SALTAN, <i>Chemistry</i> Anadolu University, Eskişehir, Türkiye
Doç. Dr. Hülya ÖZKOÇ, <i>Environmental Engineering</i> Ondokuz Mayıs University, Samsun, Türkiye	Prof. Dr. Ercan BURSAL, <i>Chemistry</i> Muş Alparslan University, Muş, Türkiye
Doç. Dr. Züleyha REÇBER, <i>Environmental Engineering</i> İğdır University, İğdır, Türkiye	Prof. Dr. Mehmet Salih AĞIRTAŞ, <i>Chemistry</i> Van Yüzüncü Yıl University, Van, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Sinan KUL, <i>Environmental Engineering</i> Bayburt University, Bayburt, Türkiye	Doç. Dr. Fikret TÜRKAN, <i>Chemistry</i> İğdır University, İğdır, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Sevtap TIRINK, <i>Environmental Engineering</i> İğdır University, İğdır, Türkiye	Doç. Dr. Mesut IŞIK, <i>Chemistry</i> Bilecik Şeyh Edebali University, Bilecik, Türkiye

Doç. Dr. Haydar KILIÇ, Chemistry Atatürk University, Erzurum, Türkiye	Prof. Dr. Mehmet Hakkı ALMA, Forestry Engineering Iğdır University, Iğdır, Türkiye
Doç. Dr. Adnan ÇETİN, Chemistry Van Yüzüncü Yıl University, Van, Türkiye	Prof. Dr. Ahmet ADIGÜZEL, Molecular Biology and Genetic Atatürk University, Erzurum, Türkiye
Doç. Dr. Hasan SAYGILI, Chemistry Bingöl University, Bingöl, Türkiye	Doç. Dr. Can Ali AĞCA, Molecular Biology and Genetic Bingöl University, Bingöl, Türkiye
Doç. Dr. Cüneyt ÇAĞLAYAN, Chemistry Bingöl University, Bingöl, Türkiye	Dr. Öğr. Üyesi Kaan HÜRKAN, Molecular Biology and Genetic Iğdır University, Iğdır, Türkiye
Doç. Dr. Velid UNSAL, Chemistry Mardin Artuklu University, Mardin, Türkiye	Dr. Öğr. Üyesi Barış EREN, Molecular Biology and Genetic Iğdır University, Iğdır, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Servet AŞKIN, Chemistry Iğdır University, Iğdır, Türkiye	Prof. Dr. Mehmet Akif IRMAK, Landscape Architecture Atatürk University, Erzurum, Türkiye
Doç. Dr. Uğur GÜLLER, Chemistry Iğdır University, Iğdır, Türkiye	Dr. Öğr. Üyesi Meryem Bihter BİNGÜL BULUT, Landscape Architecture Kırkkale University, Kırkkale, Türkiye
Doç. Dr. Zeynep Şilan TURHAN, Chemistry Iğdır University, Iğdır, Türkiye	Doç. Dr. İlknur MERİÇ TURGUT, Fisheries Ankara University, Ankara, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa KAZANCIOĞLU, Chemistry Kilis 7 Aralık University, Kilis, Türkiye	Doç. Dr. Alihsan ŞEKERTEKİN, Map Engineering Iğdır University Iğdır, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Adem RÜZGAR, Chemistry Van Yüzüncü Yıl University, Van, Türkiye	Doç. Dr. Yakup Erdal ERTÜRK, Agricultural Economy Iğdır University, Iğdır, Türkiye
Doç. Dr. Gülşah SAYDAN KANBEROĞLU, Chemistry Van Yüzüncü Yıl University, Van, Türkiye	Doç. Dr. Bengü EVEREST, Agricultural Economy Çanakkale Onsekiz Mart University, Çanakkale, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Harbi ÇALIMLI, Chemistry Iğdır University, Iğdır, Türkiye	Dr. Öğr. Üyesi Tuba ALBAYRAK, Agricultural Economy Bozok University, Yozgat, Türkiye
Prof. Dr. Alime ÇITAK, Chemistry Engineering Eskişehir Osmangazi University, Eskişehir, Türkiye	Dr. Öğr. Üyesi Selime CANAN, Agricultural Economy Ondokuz Mayıs University, Samsun, Türkiye
Doç. Dr. Selçuk EKİCİ, Mechanical Engineering Iğdır University, Iğdır, Türkiye	Dr. Öğr. Üyesi Kasım ŞAHİN, Farming Economy, Iğdır University, Iğdır, Türkiye
Doç. Dr. Mahir UZUN, Mechanical Engineering İnönü University, Malatya, Türkiye	Prof. Dr. Bilal KESKİN, Field Crops Iğdır University, Iğdır, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa HAMAMCI, Mechanical Engineering Iğdır University, Iğdır, Türkiye	Doç. Dr. Süleyman TEMEL, Field Crops Iğdır University, Iğdır, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Muhammet Raci AYDIN, Mechanical Engineering Iğdır University, Iğdır, Türkiye	Doç. Dr. Tamer ERYİĞİT, Field Crops Van Yüzüncü Yıl University, Van Türkiye
Prof. Dr. Serpil HALICI, Mathematics Pamukkale University, Denizli, Türkiye	Prof. Dr. Ali Rıza DEMİRKIRAN, Soil Science and Plant Nutrition Bingöl University, Bingöl, Türkiye
Doç. Dr. Aynur ŞAHİN, Mathematics Sakarya University, Sakarya, Türkiye	Doç. Dr. Adem GÜNEŞ, Soil Science and Plant Nutrition Erciyes University, Kayseri, Türkiye
Doç. Dr. Alkan ÖZKAN, Mathematics Iğdır University, Iğdır, Türkiye	Dr. Öğr. Üyesi Serdar SARI, Soil Science and Plant Nutrition Iğdır University Iğdır, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Lokman BİLEN, Mathematics Iğdır University, Iğdır, Türkiye	Doç. Dr. Mücahit KARAOĞLU, Soil Science and Plant Nutrition Iğdır University Iğdır, Türkiye
Prof. Dr. Hasan KOTAN, Materials and Metallurgical Engineering Bursa Technical University, Bursa, Türkiye	Doç. Dr. Ali İhsan ATALAY, Animal Science Iğdır University Iğdır, Türkiye
Dr. Ahmet Burçin BATIBAY, Materials and Metallurgical Engineering Necmettin Erbakan University, Konya, Türkiye	Doç. Dr. İsa YILMAZ, Animal Science Muş Alparslan University Muş, Türkiye
Dr. Mehmet KURU, Materials and Metallurgical Engineering Ondokuz Mayıs University, Samsun, Türkiye	Doç. Dr. Ali Vaiz GARİPOĞLU, Animal Science Ondokuz Mayıs University, Samsun, Türkiye
	Doç. Dr. Cem TIRINK, Animal Science Iğdır University Iğdır, Türkiye

ULUSLARARASI EDİTÖRLER KURULU
INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

Prof. Dr. Muhammad HANIF, Mathematic Lahore University, Lahore, Pakistan	Prof. Dr. Lenka KOURIMSKA, Food and Nutrition, Czech Uni. of Life Sciences Prague, Suchdol, Czech Republic
Prof. Dr. Çetin Kaya KOÇ, Computer Engineering University of California, Santa Barbara	Prof. Dr. Tan YANWEN, Economics South China Agricultural University, Guangzhou, China

Prof. Dr. Muhammad SARWAR KHAN, <i>Agri. Biotechnology</i> University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan	Prof. Dr. Zafar IQBAL, <i>Veterinary Science</i> University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan
Prof. Dr. Abdul WAHID, <i>Department of Botany</i> University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan	Assist. Prof. Dr. Christina BENEKI, <i>Dep. of Bus. Admin.</i> Tech. Educ. Inst. of Ionian Islands, Cephalonia, Greece
Prof. Dr. Khalid JAVED, <i>Dep. of Livestock Prod.</i> University of Vet. & Animal Sciences, Lahore, Pakistan	Dr. Reza ABDİ, <i>Physics</i> University of Bonab, İran
Prof. Dr. Guang Jie ZHAO, <i>Forestry</i> , Beijing Forestry University, China	Dr. Mahdı HOSSEINI, <i>Civil Engineering</i> , Nanjing Forestry University, China
Prof. Dr. Vaqif ABBASOV, <i>Chemistry</i> , Neft Kimya Prosesleri Institutu, Azerbaijan	Dr. Snezana ANDJELKOVIC, <i>Forage Crops</i> Institute for Forage Crops (IFC), Krusevac, Republic of Serbia
Prof. Dr. Afsun SUJAYEV, <i>Chemistry</i> , Institute of Additive Chemistry of the ANAS, Azerbaijan	Dr. Abdul WAHEED, <i>Animal Science</i> Bahauddin Zakariya University, Multan, Pakistan
Prof. Dr. Emanuele BOSELLI, <i>Food Science and Technology</i> Free University of Bozen, Bolzano, Italy	Dr. Ferhat ABBAS, <i>Vet- Animal Science, CASVAB</i> University of Balochistan, Balochistan, Pakistan
Dr. Naveen KUMAR, <i>Horticulture</i> University of Florida, Florida, USA	Dr. Öğr. Üyesi Asim FARAZ, <i>Zootekni</i> , Bahauddin Zakariya University Multan, Pakistan

DİL EDİTÖRLERİ LANGUAGE CONSULTANTS	İSTATİSTİK EDİTÖRLERİ STATISTICS CONSULTANTS
Dr. Öğr. Üyesi Didem ERDEL İğdır University, İğdır, Türkiye	Doç. Dr. Cem TIRINK İğdır University İğdır, Türkiye
Öğr. Gör. Barış YILDIZ İğdır University, İğdır, Türkiye	Doç. Dr. Samet Hasan ABACI Ondokuz Mayıs University, Samsun, Türkiye
Öğr. Gör. Gökhan YILMAZ İğdır University, İğdır, Türkiye	

İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi (FBED)
YAYIN İLKELERİ

1. FBED, Uluslararası hakemli bir dergi olup yılda dört kez yayınlanır. Dergimiz herhangi bir ücret talep etmemektedir. Makalelerin tümüne açık erişimle ulaşılabilir ve tam metin olarak indirilebilir.
2. Dergiye gönderilebilecek makale konuları Bahçe bitkileri, Bilgisayar mühendisliği, Bitki koruma, Biyoloji, Biyosistem mühendisliği, Çevre mühendisliği, Elektrik elektronik mühendisliği, Endüstri mühendisliği, Fizik, Gıda mühendisliği, İnşaat mühendisliği, Kimya, Makina mühendisliği, Matematik, Moleküler biyoloji ve genetik, Orman mühendisliği, Peyzaj mimarlığı, Su ürünleri, Tarım ekonomisi, Tarla bitkileri, Toprak bilimi ve bitki besleme ve Zootečni'dir. Dergide orijinal araştırma makalesi, derleme, teknik not yayımlanabilir.
3. Tüm yazılar iki profesyonel hakem tarafından değerlendirilir, Editör ve Yayın Kurulu tarafından incelenir.
4. FBED Türkçe ve İngilizce dillerinde yazılmış orijinal araştırma makalesi, teknik not ve derleme (toplam yayınların %20) yayınlamaktadır.
5. Yayımlanması istenilen eserlerin herhangi bir yerde yayınlanmamış veya yayınlanmak üzere herhangi bir dergiye gönderilmemiş olması zorunludur.
6. Dergiye yayınlanmak üzere gönderilen eserlerle birlikte Telif Hakkı Devir Sözleşmesi de tüm yazarlarca (farklı adreslerde bulunan yazarlar forma ait tüm bilgileri doldurarak ayrıca imzalamak suretiyle gönderebilirler) imzalanarak gönderilmelidir.
7. Eserlerin tüm sorumluluğu yazarlarına aittir.
8. Aynı sayıda ilk isim olarak bir yazarın en çok iki makalesi basılır.
9. Eserler bilim etiği ilkelerine uygun olarak hazırlanmalı, gerekliyse Etik Kurul Raporu'nun bir kopyası eklenmelidir.
10. Herhangi bir sorunuz için lütfen fbed@igdir.edu.tr adresine başvurun.

Journal of the Institute of Science and Technology (JIST)
PUBLISHING POLICIES

1. JIST is International Peer Reviewed Journal and published four times a year. Our journal does not charge any fees. All of the articles are accessible by open access and can be downloaded in full text.
2. The articles that can be sent to the journal are Horticulture, Computer engineering, Plant protection, Biology, Biosystem engineering, Environment engineering, Electrical-electronic engineering, Industrial engineering, Physics, Food engineering, Civil engineering, Chemistry, Mechanical engineering, Mathematics, Molecular biology and genetic, Forestry engineering, Landscape architecture, Fisheries, Agricultural economy, Field crops, soil science and plant nutrition and animal science.
3. All the manuscripts submitted to our journal are peer reviewed by two professional referees, Editor in Chief, and Editorial Board.
4. JIST intends to publish original research papers, technical notes, and reviews (20% of total papers) written in Turkish and English languages.
5. Manuscripts and communications are accepted on the understanding that these have not been published nor are being considered for publication elsewhere.
6. All the authors should submit their manuscript with transfer form of copyright for potential publication. The transfer form of Copyright should be signed by all authors.
7. All the authors will be responsible contextually for contents of their manuscripts.
8. Only two manuscripts of each author as first author can be published in same issue of JIST.
9. Manuscripts should be prepared in accordance with scientific ethic rules. When required, ethical committee reports with the related documents should be submitted to JIST.
10. Please contact for any question to fbed@igdir.edu.tr

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Bahçe Bitkileri/ Horticulture

Araştırma Makalesi / Research Article

The Effect of Different Seedling Rootstocks on Phenological and Pomological Characteristics of 'Chandler' Walnut (*Juglans regia* L.) Cultivar
'Chandler' Ceviz (*Juglans regia* L.) Çeşidinin Fenolojik ve Pomolojik Özellikleri Üzerine Farklı Çöğür Anaçlarının Etkisi

Mevlüt Batuhan KOŞAR, Dilan Ahı KOŞAR, Eküle Yılmaz, Ümran ERTÜRK

726

Bilgisayar Mühendisliği / Computer Engineering

Araştırma Makalesi / Research Article

Damaged Mosaic Image Inpainting By Using Generative Adversarial Network
Çekişmeli Üretici Ağlar Kullanılarak Hasarlı Mozaik Görüntülerinin Tamamlanması

Mehmet Kıvılcım KELEŞ, Erdal GÜVENOĞLU

736

Araştırma Makalesi / Research Article

Cervical Cancer Prediction Using SMOTE Algorithm and Machine Learning Approaches

Serhat KILIÇARSLAN, Maruf Göğebakan, Cemil Közkurt

747

Araştırma Makalesi / Research Article

CNN-Based Approaches for Automatic Recognition of Turkish Sign Language
Türk İşaret Dilinin Sınıflandırılması için Derin Öğrenme Yaklaşımları

İshak PACAL, Melek ALAFTEKİN

760

Araştırma Makalesi / Research Article

A Vision Transformer-based Approach for Automatic COVID-19 Diagnosis on Chest X-ray Images
Göğüs Röntgeni Görüntülerinden Otomatik COVID-19 Teşhisi için Görü Transformatörüne Dayalı Bir Yaklaşım

İshak PACAL

778

Araştırma Makalesi / Research Article

Classification Of Rice Diseases Using Deep Convolutional Neural Networks
Derin Evrişimli Sınır Ağları Kullanılarak Pirinç Hastalıklarının Sınıflandırılması

Erkan VEZIROĞLU, İshak PACAL, Ahmet COSKUNCAY

792

Biyoloji / Biology

Araştırma Makalesi / Research Article

Effects of Cd and Zn Treatments on Leaf Chemical Compounds of Japanese barberry (*Berberis thunbergii*),
Boxwood (*Buxus sempervirens* var. *rotundifolia*), and Gold tassel (*Euonymus japonica* var. *aurea*) Species

Erkan GENÇ, Nezahat TURFAN

815

Araştırma Makalesi / Research Article

Chloroform-Methanol Extraction Antimicrobial Potential of Rheum Ribes Originating from Elazığ/Arıcak Province

Oğuzhan ÖZDEMİR, Mustafa Oğuzhan KAYA, Mesut GÖK, Nurten YILMAZ, Zeynep TUZCU

830

Araştırma Makalesi / Research Article

In silico Screening of the Potential Anti-SARS-CoV-2 Activities of Peptides from *Vipera ammodytes ammodytes*
Venom by Molecular Docking

Süleyman İLHAN

839

Araştırma Makalesi / Research Article

Anticancer Effects of Alpha-lipoic Acid on A172 and U373 Human Glioblastoma Cells

Doğukan MUTLU, Mücahit SEÇME, Şevki ARSLAN

851

Araştırma Makalesi / Research Article

The Role Of Viral And Parasitic Factors In Bee Colony Losses İn İğdır Province
İğdir İlinde Görülen Arı Kolonisi Kayıplarında Viral ve Paraziter Etkenlerin Rolü

Şemistan KIZILTEPE, Rahşan AKPINAR, Ayhan AKMAN, Selma KAYA, Semanur ÇELİK

858

Araştırma Makalesi / Research Article

Phytochemicals of Hibiscus sabdariffa with Therapeutic Potential against SARS-CoV-2: A Molecular Docking Study

Emel AKBABA, Deniz KARATAŞ

872

Araştırma Makalesi / Research Article

The Effect of Some Herbal Solution Combination Applications on the Growth of White Cabbage (*Brassica oleracea* var. *Alba*) Under Cold Stress
Bazı Bitkisel Çözelti Kombinasyon Uygulamalarının Soğuk Stresi altındaki Beyaz Lahana'nın Büyümesine (*Brassica oleracea* var. *Alba*) Etkisi
Mehmet Selim ÇOBANOĞLU

889

Araştırma Makalesi / Research Article

Determination Conservation Priority Areas and Taxa in Terms of Birds: The Case of Aksaray
Emel ÇAKMAK, Çiğdem AKIN PEKŞEN

899

Araştırma Makalesi / Research Article

Evaluation of Antimicrobial and Antifungal Efficacy of Essential Oils of *Achillea millefolium* (Yarrow) Plant
Achillea millefolium (Civanperçemi) Bitkisinin Uçucu Yağlarının Antimikrobiyal ve Antifungal Etkinliğinin Değerlendirilmesi
Alper ZÖNGÜR

906

Araştırma Makalesi / Research Article

Apoptotic Effect of Adipose Tissue-Derived Extracellular Vesicles on Breast Cancer Cells
Adipoz Doku Kaynaklı Ekstrasellüler Veziküllerin Meme Kanseri Hücreleri Üzerine Apoptotik Etkisi
Dilek KAN

914

Araştırma Makalesi / Research Article

Histo-Anatomical Characteristics of Some Endemic Species of *Linum* (Linaceae)
Bazı Endemik *Linum* (Linaceae) Türlerinin Histo-Anatomik Özellikleri
Sibel ULCA

925

Araştırma Makalesi / Research Article

Investigation of Tetracycline Resistance of Lactic Acid Bacteria by in silico Genotypically in Whole Genome Sequences and Phenotypically
Laktik Asit Bakterilerinde Tetrasiklin Direncinin Fenotipik ve Tüm Genom Dizilerinde in silico Genotipik Olarak Araştırılması
Özge KAHRAMAN ILIKKAN

932

Araştırma Makalesi / Research Article

Inhibitor Effects of Some Artificial Tears Drops on Human Carbonic Anhydrase Enzyme-II (hCA-II)
Bazı Yapay Gözyaşı Damlalarının İnsan Karbonik Anhidraz Enzimi-II (hCA-II) Üzerindeki İnhibitör Etkileri
Büşra ÇALIŞKAN, Mine AKSOY

941

Elektrik Elektronik Mühendisliği / Electrical Electronic Engineering

Araştırma Makalesi / Research Article

Low Power Electronic Voltage Transformer Design and Construction
Yusuf KILINÇ, Ali Fuat BOZ

948

Araştırma Makalesi / Research Article

Development of Nonlinear Control Methods for Magnetic Levitation Systems
Manyetik Levitasyon Sistemleri için Doğrusal Olmayan Kontrol Yöntemlerinin Geliştirilmesi
Mustafa BULUT, Ahmet DURLU

960

Araştırma Makalesi / Research Article

Design of Wideband Rf Energy Harvesting Circuit with Lumped Elements Working Efficiently in 1.5 GHz – 3.1 GHz Band
1.5 GHz – 3.1 GHz Arası Bantlarda Verimli Çalışan Geniş Bant RF Enerji Hasatlama Devresinin Toplu Elemanlarla Tasarımı
Sadık ZUHUR, Muhammed Said BOYBAY

973

Araştırma Makalesi / Research Article

Design and Application of PI Based Speed Control System of Brushless Direct Current Motor
Fırçasız Doğru Akım Motorunun PI Tabanlı Hız Kontrol Sisteminin Tasarımı ve Uygulaması
İbrahim GÜNEŞ, Muharrem Mert ERYILMAZ, Tolga ÖZER

983

Araştırma Makalesi / Research Article

An Improved Control Method for Current Harmonics, Reactive Power Compensation and Effective Power Flow with Active Power Filter
Aktif Güç Filtresi ile Akım Harmonikleri, Reaktif Güç Kompanzasyonu ve Etkili Güç Akışı için Geliştirilmiş Bir Kontrol Yöntemi
Doğan ÇELİK

995

Fizik / Physics

Araştırma Makalesi / Research Article

Theoretical Investigation of Structural and Electronic Properties of Selenium Doped Zinc Oxide
Selenyum Katkılı Çinko Oksit'in Yapısal ve Elektronik Özelliklerinin Teorik İncelenmesi
Veysel ÇELİK

1005

Araştırma Makalesi / Research Article

Structural, Morphological and Optical Properties of Zn_{0.95}-xCu_{0.05}CoxO Synthesized by Co-Precipitation Method
Birlikte Çöktürme Yöntemi ile Sentezlenen Zn_{0.95}-xCu_{0.05}CoxO'nun Yapısal, Morfolojik ve Optik Özellikleri
Sinem KAYAR, Neslihan ERAT, Abdulkadir ÖZER

1013

Havacılık ve Uzay Mühendisliği / Aeronautical and Astronautical Engineering

Araştırma Makalesi / Research Article

Airport Common-Use Check-in Operations: A Novel and Efficient Model
Türkçe Başlık
Alper DALKIRAN

1026

İnşaat Mühendisliği / Civil Engineering

Araştırma Makalesi / Research Article

Investigation of the Effects of Lime Usage as Filler in Asphalt Mixture on Performance
Sıcak Asfalt Karışımlarında Filler Olarak Kullanılan Farklı Kireçlerin Kaplama Performansına Etkilerinin İncelenmesi
Ufuk KIRBAŞ, Eray SÖZEN, Zafer GENÇ

1043

Araştırma Makalesi / Research Article

Investigation of the Effect of Aggregate and Bituminous Binders on the Percentage of Draindown in Stone Mastic
Asphalts
Taş Mastik Asfaltlarda Agrega ve Bitümlü Bağlayıcıların Süzülme Yüzdesine Etkisinin Araştırılması
Halis Bahadır KASİL, Muhammed Yasin ÇODUR

1055

Araştırma Makalesi / Research Article

Incorporating the GIS-Based Hybrid Machine Learning Applications into the Flash Flood Susceptibility Mapping
CBS Tabanlı Melez Makine Öğrenmesi Uygulamalarının Ani Sel Duyarlılık Haritalamasında Kullanımı
Ömer EKMEKÇİOĞLU

1067

Derleme Makalesi / Review Article

Evaluation of Floating Renewable Energy Potential for Sustainable Energy in Türkiye
Büşra CESUR DURMAZ, İbrahim ÜÇGÜL

1085

Kimya / Chemistry

Araştırma Makalesi / Research Article

Investigation of Effects of Some Metal Ions and Some Pesticides on Glutathione S-Transferase (GST) Enzyme
purified from Van Lake Fish (Chalcalburnus Tarichi) Kidney
Ayşe YILMAZ, Veysel ÇOMAKLI

1101

Araştırma Makalesi / Research Article

Investigation of Some Azo Dyes by QSAR Method and Acute Toxicity Test with Daphnia Magna
Bazı Azo Boyalarının QSAR Yöntemi ve Daphnia Magna ile Akut Toksikite Testi ile İncelenmesi
Yelda YALÇIN GÜRKAN, Yasemin KEŞKEK KARABULUT

1110

Araştırma Makalesi / Research Article

Evaluation of Porous Film – Peptide Nanoparticle Hybrid Structures as Drug-Releasing Wound Dressing Material
Gözenekli Film – Peptid Nanopartikül Hibrit Yapıların İlaç Salımı Yapan Yara Örtü Malzemesi Olarak
Değerlendirilmesi
Betül BOZDOĞAN

1120

Araştırma Makalesi / Research Article

Determination of Antioxidant, Antimicrobial, and Antiproliferative Activities of *Onobrychis argyrea* subsp. *argyrea*
Extracts
Onobrychis argyrea subsp. *argyrea* Ekstrelerinin Antioksidan, Antimikrobiyal ve Antiproliferatif Aktivitelerinin
Belirlenmesi
Sevgi ALTIN, Cemalettin ALP, Ekrem KÖKSAL, Sümeyye AKYÜZ

1134

Araştırma Makalesi / Research Article

Synthesis, Identification of Poly(N-vinyl-2-pyrrolidone) Stabilized Ru-Fe Nanoclusters and Investigation of the Catalytic Activity of Methylamine-Borane in the Hydrolysis Reaction
Poli(N-vinil-2-pirolidon) ile Kararlaştırılmış Ru-Fe Nanokümelere Sentezlenmesi, Tanımlanması ve Metilamin-Boran'ın Hidroliz Tepkimesinde Katalitik Etkinliğinin Araştırılması
Yaşar KARATAŞ, Adem RÜZGAR

1142

Makina Mühendisliği / Mechanical Engineering

Araştırma Makalesi / Research Article

A Mathematical Model Proposal for Agricultural Planning on Pulses Production in Türkiye
Türkiye'de Bakliyat Üretimi Üzerine Tarımsal Planlama İçin Bir Matematiksel Model Önerisi
Osman YILDIZ, Çağrı SEL

1155

Araştırma Makalesi / Research Article

Implementation of Sliding Surface Moving Anfis Based Sliding Mode Control to Rotary Inverted Pendulum
Muhammet AYDIN, Oğuz YAKUT

1165

Araştırma Makalesi / Research Article

The Effect of Friction Coefficient on Cutting Forces, Temperature and Cutting Tool Stresses in Machining Process
Talaş Kaldırma İşleminde Sürtünme Katsayısının Kesme Kuvvetleri, Sıcaklık ve Kesici Takım Gerilmeleri Üzerine Etkisi
Mustafa SEKMEN, Abdullah KURT, Ulvi ŞEKER

1176

Araştırma Makalesi / Research Article

Mechanical Analysis of PEEK Samples Coated Using PVD Method Examining the Features
PVD Yöntemi Kullanılarak Kaplanan PEEK Numunelerinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi
Arif CÜREOĞLU, Emine ŞAP, Mahir UZUN

1189

Araştırma Makalesi / Research Article

Simulation and Experimental Investigation of Biogas Energy Supported Milk Cooling System Performance
Biyogaz Enerjisi Destekli Süt Soğutma Sistemi Performansının Simülasyon ve Deneysel Olarak İncelenmesi
Arif CÜREOĞLU, Emine ŞAP, Mahir UZUN

1199

Derleme Makalesi / Review Article

A Review on the Effects of Using Dimethyl Ether on Particulate Matter Emissions in Diesel Engines
Dizel Motorlarda Dimetil Eter Kullanımının Partikül Madde Emisyonlarına Etkileri Üzerine Bir Derleme
İsmet SEZER

1212

Matematik / Mathematics

Araştırma Makalesi / Research Article

On the Surfaces with Constant Mean Curvature along a Curve in the Lie Group
Lie Grupta Bir Eğri Boyunca Sabit Ortalama Eğrilikli Yüzeyler Üzerine
Zühal KÜÇÜKARSLAN YÜZBAŞI, Sevinç TAZE

1230

Araştırma Makalesi / Research Article

k and (k,m) -type Slant Helices According to the Lorentz-Darboux Frame
Lorentz-Darboux Çatısına Göre k ve (k,m) -tip Slant Helisler
Fatma BULUT, Alisami EKER

1237

Araştırma Makalesi / Research Article

A Study on Decision Tree Optimization Algorithm
Karar Ağacı Optimizasyon Algoritması üzerine Bir Çalışma
Dinçer ATASOY, Hasan KARA

1247

Araştırma Makalesi / Research Article

Investigation of Bell Regression Model as an Alternative to Poisson and Negative Binomial Regression Models:
Determining the Factors Affecting Length of Staying Hospital with The Case of Türkiye
Poisson ve Negatif Binom Regresyon Modellerine Alternatif Olarak Bell Regresyon Modelinin İncelenmesi:
Hastanede Kalış Süresine Etki Eden Faktörlerin Belirlenmesi Türkiye Örneği
Duygu KILIÇ, Hatice Tül Kübra AKDUR, Hülya BAYRAK

1256

Araştırma Makalesi / Research Article

Investigation of solutions of β -conformable fractional ordinary differential equation with artificial neural network
Sadullah BULUT, Muhammed YİĞİDER

1266

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği / Metallurgical and Materials

Araştırma Makalesi / Research Article

Investigation of the Effect of Copper Alloy Reinforcement on Mechanical and Microbial Properties of Polyethylene and Polypropylene Polymers
Bakır Alaşım Takviyesinin Polietilen ve Polipropilen Polimerlerinin Mekanik ve Mikrobiyal Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi

Ömer Alparslan KAYA, Münir TAŞDEMİR, Talip ÇITAK, Serdar TOZKOPARAN, Feriha BİROL

1275

Araştırma Makalesi / Research Article

Effect Of Steel Scale On The Physical Properties of Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) Copolymer
Akrilonitril Bütadien Stiren (ABS) Kopolimerinin Fiziksel Özelliklerine Çelik Tufalinin Etkisi

Elif ULUTAŞ, Münir TAŞDEMİR, Beril EKER GÜMÜŞ

1287

Araştırma Makalesi / Research Article

The Effect of Beneficiation Methods on Alumina Production from Pyrophyllite Ore
Pirofillit Cevherinden Alümina Üretimine Zenginleştirme Yöntemlerinin Etkisi

Ramazan AYDOĞMUŞ, Turan UYSAL, Murat ERDEMOĞLU

1297

Peyzaj Mimarlığı / Landscape Architecture

Araştırma Makalesi / Research Article

A Research on the Presence of Landscape Plants in Active Green Areas of Mudanya District of Bursa Province
Bursa İli Mudanya İlçesi Aktif Yeşil Alanları Peyzaj Bitkileri Varlığı Üzerine Bir Araştırma

Burcu MÜDÜK, Murat ZENCİRKIRAN

1306

Tarım Ekonomisi / Agricultural Economy

Araştırma Makalesi / Research Article

Prediction of The Factors Affecting Watermelon (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. & Nakai) Yield Using Data Mining

Karpuz (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. & Nakai) Üretimini Etkileyen Faktörlerin Veri Madenciliği ile Tahmini
Köksal KARADAŞ, İbrahim Hakkı KADIRHANOĞULLARI, Meryem KONU KADIRHANOĞULLARI

1323

Araştırma Makalesi / Research Article

Investigation of Tulum Cheese Consumption Preferences of Consumers in Erzincan Province
Erzincan İlindeki Tüketicilerin Tulum Peyniri Tüketim Tercihlerinin İncelenmesi

Hediye KUMBASAROĞLU

1335

Tarla Bitkileri / Field Crops

Araştırma Makalesi / Research Article

Effect of Seed Fungicide Treatment, Microelement Fertilizer and Mepiquat Chloride Applications on Yield and Yield Components of Peanut

Yerfıstığında Tohum Fungisit Muamelesi ile Mikroelement ve Pix Uygulamalarının Verim ve Verim Bileşenleri Üzerine Etkileri

Ahmet YENİKALAYCI, Mehmet ARSLAN

1347

Araştırma Makalesi / Research Article

Determination of Some Physical and Chemical Properties of Raspberry (*Rubus idaeus* L.) Cultivars Grown in Bilecik Ecology

Bilecik Ekolojisinde Yetiştirilen Ahududu (*Rubus idaeus* L.) Çeşitlerinin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi

Sinem ÖZTÜRK ERDEM, Merve KARAKOYUN

1356

Araştırma Makalesi / Research Article

Evaluation with Google Earth Engine Data Mining and WebGIS Application of Parameters Causing Change in Agricultural Lands

Tarım Arazilerinde Değişime Neden Olan Parametrelerin Google Earth Engine Veri Madenciliği ve WebCBS Aplikasyonu ile Değerlendirilmesi

Hakan AKÇIN, Rüveyda TERCAN KÖSE

1363

Araştırma Makalesi / Research Article

Effects of Different Humic Acid Doses on Yield and Quality Properties of Corn (*Zea mays* L.) in Iraq-Sulaymaniyah Conditions

Irak-Süleymaniye Koşullarında Farklı Hümik Asit Dozlarının Mısırın (*Zea mays* L.) Verim ve Kalite Özellikleri Üzerine Etkisi

Tamer ERYİĞİT, Aso Hashm HUSAMALDDIN

1377

Araştırma Makalesi / Research Article

The Effects of Different Sowing Times on Seed Yield and Some Yield Components of Mountain Spinach Grown in Arid Conditions
Kıraç Şartlarda Yetiştirilen Selvi Sirken'in Tohum Verimi ve Bazı Verim Unsurları Üzerine Farklı Ekim Zamanlarının Etkileri
Bilal KESKİN, Süleyman TEMEL, Seda AKBAY TOHUMCU

1394

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme / Soil Science and Plant Nutrition

Araştırma Makalesi / Research Article

Comparison of Some Fertility Parameters and Heavy Metal Contents in Soils of Traditional and Organic Tea Farming Areas in Rize Province
Rize İlinde Geleneksel ve Organik Çay Tarımı Yapılan Alanların Topraklarında Bazı Verimlilik Parametreleri ile Ağır Metal İçeriklerinin Karşılaştırılması
Fatih ÖZKAN, Yasin DEMİR

1405

Zootekni / Animal Science

Araştırma Makalesi / Research Article

The Effect Medicinal Plants on Performance, Carcass Parameters and Meat Quality in Broiler Chickens
Alp ATAY, Harun KUTAY

1418

Araştırma Makalesi / Research Article

Comparison of Some Fertility Characteristics of Holstein Friesian, Brown Swiss and Simmental Breeds and Their Crosses Raised in Türkiye
Türkiye'de Yetiştirilen Siyah Alaca - Holstein, Esmer ve Simmental Irkları ile Melez Genotiplerine Ait Bazı Döl Verim Özelliklerinin Karşılaştırılması
Onur ŞAHİN

1429

Düzeltilme Notu

İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi'nin 2022 yılı 12. Cilt 4. Sayısında yer alan " Yazıcılar B, Chang Y L, Nadar M, Bezirganoglu I, 2022. CaO and Graphene Oxide Enhances Drought Stress from Callus Tissues of Medicago sativa L. Cultivars. Journal of the Institute of Science and Technology, 12(4): 2450 - 2458. DOI: 10.21597/jist.1125699" referanslı makalede sorumlu yazar tarafından çalışmaya ilişkin Bilimsel Araştırma Projesi yayın desteği teşekkür metni yazar sehven girilmemiştir. Yazarın isteği ile Teşekkür kısmına "This work was supported by Erzurum Technical University Scientific Research Coordination Unit. Project Number: 2022/024." şeklinde eklenmiştir.

Atf İçin: Koşar, M. B., Koşar, D. A., Sönmez, E. ve Ertürk, E. (2023). 'Chandler' Ceviz Çeşidinin Fenolojik ve Pomolojik Özellikleri Üzerine Farklı Çöğür Anaçların Etkisi. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2): 726-735.

To Cite: Koşar, M. B., Koşar, D. A., Sönmez, E. & Ertürk, E. (2023). The Effect of Different Seedling Rootstocks on Phenological and Pomological Characteristics of 'Chandler' Walnut Cultivar. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2): 726-735.

'Chandler' Ceviz (*Juglans regia* L.) Çeşidinin Fenolojik ve Pomolojik Özellikleri Üzerine Farklı Çöğür Anaçlarının Etkisi

Mevlüt Batuhan KOŞAR¹, Dilan Ahı KOŞAR², Eküle Sönmez², Ümran ERTÜRK^{2*}

Öne Çıkanlar:

- 'Chandler' cevizi çeşidinde çöğür anaçlarının verimi etkilediği belirlendi.
- Serr ve Keles çöğür anaçlarının randımanı daha yüksek bulundu.
- Çöğür anaçları fenolojik gelişim safhalarını etkiledi.

Anahtar Kelimeler:

- Ceviz anaçı
- Chandler
- Fenoloji
- Verim
- Pomoloji

ÖZET:

Bu çalışma çöğür anaçı olarak kullanılan Kaman-1 ve Serr çeşitleri ile Keles genotipi üzerine aşılı 'Chandler' çeşidinin fenolojik, verim ve pomolojik özellikler yönünden incelenmesi amacıyla 2019-2021 yılları arasında yapılmıştır. Ağaçlarda fenolojik özellik olarak tomurcuk kabarması, tomurcuk patlaması, yapraklanma, erkek ve dişi çiçeklerde reseptiflik tarihleri kaydedilmiştir. Meyvelerde pomolojik özellik olarak ise meyve ağırlığı, meyve büyüklüğü, randıman ve çürük-büzük oranı değerlendirilmiştir. Çalışmada Keles üzerine aşılı ağaçlarda yapraklanma, erkek ve dişi çiçek oluşumu diğer anaçlara aşılı ağaçlara göre daha geç gerçekleşmiştir. Chandler çeşidinde anaçların etkisi önemli bulunmuş ve Kaman-1 ile Serr anacına aşılı ağaçlardan daha yüksek değerler elde edilmiştir. Anaçların meyve kalite özelliklerinden iç ağırlığı, randıman oranı, kabuk kalınlığı ve çürük meyve oranı üzerine etkisi olduğu tespit edilmiştir. Özellikle sert kabuklu meyvelerde ekonomik yönden önemli parametreler olarak kabul edilen yüksek randıman oranı ve düşük çürük meyve oranı yönünden Serr ve Keles anaçlarının daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Çalışma sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde verim ve meyve kalite parametreleri yönünden Serr anacının performansının araştırmada kullanılan diğer anaçlara göre daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır.

The Effect of Different Seedling Rootstocks on Phenological and Pomological Characteristics of 'Chandler' Walnut (*Juglans regia* L.) Cultivar

Highlights:

- It was determined that seedling rootstocks of Chandler' walnut cultivar affected yield.
- The yield of Serr and Keles seedling rootstocks were higher.
- Seedlings rootstock rootstock affected the phenological development stages.

Keywords:

- Walnut rootstock
- Chandler
- Phenology
- Yield
- Pomology

ABSTRACT:

This study was carried out between 2019-2021 in order to examine the phenological, yield and pomological properties of 'Chandler' cultivar grafted on Kaman-1 and Serr cultivars and Keles genotype used as seedling rootstock. Bud swelling, bud break, leafing, receptivity dates in male and female blooming were recorded as phenological trait of the trees. Fruit weight, fruit size, kernel percent and kernel rottenness-shrinkage ratio were evaluated as pomological properties of fruits. In study leafing, male and female blooming in trees grafted on Keles occurred later than in trees grafted on other rootstocks. The effect of rootstocks was found to be significant in 'Chandler' cultivar and higher values were obtained from trees grafted on Kaman-1 and Serr rootstock. The effect of rootstocks on yield was significant, higher values were obtained from the trees grafted on Kaman-1 and Serr rootstock. In the study, the effects of rootstocks on fruit quality characteristics such as kernel weight, kernel percent, shell thickness and kernel rottenness found to be significant differences. It was determined that Serr and Keles rootstocks gave better results, especially in terms of high kernel percent and low kernel rottenness, which are considered to be economically important parameters in nuts. When the study results were evaluated in general, it was concluded that the performance of Serr rootstock was better than the other rootstocks used in the study in terms of yield and fruit quality parameters.

¹ Mevlüt Batuhan KOŞAR (Orcid ID: 0000-0002-6009-0832), Bursa Uludağ Üniversitesi, Orhangazi Yeniköy Asil Çelik Meslek Yüksekokulu, Park ve Bahçe Bitkileri Bölümü, Peyzaj ve Süs Bitkileri Yetiştiriciliği Programı, Bursa, Türkiye

² Dilan Ahı KOŞAR (Orcid ID: 0000-0001-8427-5383), Eküle SÖNMEZ (Orcid ID: 0000-0002-2612-1199), Ümran ERTÜRK (Orcid ID: 0000-0001-5709-2581), Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Bursa, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Ümran ERTÜRK, e-mail: umrane@uludag.edu.tr

GİRİŞ

Ceviz *Juglandales* takımının, *Juglandaceae* familyasının, *Juglans* cinsine dahil olmaktadır. Günümüze kadar bazı özellikleri tespit edilmiş olan 22 ceviz türü bulunmaktadır. Bu türler arasında en çok bilineni üstün meyve özelliklerine sahip Anadolu cevizi, İran cevizi, İngiliz cevizi veya kral ceviz olarak adlandırılan *Juglans regia*' dir. Dünyanın ılıman bölgelerinde yetiştirilen ve ekonomik açıdan oldukça önemli olan Orta Asya kökenli bu türün anavatanları arasında Türkiye de yer almaktadır (Şen, 2011; Pollegioni ve ark., 2015; Bernard ve ark., 2018). Türkiye dünya ceviz üretim miktarı yönünden Çin, ABD ve İran' dan sonra 4. sırada yer almaktadır (FAOSTAT, 2020).

Anadolu'nun hemen hemen her yerinde yetişebilen ceviz, ülkemizin her köşesini hem ağacıyla hem de meyvesiyle şenlendirmiş ve insanımız için vazgeçilmez bir gelir kaynağı olmuştur. Katma değeri yüksek bu ürünün yetiştiriciliği için kurulmuş mevcut bahçelerin büyük bir çoğunluğunu tohumdan yetişmiş ağaçlar oluşturmaktadır. Bu durum göz önünde tutulduğunda her biri birer genotip olan birbirinden farklı özellikler gösteren ceviz ağaçları meydana gelmiştir. Bu çeşitlilik geniş bir genetik varyasyon meydana getirmiş ve ıslah çalışmaları için önemli bir gen kaynağı oluşturmuştur (Sütyemez, 2016; Demir ve ark., 2017). Ancak bu durumun önemli bir dezavantajı meyve standardizasyonu sağlanamaması şeklinde ortaya çıkarak ekonomik kayıplara neden olmaktadır (Özcan, 2013). Ceviz çiçek yapısı bakımından monoik bir bitkidir. Ayrıca erkek ve dişi çiçekler farklı zamanda olgunlaşır. Bu eğilim ve tozlanmanın rüzgarla gerçekleşmesi nedeniyle ceviz tam olarak heterozigot bir karakterdedir. Bu durumun sonucu olarak ceviz üretimi tohumla yapıldığı zaman genetik açılım meydana geldiği için elde edilen bitkiler istenilen özellikleri göstermez. Bu nedenle cevizin ticari anlamda üretilmesi aşı ile mümkün olmaktadır (Şen, 2011).

Ceviz üretiminde önemli bir konumda bulunan ABD' de ilk yıllarda *Juglans regia* çöğürleri kullanılmıştır. Bu türün dışında bazı ülkelerde *J. hindsii*, *J. nigra* ve bu türlerden elde edilen bitkiler tohum anacı olarak kullanılmıştır. Bu türlerin melezlenmesi ile Royal anacı elde edilmiş ancak bu anaç çok fazla kullanım alanına sahip olmamıştır.

Ceviz anaçları arasında *J. regia* x *J. hindsii* melezi olan Paradox anacı yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Paradox (*J. regia* x *J. hindsii*) anacı nematodlara ve Phytophthora türlerine toleranslı olarak kabul edilir. Ancak aşı birleşim noktasında gözlemlenen kiraz yaprak leke virüsünün (CLRV) oluşturduğu siyah çizgi hastalığına (Black line) hassasiyet göstermektedir. Bu hastalık *J. regia* dışındaki türlerde daha yoğun görülmektedir. *J. regia* üzerine *J. regia* aşılması durumunda şiddetli hastalık belirtileri ortaya çıkmaz. Ancak *J. regia*; *J. hindsii*, *J. nigra* ve diğer ceviz türleri ile aşılandığında, aşı birleşme noktasında siyah çizgi gelişmektedir. *J. regia* kötü toprak koşullarına ve kuraklığa dayanıklı olmasa da siyah çizgi hastalığına karşı aşırı duyarlı olmadığı için bu türün çöğürleri anaç olarak tercih edilmektedir (Şen, 2011).

Türkiye' de ceviz fidanı üretiminde kullanılan tohumlar farklı kaynaklardan temin edilmektedir. Nitelikleri bilinmeyen tohum kaynaklarından çöğür yetiştirilmesi durumunda çimlenmede problem yaşanmakta ve çıkan bitkilerde heterojen bir gelişme görülmektedir. Bu nedenle tohum anacı olarak kullanılacak çeşit ve tiplerin belirlenmesi, kolay temin edilebilir olması son derece önemlidir (Şen, 2001; Kaşka, 2001; Samsunlu, 2010; Sesli, 2016).

J. regia türü içerisinde çöğür anacı olarak kullanılacak ümitvar tohum kaynaklarının belirlenmesi amacıyla birçok çalışma yapılmıştır (Kazankaya ve ark., 2003; Koyuncu ve ark., 2003; Tosun ve ark., 2004; Grant ve McGranahan, 2005; Samsunlu, 2010; Ertürk ve ark., 2011; Özcan, 2013; Sesli, 2016). Yapılan çalışmalarda farklı tiplerden elde edilen tohumlarla birlikte ülkemizde temini kolay olan Maraş-18, Maraş-12, Sütyemez-1, Sütyemez-2, Kaman-1, Howard, Franquette Balaban, Bilecik,

Chandler, Fernor, Pedro, Serr, Yalova-1 ve Yalova-3 gibi çeşitlerin de tohumları çöğür anaç üretiminde kullanılmıştır. Ancak dünyanın birçok bölgesinde *J. regia* türünün anaç olarak kullanımı yaygın olsa da bu tür içinden en uygun olarak tanımlanabilen bir anaç henüz seçilmemiştir (Gündeşli, 2021).

Anaç verim ve meyve kalitesini etkilemektedir. Ancak bu etkinin derecesi cevizlerde tam olarak bilinmemektedir (Şen, 1986). Bu doğrultuda ceviz çöğür anacı seçiminde aşı tutma oranının yanı sıra aşılı bitkinin büyüme-gelişme performansı, erkencilik, yüksek verim ve stres koşulları üzerine etkisi de önemlidir (Gregory ve ark., 2013; Warschefsky ve ark., 2016; Roupael ve ark., 2018).

Bu nedenle çimlenme oranı, homojen sürgün oluşturma ve sürgün büyümesi gibi parametreler doğrultusunda anaçlık performansları belirlenen çeşitlerin arazi koşullarında da uzun yıllar boyunca performanslarının belirlenmesi gerekmektedir. Özellikle dünya çapında yüksek pazar payına sahip 'Chandler' çeşidinin ümitvar tohum anaçları ile aşılansarak verim ve meyve özelliklerinin incelenmesi gereklilik arz etmektedir.

Bu araştırma ile tohum anacı olarak kullanılan Kaman-1 ve Serr çeşitleri ve Keles genotipi üzerine aşılı 'Chandler' çeşidinin fenolojik, pomolojik ve verim özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

MATERYAL VE METOT

Materyal

Bu çalışma, 2019-2021 yıllarında Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Uygulama ve Araştırma parselinde yürütülmüştür. Anaçlık materyal olarak daha önce çimlenme oranları yönünden ümitvar olduğu tespit edilen Keles genotipi (%97) ile Serr (%86.66) ve Kaman-1 (%73.33) çeşitlerine ait tohumlar kullanılmıştır (Ertürk ve ark., 2011). Elde edilen çöğür bitkiler üzerine Pedro x 56-224 melezi olan 'Chandler' çeşidi bilezik aşı yöntemi ile 2012 yılında sera koşullarında aşılansmıştır. Aşılı bitkiler 2013 yılında her tekerrürde 4 fidan olacak şekilde 3 tekerrürlü olarak uygulama parseline dikilmiştir. Çalışmanın yürütüldüğü arazi toprağı killi yapıda olup, pH değeri 7.1-7.5 ve kireç miktarı %38 civarında değişmektedir. Deneme parseli mini-spring sulama yöntemi kullanılarak sulansmıştır. Deneme ağaçlarının hastalık ve zararlılara karşı mücadelesinde rutin prosedür uygulanmıştır.

Metot

Çalışmada 2019-2021 yılları arasında farklı çöğür anaçları üzerine aşılı bitkilerde büyüme mevsiminin başlaması ile tomurcuk kabarması, tomurcuk patlaması, yapraklanma, erkek ve dişi çiçeklenme, reseptivite durumu ve çiçeklenme sonunu kapsayan fenolojik gelişim aşamaları kaydedilmiştir (UPOV, 1999). Hasattan sonra meyvelerin yeşil kabukları makine yardımıyla soyulmuş ve doğal koşullarda kurutulmuştur. Ağaç başına ortalama verim değerleri belirlenmiştir. Pomolojik özelliklere ait ölçümler için her anaç için rastgele seçilen 50 adet meyvelerde meyve boyu (mm), meyve eni (mm) ve meyve yüksekliği (mm) 0.01 hassasiyetteki dijital kumpas yardımı ile ölçülerek bulunmuştur. Ayrıca kabuklu meyve ağırlığı (g), iç ağırlığı (g), kabuk kalınlığı (mm), iç çürüklüğü (%), içte büzüşme (%), randıman oranı (%) tespit edilmiştir.

İstatistiksel analiz

Araştırma, tesadüf blokları deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak kurulmuş ve her tekerrürde 5 ağaç yer almıştır. Araştırmada elde edilen bulgular tesadüf blokları deneme desenine göre analiz edilmiş ve çoklu karşılaştırma olarak JMP 7.0 istatistik programı (JMP, 2007) kullanılmıştır. Ortalamalar arasındaki farklılık 0.05 önemlilik seviyesinde LSD Testi ile belirlenmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada farklı anaçlar üzerindeki 'Chandler' çeşidinde fenolojik özellikler incelenmiştir (Çizelge 1, Şekil 1). 2019 yılında ağaçlarda tomurcuk kabarması 01-03 Nisan, tomurcuk patlaması ise 08-13 Nisan arasında gerçekleşmiş olup bu dönemler Keles üzerine aşılı ağaçlarda daha geç gözlenmiştir. Serr anacına aşılı ağaçlarda yapraklanma (20 Nisan) daha erken gerçekleşirken, Keles üzerine aşılı ağaçlar daha geç yapraklanmıştır (24 Nisan). Erkek çiçeklenme başlangıcı, reseptifliği ve sonu Kaman-1 ve Serr anaçlı ağaçlarda benzer tarihlerde (08-22 Nisan) gerçekleşmiştir. Dişi çiçeklenme başlangıcı, reseptifliği ve sonu Serr üzerine aşılı ağaçlarda daha erken (27 Nisan-07 Mayıs) gerçekleşirken, Keles anaçlı ağaçlarda daha geç (01-11 Mayıs) gerçekleşmiştir.

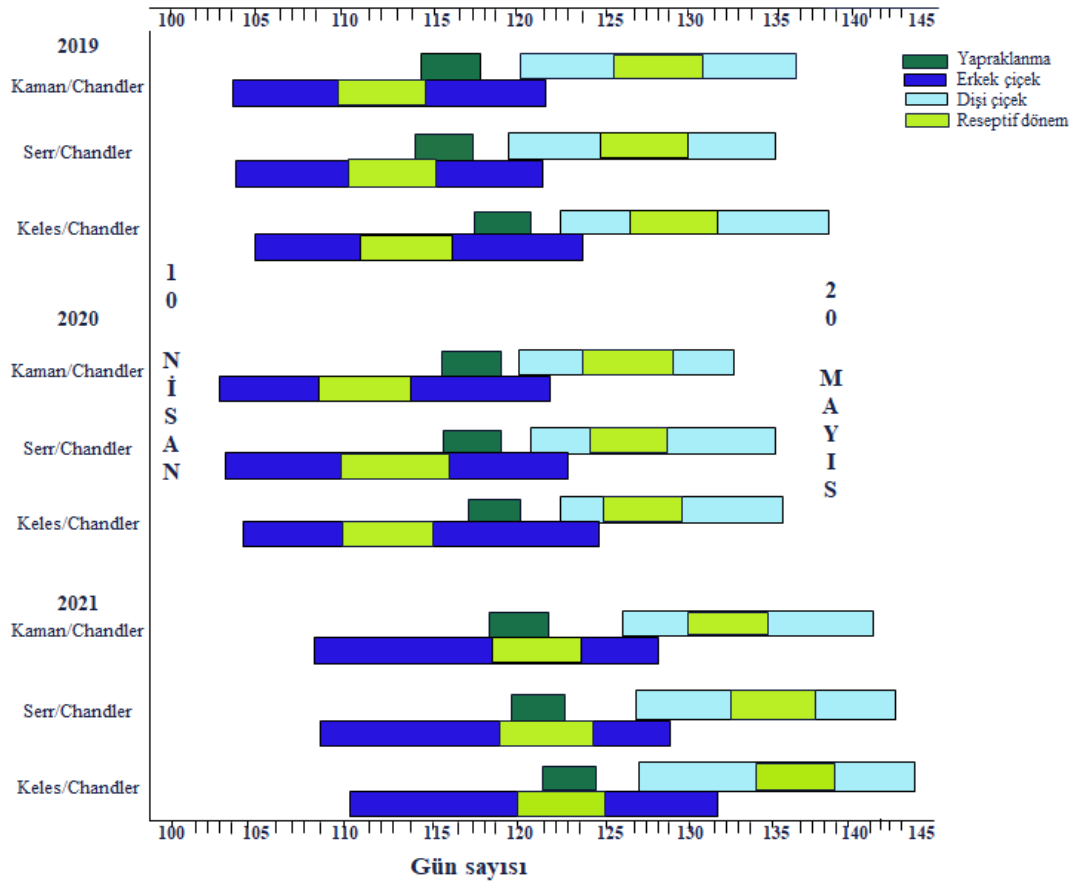
Çalışmada 2020 yılında ağaçlarda tomurcuk kabarma (04 Nisan), tomurcuk patlama (15 Nisan), yapraklanma (30 Nisan) ve erkek çiçeklenme başlangıcı (08 Nisan) Kaman-1 üzerine aşılı ağaçlarda daha erken gerçekleşirken, Keles ve Serr anaçlı ağaçlarda bu gözlemler yakın tarihlerde gerçekleşmiştir (06 Nisan; 18 Nisan; 01 Mayıs; 11 Nisan). Dişi çiçeklenme başlangıcı ve sonu arasındaki dönem Kaman-1 ve Serr çöğürleri üzerine aşılı ağaçlarda aynı tarihlerde (04-15 Mayıs) gözlenirken, Keles üzerine aşılı ağaçlarda bu dönem birkaç gün daha geç (08-17 Mayıs) gözlenmiştir.

2021 yılında ise yine Kaman-1 anacı üzerine aşılı ağaçlarda tomurcuk kabarması (06 Nisan), tomurcuk patlaması (20 Nisan) ve yapraklanma dönemi (30 Nisan) daha erken gözlenirken, Keles üzerine aşılı ağaçlarda bu dönemler birkaç gün daha geç gözlenmiştir (11-25 Nisan; 03 Mayıs). Erkek çiçeklenme başlangıcı ve sonu arasındaki dönem Kaman-1 ve Serr anaçlı ağaçlarda yakın tarihlerde gerçekleşirken (14 Nisan-08 Mayıs), Keles anaçlı ağaçlarda bu dönem 2-3 gün daha geç gerçekleşmiştir (16 Nisan-11 Mayıs). Dişi çiçeklenme başlangıcı ve sonu arasındaki dönem Kaman-1 anaçlı ağaçlarda daha erken gözlenirken (03-16 Mayıs), Serr ve Keles anaçlı ağaçlarda bu dönem yakın tarihlerde gerçekleşmiştir (05-19 Mayıs). Üç yılın ortalama fenolojik gözlem sonuçları ele alındığında anaçların fenolojik dönemleri etkilediği tespit edilmiştir. Keles üzerine aşılı ağaçlarda fenolojik gelişim aşamalarının birkaç gün daha geç gözlemlendiği tespit edilmiştir (Şekil 1).

Akça ve ark. (2014)'nin yaptığı çalışmada 'Chandler' çeşidinin yıllara göre yapraklanması 17, 19 ve 24 Nisan tarihinde gerçekleşmiştir. Ahi Koşar ve ark. (2023) tarafından yapılan çalışmada ise ortalama yapraklanma tarihi 17 Nisan olarak tespit edilmiştir. Bu çalışmada yapraklanma Akça ve ark. (2014) ve Ahi Koşar ve ark. (2023)'nin bulgularına göre ortalama 5-10 gün daha geç gerçekleşmiştir. Bu farklılıkta anacın etkisinin yanı sıra sıcaklık, yağış, oransal nem, rüzgar, rakım ve toprak gibi ekolojik faktörlerin de etkili olduğu düşünülmektedir (Gratacós ve ark., 2006).

Çizelge 1. Farklı Anaçlar Üzerine Aşılı 'Chandler' Çeşidinde Bazı Fenolojik Gelişim Aşamaları

Anaç/ Çeşit	Yıl	Tomurcuk kabarması	Tomurcuk patlaması	Yapraklanma	Erkek çiçeklenme			Dişi çiçeklenme		
					Başlangıcı	Reseptiflik	Sonu	Başlangıç	Reseptiflik	Sonu
Kaman -1	2019	01.04	10.04	22.04	08.04	16.04	22.04	30.04	03.04	09.05
Serr		01.04	08.04	20.04	08.04	16.04	22.04	27.04	01.04	07.05
Keles		03.04	13.04	24.04	10.04	18.04	24.04	01.05	05.05	11.05
Kaman -1	2020	04.04	15.04	30.04	08.04	16.04	23.04	04.05	10.05	15.05
Serr		06.04	18.04	01.05	11.04	16.04	23.04	04.05	10.05	15.05
Keles		06.04	18.04	01.05	11.04	18.04	26.04	08.05	12.05	17.05
Kaman -1	2021	06.04	20.04	30.04	14.04	30.04	08.05	03.05	08.05	16.05
Serr		09.04	23.04	01.05	14.04	30.04	08.05	05.05	11.05	19.05
Keles		11.04	25.04	03.05	16.04	01.05	11.05	05.05	11.05	19.05



Şekil 1. Farklı Anaçlar Üzerine Aşılı 'Chandler' Çeşidinde Bazı Fenolojik Gelişim Aşamaları

Farklı anaçlar üzerine aşılı Chandler çeşidinin ağaç başına ve dekara verim miktarı yönünden 2020 ve 2021 yıllarında anaçlar arasında önemli ($P < 0.05$) farklılık tespit edilmiştir (Çizelge 2). 2019 yılında Kaman-1 (10.66 kg; 217.60 kg) ve Serr (8.00 kg; 163.20 kg) anacı üzerindeki ağaçların ağaç başına ve dekara verim miktarı daha yüksek bulunurken, Keles (6.83 kg; 139.40 kg) üzerine aşılı ağaçlar daha düşük değerler vermiştir. 2020 yılında da benzer şekilde Kaman-1 (13.41 kg; 273.70 kg) ve Serr (10.28 kg; 209.84 kg) anaçları üzerindeki ağaçların verim değerleri daha yüksek bulunurken, Keles (9.64 kg; 196.72 kg) üzerine aşılı ağaçların verimi daha düşük bulunmuştur. Ceviz yetiştiriciliğinde kullanılan anaçlar verimi etkilemektedir. Anacın çeşide verim yönünden etkisi %50 veya daha fazla olabilmektedir (Şen, 1986). Connell ve ark. (2010) 'da yaptıkları çalışmada Paradox üzerine aşılı Chandler ağaçlarında kendi kökü üzerindeki ağaçlara göre verimin daha yüksek olduğunu bildirmiştir. Grant ve Mc Graham (2006)'da *J. regia* çöğürleri ve Paradox anacı üzerine aşılı 'Chandler' ağaçlarının performansını araştırdıkları çalışmalarında Paradox anaçlı ağaçların *J. regia* köklü ağaçlara göre veriminin daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Akça ve ark. (2014) tarafından Nixsar' da yapılan çalışmada 7 yaşındaki 'Chandler' çeşidinin ağaç başına verimi yaklaşık olarak 5 kg tespit edilmiştir. Ahi Koşar ve ark. (2023)' nın Bursa koşullarında yaptıkları çalışmada 6, 7 ve 8. yaşındaki 'Chandler' çeşidinin ağaç başına verimi sırasıyla 6.1 kg, 13.17 kg, 12.72 kg olarak tespit edilmiştir. Bu çalışmada 7 yaşındaki ağaçların verimi Akça ve ark. (2014)' nın elde ettiği değerlerden daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca bu çalışmada 8 yaşındaki Kaman-1 üzerine aşılı ağaçlardan ağaç başına 13.41 kg verim elde edilmiş olup, Ahi Koşar ve ark. (2023)' nın aynı yaştaki ağaçlardan elde ettiği değerlerden daha yüksek bulunmuştur. Verimde tespit edilen bu farklılıklarda anacın etkisinin olabileceği gibi ekolojik faktörler ve yapılan kültürel işlemlerden de kaynaklanabilmektedir.

'Chandler' Ceviz (*Juglans regia* L.) Çeşidinin Fenolojik ve Pomolojik Özellikleri Üzerine Farklı Çöğür Anaçlarının Etkisi**Çizelge 2.** Farklı Anaçlar Üzerine Aşılı 'Chandler' Çeşidinde Verim Değerleri

Anaç	Verim (kg/ağaç)			Dekara Verim (kg/dekar)		
	2019	2020	2021	2019	2020	2021
Kaman-1	4.73	10.66 a	13.41 a	96.76	217.60 a	273.70 a
Serr	4.37	8.00 ab	10.28 ab	89.28	163.20 ab	209.84 ab
Keles	4.04	6.83 b	9.64 b	82.46	139.40 b	196.72 b

* : Aynı sütunda farklı harfler arasındaki farklılıklar önemlidir (P<0.05).

Çalışmada meyve ağırlığı 12.73 g -13.20 g, iç ağırlığı 5.47 g -5.81g arasında bulunmuştur. İç ağırlık yönünden anaçlar arasında önemli (P<0.05) farklılık tespit edilmiştir (Çizelge 3). Kaman-1 üzerine aşılı ağaçlardan elde edilen meyveler daha düşük iç ağırlığı değerleri göstermiştir. Meyve yükü yüksek olan ağaçların meyve iç ağırlıklarının daha düşük bulunması doğal bir sonuç olarak kabul edilmektedir. Cevizde meyve ağırlığının 10-18 g, iç ağırlığın ise 5-10 g arasında olması tercih edilmektedir (McGranahan ve Leslie, 1990). Daha önce 'Chandler' çeşidinin meyve ve iç ağırlıklarını Vanhanen, (2010); 10.6 g (meyve ağırlığı); Akça ve ark., (2014) 12.82 g ve 5.91 g; Mahmoodi ve ark. (2016) 7.70 g ve 3.32 g; Bilgin ve ark., (2018) 10.98 g ve 4.47 g; Çoban, (2020) 10.27 g ve 4.51 g; Hassani ve ark., (2020) 9.2 g ve 3.9 g; Manthos ve Rouskas, (2021) 13.68 g ve 6.81 g bulmuşlardır. Meyve özellikleri üzerine anacın etkisi olabileceği gibi ekolojik faktörlerin de etkisi oldukça fazladır (Cosmulescu ve ark., 2010). Daha önce araştırmanın yapıldığı Bursa koşullarında yapılan çalışmalarda ise meyve ağırlığı 12.36 g-13.28 g, iç ağırlık 4.50 g-5.73 g arasında değişim göstermiştir (Ertürk ve ark. 2014; Ertürk ve ark. 2017; Ahi Koşar ve ark. 2023). Aynı koşullarda yapılan önceki çalışmalara göre bu çalışmada iç ağırlık üzerine anaçların etkisinin olduğu, Keles ve Serr anaçlarının meyve iç ağırlığını arttırdığı tespit edilmiştir.

Çalışmada anacın meyve boyutu üzerine etkisi önemli bulunmamıştır. Ortalama meyve eni 33.75-33.85 mm, meyve boyu 42.23-43.14 mm, meyve yüksekliği 34.37-34.61 mm aralığında tespit edilmiştir (Çizelge 3). Önceki çalışmalarda 'Chandler' çeşidinde meyve eni ve boyunu Ercişli ve ark., (2012) 36.55 mm ve 43.68 mm; Ertürk ve ark., (2014) 32.92 mm ve 42.19 mm; Ertürk ve ark., (2017) 33.66 mm ve 41.03 mm; Bilgin ve ark., (2018) 33.26 mm ve 40.09 mm; Karlıdağ ve ark., (2019) 36.24 mm ve 44.15 mm; Çoban, (2020) 31.63 mm ve 38.74 mm; Ahi Koşar ve ark., (2023) 33.67 mm ve 39.08 mm olarak tespit etmişlerdir. Bu çalışmanın meyve eni değeri önceki çalışmalar ile uyumluluk göstermekle birlikte, meyve boyu değerinin daha yüksek bulunduğu ancak anaçların bu parametrelere etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Mahmoodi ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada meyve ağırlığı ve iç ağırlık ile meyve eni ve boyu arasında pozitif bir korelasyon olduğunu bildirmiştir. Bu çalışmada ise iç ağırlık yönünden önemli farklılık tespit edilmesine rağmen anaçların meyve boyutu üzerine etkisi önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 3. 'Chandler' Ceviz Çeşidinde Anaçların Meyve Ve İç Ağırlığı, Meyve Eni, Boyu ve Yüksekliği Üzerine Etkisi

Cultivar	Meyve ağırlığı (g)	İç ağırlığı (g)	Meyve eni (mm)	Meyve boyu (mm)	Meyve yüksekliği (mm)
Kaman-1	12.73	5.47 b	33.76	42.37	34.37
Serr	13.20	5.75 ab	33.85	43.14	34.61
Keles	12.88	5.81 a	33.75	42.23	34.47

* : Aynı sütunda farklı harfler arasındaki farklılıklar önemlidir (P<0.05).

Çalışmada randıman değeri yönünden anaçlar arasında istatistiki açıdan önemli (P<0.05) farklılık tespit edilmiştir. Kaman-1 üzerine aşılı ağaçlardan elde edilen meyvelerin randıman değeri (%46.58) diğer anaçlara göre daha düşük bulunmuştur (Çizelge 4). Randıman değeri tüm sert kabuklu

meyvelerde olduğu gibi cevizler içinde özellikle ekonomik açıdan önemli bir parametredir (Bakkalbaşı ve ark., 2010). Connell ve ark. (2010) farklı anaçlar üzerine aşılı 'Chandler' çeşidinde anaçların meyve randımanı değeri üzerine etkisini önemli bulmuşlardır. Aynı zamanda bu çalışmada yüksek meyve ve iç ağırlığına sahip anaçlardan elde edilen meyvelerin daha yüksek randıman değerlerine sahip olduğu, düşük meyve ve iç ağırlığına sahip çeşitlerin ise düşük randıman değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Diğer taraftan Bakkalbaşı ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmada randımanın meyve ağırlığı ve iç ağırlığı değerleri ile ters orantılı bir şekilde değiştiği bildirilmiştir. 'Chandler' geç yapraklanması ve yüksek verimi ile tüm dünyada en çok tercih edilen başlıca ceviz çeşididir. Ancak randıman oranı nispeten düşüktür (Özcan ve ark., 2022). Daha önce yapılan çalışmalarda 'Chandler' çeşidinin randımanını Ertürk ve ark., (2014) %33.88; Ertürk ve ark., (2017) %44.38; Bilgin ve ark., (2018) %40.70; Çoban, (2020) %44.00; Ahi Koşar ve ark. (2023) %43.92 olarak tespit etmişlerdir. Bu çalışmadan elde edilen randıman oranı önceki çalışmalara göre daha yüksek bulunmuş olup, uygun çöğür anaçların kullanımı ile 'Chandler' çeşidinin randımanının artırılabilceği sonucuna varılmıştır.

Çizelge 4. 'Chandler' Ceviz Çeşidinde Anaçların Randıman Oranı, Kabuk Kalınlığı, Büzük ve Çürük Meyve Oranı Üzerine Etkisi

Cultivar	Randıman (%)	Kabuk kalınlığı (mm)	Büzük meyve (%)	Çürük meyve (%)
Kaman-1	46.58 ^b	2.05 ^b	8.58	7.27 ^a
Serr	48.58 ^a	2.35 ^a	10.52	5.32 ^b
Keles	48.71 ^a	2.02 ^b	10.76	5.66 ^b

* : Aynı sütunda farklı harfler arasındaki farklılıklar önemlidir (P<0.05).



Şekil 2. Farklı Çöğür Anaçlar Üzerine Aşılı 'Chandler' Çeşidine Ait Meyveler

Çalışmada farklı çöğür anaçlar üzerine aşılı 'Chandler' çeşidinde anaçların kabuk kalınlığı üzerine etkisi önemli (P<0.05) bulunmuştur. Kabuk kalınlığı farklı anaçlara göre 2.02-2.35 mm arasında değişim göstermiştir. Keles anacından elde edilen meyvelerin randımanı yüksek, kabuk kalınlığı ise düşük bulunmuştur (Çizelge 4). Kabuk kalınlığı ile randıman arasında negatif bir ilişki söz konusudur. Kabuk kalınlığı arttıkça randımanın düşmesi beklenmektedir (Eskandari ve ark., 2006). Bilgin (2018) tarafından Menemen ekolojisinde yapılan çalışmada 'Chandler' çeşidinin kabuk kalınlığının 1.42 mm, Çoban (2020) tarafından Kırşehir ilinde yapılan çalışmada ise kabuk kalınlığının 1.05 mm olarak tespit edildiği bildirilmiştir. Daha önce Bursa koşullarında yapılan çalışmalarda kabuk kalınlığının 1.93-2.13 mm arasında değiştiği bildirilmiştir (Ertürk ve ark., 2014; Ertürk ve ark., 2017; Ahi Koşar ve ark. 2023). Bu çalışmanın sonucuna göre kabuk kalınlığının anaca göre değişiklik gösterdiği ve Serr anacından elde edilen meyvelerin kabuklarının daha kalın olduğu tespit edilmiştir. Kabuk kalınlığı arttıkça randımanın düşük değerler göstermesi doğal bir sonuçtur. Ancak üç yıllık ortalama verilere göre Serr anacından elde edilen meyvelerde kabukların kalın olmasına rağmen randıman da yüksek değerler göstermiştir. Randıman-kabuk kalınlığı ilişkisi üzerine anacın etkisinin

daha net bir şekilde ortaya konulması için anaç çalışmalarının uzun yıllar boyunca sürdürülmesi gerektiği düşünülmektedir.

Çalışmada anaçların büyük oranı üzerine etkisi benzerlik gösterirken, çürük oranı üzerine etkisinde önemli ($P<0.05$) farklılık tespit edilmiştir. Büyük oranı %8.58-10.52, çürük oranı ise %5.32-7.27 arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4). Büyük ve çürük meyveler cevizde iç kaliteyi etkileyen temel unsurlardandır. Sütyemez (2016) tarafından yapılan çalışmada 'Chandler' çeşidinde büyük oranının tespit edilmediği bildirilmiştir. Ertürk ve ark. (2017) tarafından Bursa koşullarında yapılan çalışmada 'Chandler' çeşidinde iç çürük oranı %6.21 olarak bildirilmiştir. Ertürk ve ark. (2017) ise Keles ve Serr anaçlı ağaçlardan elde edilen meyvelerde daha düşük iç çürük oranı tespit edildiğini bildirmiştir. Bununla uyumlu olarak uygun çöğür anacı kullanımı ile iç çürük oranının düşürülebileceği sonucu ortaya konulmuştur (Şekil 2). Ertürk ve ark. (2011) ve Sesli (2016) Serr çeşidinin çimlenme oranını sırasıyla %73.33 ve %67.50 olarak bulmuşlardır. Önceki çalışmalarda Serr çeşidinin çimlenme oranı daha düşük bulunmasına rağmen bu çalışmada verim ve meyve kalite kriterleri yönünden bu çeşit daha olumlu sonuçlar vermiştir.

SONUÇ

Çalışmada daha önce çimlenme gücü belirlenen Kaman-1, Keles ve Serr çöğür anaçlarının 'Chandler' çeşidinde fenoloji, verim ve pomolojik özellikler üzerine etkisi araştırılmıştır. Çalışmada anaçların fenolojik gelişme dönemleri, iç ağırlık, randıman oranı, kabuk kalınlığı ve çürük oranı üzerine etkisi önemli tespit edilmiştir. Farklı anaçlar üzerine aşılı 'Chandler' çeşidinde çalışmanın üç yılında da genel olarak Keles üzerine aşılı ağaçlarda fenolojik gelişim dönemleri birkaç gün daha geç gerçekleşmiştir. Çalışmanın son iki yılında anaçların verim üzerine etkisi önemli bulunmuştur. Kaman-1 ve Serr üzerine aşılı ağaçlarda verim daha yüksek bulunurken, Keles anaçlı ağaçlar düşük sonuçlar vermiştir. Meyve ağırlığı üzerine anaçlar benzer etkide bulunurken, iç ağırlık yönünden anaçlar arasında farklılık önemli bulunmuştur. Verim arttıkça iç ağırlığın azalması beklenen bir durumdur, bu çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Verim yönünden yüksek değerler gösteren Kaman-1 ve Serr anaçlarından elde edilen meyvelerde meyve iç ağırlığı daha düşüktür. Çalışmada meyve kalitesi ve ekonomik değeri yönünden oldukça önemli bir parametre olan randıman, kabuk kalınlığı ve çürük meyve oranı üzerine anaçların etkisi önemli bulunmuştur. Randıman oranı yüksek, çürük meyve oranı düşük olan Keles ve Serr anaçları bu kalite parametreleri yönünden ön plana çıkmıştır. Çalışma sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde verim ve kalite parametreleri yönünden Serr anacının performansının araştırmada kullanılan diğer anaçlara göre daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar arasında çıkar çatışması yoktur.

Yazar Katkısı

Ümran ERTÜRK: Çalışma planlanmış ve tasarlamıştır. Mevlüt Batuhan KOŞAR: Veri toplamış ve makaleyi yazmıştır. Dilan Ahı KOŞAR: Veri toplamış ve istatistiksel analizi yapmıştır. Eküle SÖNMEZ: Veri toplamıştır.

KAYNAKLAR

- Ahi Koşar, D., Koşar, M.B., Utku, Ö., Mert, C. ve Ertürk, Ü. (2023). The Performance of Some Walnut (*J.regia*) Cultivars in Bursa Conditions, Turkey. *Journal of Agricultural Sciences*, 29(2), 598-612.
- Akça, Y. ve Aydın, M. (2005). Tokat/Niksar Ekolojik Koşullarında Bazı Ceviz Çeşitlerinin Performanslarının Değerlendirilmesi. *Bahçe Ceviz*, 34(1), 49-55.

- Akça, Y., Ünal, B., Çelik, M. ve Okay, Y. (2014). Comparison of Some Promising Turkish and Foreign Walnut Cultivars. *Acta Horticulturae*, 1050, 143-150.
- Bakkalbaşı, E., Yılmaz, Ö.M. ve Artık, N. (2010). Türkiye’de Yetiştirilen Yerli Bazı Ceviz Çeşitlerinin Fiziksel Özellikleri ve Kimyasal Bileşenleri. *Akademik Gıda*, 8(1), 6-12.
- Bernard, A., Lheureux, F., & Dirlewanger, E. (2018). Walnut: Past and Future of Genetic Improvement. *Tree Genetic & Genomes*, 14, 1–28.
- Bilgin, S., Şen, F., Özeker, E. ve Bilgin, N.A. (2018). Bazı Ceviz Çeşitlerinin Menemen Ekolojisinde Morfolojik ve Pomolojik Özelliklerinin Belirlenmesi. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 6(1), 31-39.
- Connell, J.H., Olson, W.H., Limberg, J., & Metcalf, S.G. (2010). Effects of Various Roots on ‘Chandler’ Walnut Catkin and Pistillate Bloom, Tree Growth, Yield, and Nut Quality. *Acta Horticulturae*, 861, 237-244.
- Cosmulescu, S., Baciu, A., Botu, M. & Achim, G.H. (2010). Environmental Factors' Influence on Walnut Flowering. In *Proceedings of the VI International Walnut Symposium*, *Acta Horticulturae*, 861, 83-88.
- Çoban, İ. (2020). Chandler, Kaman-1 ve Midland Ceviz (*Juglans regia*) Çeşitlerinin Fenolojik, Pomolojik ve Biyokimyasal Özelliklerinin Karşılaştırılması (Yüksek lisans tezi). Erişim adresi: <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/239208>
- Demir, M.İ., Sütyemez, M., Özcan, A. ve Bükücü, Ş.B. (2017). Kahramanmaraş Afşin İlçesi Ceviz (*Juglans regia* L.) Popülasyonu İçerisinde Ümitvar Genotiplerin Belirlenmesi. *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi*, 22 (Ek Sayı 1), 91-97.
- Ercisli, S., Sayinci, B., Kara, M., Yıldız, C. ve Ozturk, I. (2012). Determination of Size and Shape Features of Walnut (*Juglans regia* L.) Cultivars Using Image Processing. *Scientia Horticulturae*, 131, 47–55.
- Ertürk, Ü., Mert, C., Soylu, A., Akça, Y. ve Okay, Y. (2014). Evaluation of Some Domestic and Foreign Walnut Cultivars in the Conditions of Bursa, Turkey. *Acta Horticulturae*, 1050, 123-129.
- Ertürk, Ü., Mert, C. ve Şengül, E. (2011). Cevizlerde Farklı Çöğür Anacı Kaynaklarının Gelişim Performansları. Türkiye VI. Ulusal Bahçe Bitkileri Kongresi, 04-08 Ekim 2011, Şanlıurfa, Türkiye.
- Ertürk, Ü., Mert, C., Utku, Ö. ve Kaya, O. (2017). Bursa Koşullarında Yetiştirilen Yerli ve Yabancı Ceviz Çeşitlerinin Meyve Özelliklerinin Değerlendirilmesi. *Bahçe*, 46 (Özel Sayı 2), 47-52.
- Eskandari, S., Hassani, D. ve Abdi, A. (2006). Investigation on Genetic Diversity of Persian Walnut and Evaluation of Promising Genotypes. *Acta Horticulturae*, 705, 159–166.
- FAO, (2020). Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO Statistic. <https://faostat.org/faostat/en/#data> (Access date: 01 November 2022).
- Grant, J.A. & McGranahan, G.H. (2005). Orchard Performance of ‘Chandler’ Walnut on Selected *Juglans regia* Seedling Rootstocks. *Acta Horticulturae*, 705, 365-370.
- Gratacós, E., Brauchi, P. & Herrera, R. (2006). Characterization and Management of Flowering in Walnut (*Juglans regia*) cv. Serr for Increased Productivity in Central Chile. *Acta Horticulturae*, 705, 513-520.
- Gregory, P.J., Atkinson, C.J., Bengough, A.G., Else, M.A., Fernandez-Fernandez, F., Harrison, R.J. & Schmidt, S. (2013). Contributions of Roots and Rootstocks to Sustainable, Intensified Crop Production. *Journal of Experimental Botany*, 64, 1209–1222.
- Gündeşli (Ed), (2021). Walnut. İksad Publishnig House ISBN: 978-625-8061-35-2, pp. 49, Ankara-Turkey.
- Hassani, D., Mozaffari, M. R., Soleimani, A., Dastjerdi, R., Rezaee, R., Keshavarzi, M., Vahdati, K., Fahadan, A. & Atefi, J. (2020). Four New Persian Walnut Cultivars of Iran: Persia, Caspian, Chaldoran, and Alvand. *HortScience*, 55(7), 1162-1163.
- JMP, 7.0.2. (2007). SAS Institute Inc., Cary, North Carolina 27513, USA
- Karlıdağ, H., Karaat, F. E., Kutsal, İ. K., Altun, O.T. ve Kan, T. (2019). Physical and Chemical Fruit Quality Properties of Some Walnut Cultivars and Promising Local Selections Grown Under Plain Conditions in Malatya. *Y.Y.U. Journal of Agricultural Science*, 29(4), 731-737.
- Kaşka, N. (2001). Türkiye’de cevizle ilgili Araştırmaların Değerlendirilmesi ve Geleceğe Bakış. I. Ulusal Ceviz Sempozyumu, 5-8 Eylül 2001, Tokat, Türkiye.

- Kazankaya, A., Şen, S.M., Yılmaz, M. ve Balta, F., (2003). Van Gölü Havzasında Ceviz Çöğürlerinin Gelişimleri. Türkiye IV. Ulusal Bahçe Bitkileri Kongresi, 08-12 Eylül 2003, Antalya, Türkiye.
- Koyuncu, F., Yıldırım, A.F. ve Vural, E. (2003). Isparta Ekolojik Koşullarında Ceviz Çöğür Anacı Eldesi Üzerine Bir Araştırma. Türkiye IV. Ulusal Bahçe Bitkileri Kongresi, 08-12 Eylül 2003, Antalya, Türkiye.
- Mahmoodi, R., Hassani, D., Amiri, M.E. & Jaffaraghaei, M. (2016). Phenological and Pomological Characteristics of Five Promised Walnut Genotypes in Karaj, Iran. Journal of Nuts, 7(1), 1-8.
- Manthos, I. & Rouskas, D. (2021). 'Ourania' Walnut. HortScience, 56(4), 521–522.
- McGranahan, G. & Leslie, C. (1990). Walnuts (*Juglans*). In: Moore JN, Ballington JR (eds), Genetic Resources of Temperate Fruit and Nut Crops (2), International Society for Horticultural Science, pp. 907 – 95, Wageningen-Netherlands.
- Özcan, A. (2013). Bazı Ceviz Çeşitlerinin (*Juglans regia* L.) Çimlenme ve Çöğür (Anaçlık) Gelişme Performanslarının Belirlenmesi (Yüksek lisans tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Özcan, A., Sutyemez, M. ve Bükücü, Ş.B. (2022). Kurtulus 100, A New Superior Walnut Cultivar in Turkey; Field Experimental Comparative Results with Chandler. Erwerbs-Obstbau, 1-7.
- Pollegioni, P., Woeste, K.E, Chiocchini, F., Del Lungo, S., Olimpieri, I., Tortolano, V., Clark, J., Hemery, G.E., Mapelli, S. & Malvolti, M.E. (2015). Ancient Humans Influenced the Current Spatial Genetic Structure of Common Walnut Populations in Asia. PLoS One, 10(9).
- Rouphael, Y., Kyriacou, M.C. & Colla, G. (2018). Vegetable Grafting: A Toolbox for Securing Yield Stability Under Multiple Stress Conditions. Frontiers in Plant Science. 8, 2255.
- Samsunlu, E. (2010). Üstün Nitelikli Ceviz Çöğür Tohum Kaynaklarının Saptanması (Yüksek lisans tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Sesli, Y. (2016). Bazı Ceviz Çeşitlerinin (*Juglans regia* L.) Tohum Anacı Olarak Kullanılabilir Potansiyellerinin Belirlenmesi Üzerine Araştırmalar (Doktora tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Sutyemez, M. (2016). New Walnut Cultivars: Maras 18, Sutyemez 1, and Kaman 1. HortScience, 51 (10), 1301–1303.
- Şen, S.M. (1986). Ceviz Yetiştiriciliği. Eser Matbaası, s. 229, Samsun-Türkiye.
- Şen, S.M. (2001). Ceviz anaçları. Türkiye I. Ulusal Ceviz Sempozyumu, 5-8 Eylül 2001, Tokat.
- Şen, S.M. (2011). Ceviz. ÜÇM Yayıncılık Baskı No:4, s. 11-17, Ankara-Türkiye.
- Tosun, İ., Ferhatoğlu, Y. ve Sarlar, G. (2004). Ceviz (*Juglans regia* L.) Tohum Anacı (Çöğür) Seçimi Projesi Kesin Raporu; T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Tarımsal Araştırma Genel Müdürlüğü, Atatürk Bahçe Kültürleri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Yalova.
- UPOV, (1999). Walnut (*Juglans regia* L.) Guidelines for the Conduct of Test for Distinctness, Uniformity and Stability. International Union Production New Varieties Plants: Geneva, Switzerland.
- Vanhanen, L.P. (2010). Comparison of New Zealand (South Island) and Australian (Tasmanian) walnut cultivars: An Organoleptic and Biochemical Study (Master Thesis). Access adress: chromeextension://efaidnbmninnibpcjpcglclefindmkaj/https://researcharchive.lincoln.ac.nz/bitstream/handle/10182/10514/Vanhanen_Masters.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Warschefsky, E.J., Klein, L.L., Frank, M.H., Chitwood, D.H., Londo, J.P., von Wettberg, E.J.B. & Miller, A.J. (2016). Rootstocks: Diversity, Domestication, and Impacts on Shoot Phenotypes. Trends in Plant Science. 21, 418–437.

Atf İçin: Keleş, M. K. ve Güvenoğlu, E. (2023). Çekişmeli Üretici Ağlar Kullanılarak Hasarlı Mozaik Görüntülerinin Tamamlanması. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 736-746.

To Cite: Keleş, M. K. & Güvenoğlu, E. (2023). Damaged Mosaic Image Inpainting by Using Generative Adversarial Network. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 736-746.

Çekişmeli Üretici Ağlar Kullanılarak Hasarlı Mozaik Görüntülerinin Tamamlanması

Mehmet Kıvılcım KELEŞ^{1*}, Erdal GÜVENOĞLU²

Öne Çıkanlar:

- Mozaik Tamamlama
- Yapay Zeka

Anahtar Kelimeler:

- Mozaik
- Görüntü tamamlama
- Derin öğrenme
- Çekişmeli üretici ağlar

ÖZET:

Bilinen en eski sanat eserlerinden olan mozaikler tarih boyunca çok farklı uygarlıklar tarafından geliştirilmiş ve kullanılmışlardır. Geçmişten günümüze ulaşan mozaik eserlerinde tahribat sıklıkla rastlanmaktadır. Gerçekleşen doğa koşulları, insanların olumsuz etkileri veya nesnelerin doğası gereği yıpranmasından dolayı tahribata uğrayan eserler olabilmektedir. Bu eserlerdeki tahribatın onarılması ve orijinal görüntüsüne ulaşılması gerekliliği tüm tarih eserlerinde olduğu gibi mozaik eserlerinin de temel ihtiyacıdır. Görüntü tamamlama problemi literatürde farklı teknikler ile çözülmeye çalışılan güncel bir problemdir. Bu çalışmada görüntü tamamlama problemini derin öğrenme tabanlı yöntemlerle mozaik veri seti üzerindeki sonuçları incelenmiştir. Mozaik görüntüsündeki eksik bölgelerin düzeltilmesi bağlamsal dikkat ile görüntü tamamlama mimarisi kullanılmıştır. Bu mimari aynı veri seti kullanılarak farklı çekişmeli üretici ağ mimarileri ile karşılaştırılmalı sonuçları incelenmiştir. Öğrenme aktarımı kullanılarak mozaik veri seti ile yeniden model eğitilmiştir. Test edilen mozaik örneklerdeki orijinal görüntü ile hasarı giderilmiş görüntü arasındaki yapısal benzerlik indisinin yapılan hasar oranına göre az hasarlı görüntülerde 0.92 - 0.95 çok hasarlı görüntülerde ise 0.72 - 0.89 arasında olduğu gözlemlenmiştir. Gerçekleştirilen görüntü tamamlama modeli ile az hasarlı mozaik resimlerinde görüntü tamamlamada yüksek başarı elde edilmiştir.

Damaged Mosaic Image Inpainting By Using Generative Adversarial Network

Highlights:

- Mosaic Inpainting
- Artificial Intelligence

Keywords:

- Mosaic
- Image inpainting
- Deep learning
- Generative adversarial networks

ABSTRACT:

Mosaics, one of the oldest known works of art, have been developed and used by many different civilizations throughout history. Destruction is frequently encountered in mosaic works that have survived from the past to the present. Artifacts can be damaged due to the natural conditions, the negative effects of people or the nature of the objects. The necessity of repairing the damage in these artifacts and reaching their original appearance is the basic need of mosaic artifacts as in all historical artifacts. Image inpainting problem is a current problem that is tried to be solved with different techniques in the literature. In this study, the results of the image inpainting problem on the mosaic data set with deep learning-based methods were examined. Image inpainting architecture is used with contextual attention to correct missing regions in the mosaic image. Comparative results of this architecture with different adversarial generator network architectures were examined using the same data set. Model was retrained with the mosaic dataset using learning transfer. It was observed that the index of structural similarity between the original image and the repaired image in the tested mosaic samples ranged from 0.92 - 0.95 in lightly damaged images and between 0.72 - 0.89 in heavily damaged images, according to the damage ratio. With the implemented image inpainting model, high success was achieved in image inpainting in mosaic paintings with little damage.

¹ Mehmet Kıvılcım KELEŞ ([Orcid ID: 0000-0001-5358-8301](https://orcid.org/0000-0001-5358-8301)), Maltepe Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, Türkiye

² Erdal GÜVENOĞLU ([Orcid ID: 0000-0003-1333-5953](https://orcid.org/0000-0003-1333-5953)), Maltepe Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Programcılığı Bölümü, İstanbul, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Mehmet Kıvılcım KELEŞ, e-mail: kivilcim.keles@gmail.com

GİRİŞ

Aynı veya farklı renklerdeki küçük parçacıkların yan yana getirilmesi ve birleştirilmesi yöntemiyle oluşturulan esere mozaik denir. Günümüze ulaşan tarihi eserlerden en sık karşılaşılan yapı örneklerinden biride mozaiklerdir. Bilinen sanat dallarından, en eski ve önemli olanların biride mozaik sanatıdır. Birçok farklı dönem ve uygarlıkta kullanılan mozaik sanatı Romalılar döneminde yer, duvar ve çatı kemeri süslemelerinde, Bizans İmparatorluğu'nda kamusal mimaride ve Hıristiyan kiliselerinde dış cephe süslemelerinde sıklıkla yer almıştır. Özellikle M.S. 4. yüzyılda İmparator sanatı Bizans'ta ise Psifidota olarak adlandırılan mozaik sanatı Konstantin döneminden itibaren yaygın olarak kullanılmaya başlandı (Ogan ve Mirmiroğlu, 1955). Mozaik sanatının ortaya çıkış döneminden itibaren zaman içinde bulunduğu dönem ve olaylardan etkilenmiş tarihsel ve sanatsal gelişim ve değişim geçirmiştir. Özellikle Roma, Bizans ve Antik Yunan dönemlerindeki oluşan stil farklılıkları ile birlikte birçok farklı eser günümüze kadar ulaşmıştır.

Anadolu'da gün yüzüne çıkarılan mozaik örneklerinde mitolojik, insan ve hayvan figürlü konulara rastlanmamakla birlikte, genellikle geometrik motiflerin kullanıldığı mozaikler göze çarpmaktadır. Eşyanın yapısı gereği eskimesi, onun görünüşü ve yapısı üzerindeki kaçınılmaz değişimleri "bozulmayı" gündeme getirmektedir. Şüphesiz bu değişimler, çeşitli maddelerin öz direncinin gücü, bozulma faktörlerinin cinsi, şiddeti ve süresiyle orantılıdır (Eskici, 1997). Mozaiklerin yapıldıkları yüzyıllar öncesi orijinal görünüşleri ile günümüzde kazılarda gün yüzüne çıkarıldıkları görünüşleri arasında farklar bulunabilmektedir. Günümüze ulaşan çoğu mozaikler de kısmen veya büyük oranda tahribata uğradığı görülmektedir. Bunun sebebi ise, buldukları yapının yıkılmasıyla zarara uğraması, yangınlardan dolayı yanık izlerine sahip olması, yağmur, bitki kökleri ve yeraltı suları yüzünden zamanla tahribata uğramasıdır (Bassier, 1974). Bu tahribatların nedenlerini zaman içinde gerçekleşen doğa koşullarından, İnsanların olumsuz etkilerinden veya mozaik yapısının özelliklerinden kaynaklanan bozulmalar olarak sıralanabilmektedir. Bu tahribatların genel sonucu olarak mozaiklerde eksik desen ve motifler olarak karşımıza çıkmaktadır. Mozaik görsellerindeki eksik parçaların tamamlanması, orijinal halinin nasıl olduğunun bilinmesi de önemli bir problemidir. Şekil 1' de hasarlı bir mozaik örneği verilmektedir.



Şekil 1. Hasarlı mozaik örneği

Hasarlı görüntülerin tamamlanması günümüzde makine öğrenmesi problemleri arasında çözülmeye çalışılan güncel bir problemidir. Bu problemin çözümünde geleneksel görüntü tamamlama yöntemlerinden difüzyon tabanlı (Barnes ve ark., 2009; Ballester ve ark., 2001; Levin ve ark., 2003) ve yama tabanlı (Criminisi ve ark., 2003; Bertalmio ve ark., 2003) çözümler uygulanmış özellikle tekdüze boyama da başarılı sonuçlar verirken karmaşık tekrar etmeyen yapılarda hatalı görüntüler oluşturmaktadırlar. Derin öğrenmenin de gelişmesi ile öğrenme tabanlı yöntemlerin görüntü tamamlama probleminde daha iyi sonuçları üretmek için kullanılmaya başlanmıştır.

MATERYAL VE METOT

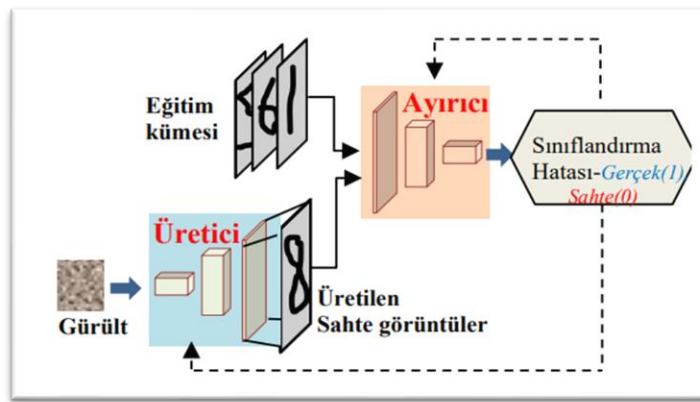
Derin Öğrenme

Derin öğrenme ileri düzeyli ve çok katmanlı yapay sinir ağlarından oluşan bir makine öğrenme yöntemidir. Derin öğrenme algoritmaları temelde beyinde bulunan bir nöronun çalışma prensibinin bilgisayar diline çevrilmesidir. Bilgisayarlı görme, sinyal işleme, ses işleme, sınıflandırma gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Özellikle sağlık alanında tanı ve teşhis konularında önemli çalışmalar bulunmaktadır (Pacal ve ark., 2022). Geleneksel makine öğrenmesi yöntemlerindeki gibi kodlanmış kurallar dışında resim, video, ses ve metinlerdeki verilerden otomatik olarak öğrenebilmektedirler (Kaya ve Yılmaz, 2019).

Derin öğrenme mimarilerinde ağın eğitimi esnasında denetimli öğrenme, denetimsiz öğrenme ve takviyeli öğrenme yöntemleri bulunmaktadır. Denetimli öğrenme yönteminde ağa bir girdi verisi ve girdiye göre çıktının ne olduğu bilgisi verilir. Ağın ağırlıkları aynı verinin tekrar tekrar ağa giriş verisi olarak verilmesi ile ağın ağırlıkları düzeltilir ve en az hataya ulaşana kadar ağ eğitilir (Makantasis ve ark. 2015). Denetimsiz öğrenmede ise giriş verisinin çıkışta ne olduğu bilgisi verilmeden, çıkışta en yakın bir kümenin üyesi olması beklenir (Radford ve ark. 2015; Higgins ve ark. 2016). Takviyeli öğrenmede ise ağda girdi verisinin çıkışta ne olduğu bilgisi verilmeden, çıkış sonucunun doğru ya da yanlış olduğu bilgisi verilerek ağın eğitimi gerçekleştirilir (Papernot ve ark. 2016).

Çekişmeli Üretici Ağlar

Yapay zekâ ve makine öğrenmesi alanlarının güncel bir alt alanı olan derin öğrenme, son dönemde oldukça popüler olmuş bir araştırma alanıdır. Bu alanın önemli bir ağı olan çekişmeli üretici ağlar (Generative adversarial network-GAN) ise ilk ortaya çıktığı 2014 yılından günümüze sentetik görüntü üretmede, görüntü çözünürlük arttırmada, görüntü tamamlama gibi birçok farklı uygulama alanında kullanılmakta olan bir yaklaşımdır (Goodfellow ve ark, 2014). Çekişmeli üretici ağlar denetimsiz öğrenme tabanlı yöntemlerdir. Çekişmeli üretici ağ modellerinin çalışma temeli bir veri seti ile eğitilerek, eğitim sonrasında öğrendiği veriye göre yeni bir değer üretilmesi prensibine göre çalışmaktadır. Çekişmeli üretici ağlarının başlıca odağında model üretimi bulunmaktadır (Goodfellow ve ark, 2016). Çekişmeli üretici ağlar klasik derin ağ mimarilerinden farklı olarak iki farklı derin ağa sahiptir ve bu iki ağın birbiri ile çekişmeli olarak çalışmasıyla öğrenme işlemini gerçekleştirirler. Bu ağlardan biri üretici ağ, diğeri ise ayırıcı ağdır.



Şekil 2. Çekişmeli üretici ağ mimarisi (Silva, 2018; Langr ve Bok, 2018)

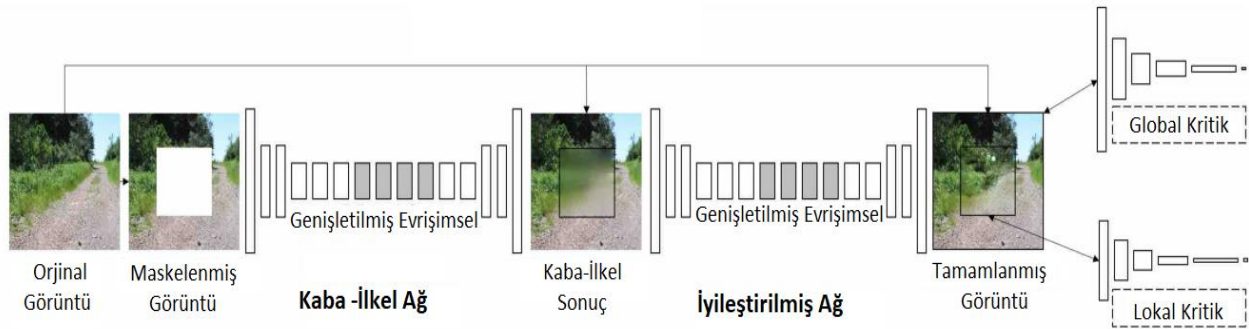
Ayrıcı model, geleneksel evrişimli sinir ağı ile oluşturulmuş evrişimsel bir sınıflandırıcıdır. Temel olarak yaptığı iş gelen görüntüleri sahte ya da gerçek olarak sınıflandırmaktır. Üretici model ise giriş olarak aldığı gürültü vektörü, her seferinde eğitim kümesindeki gerçek görüntülere benzetmeye

çalışmaktadır. Bu iki ağın birbirleri ile çekişmeli şekilde çalışmasıyla modellerin öğrenme başarısı artar ve modeller kendilerini geliştirerek daha iyi sonuçlar üretmektedirler. Şekil 3' te çekişmeli üretici ağ modeli gösterilmektedir.

Bağlamsal Dikkat ile Görüntü Tamamlama

Geleneksel görüntü tamamlama yöntemleri çoğunlukla yama eşleştirmeye (Bertalmio ve ark., 2003; Barnes ve ark., 2009) veya doku sentezine (Efros ve Leung, 1999; Efros ve Freeman, 2001) dayanmaktadır. Derin öğrenme tabanlı yöntemlerin de zaman içinde gelişmesi ile çekişmeli üretici ağlar ile görüntü tamamlamada daha iyi sonuçları üretmek için kullanılmaya başlanmıştır.

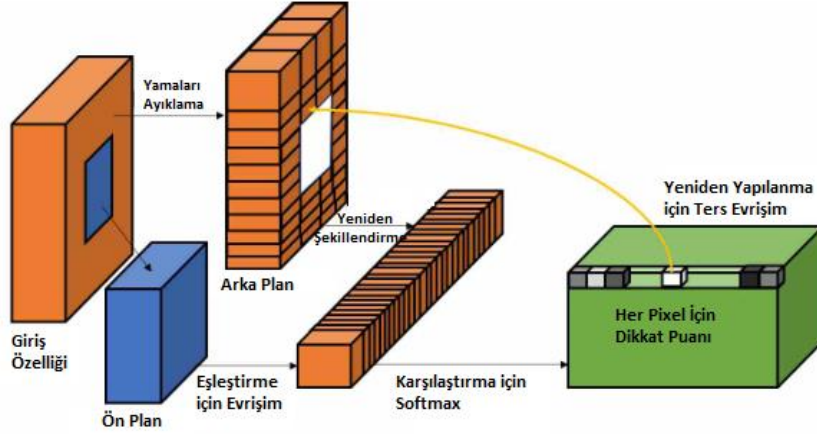
Bu mimarilerin çoğunda ağ görüntü çevresindeki tamamlanacak alanlarda tutarsız, hatalı yapılar ve bulanık görüntüler oluşturduğu gözlemlenmektedir. Görüntü tamamlamanın temel zorluğu, mevcut görüntüdeki veri ile eksik bölgeler için görsel olarak tutarlı, gerçekçi ve anlamsal olarak makul piksellerin sentezlenememesinden kaynaklanmaktadır. Geleneksel çekişmeli üretici ağlarda, evrişimli sinir ağı (CNN) sıklıkla kullanılmaktadır. CNN tabanlı yöntemler genellikle çevredeki alanlarla tutarsız olan sınır eserleri, çarpık yapılar ve bulanık dokular oluşturmaktadır. Bunun, bağlamsal bilgi mesafesi ve tamamlanacak bölgeler arasındaki uzun vadeli korelasyonları modellemede evrişimli sinir ağlarının etkisizliğinden kaynaklandığını ortaya çıkmıştır (Yu ve ark., 2018). Şekil 4' te bağlamsal dikkat modelinin genel yapısı gösterilmektedir.



Şekil 3. Bağlamsal dikkat yöntemine genel bakış (Yu ve ark., 2018)

Bu yöntem, görüntüde eksik içerikleri düzeltmek için yeniden yapılandırma kaybıyla eğitilmiş bir genişletilmiş evrişimsel ağ ve bağlamsal dikkat aşaması olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Temel fikir, üreticinin ürettiği tamamlama yamaları işlemek için bilinen yamaların özelliklerini evrişimli filtreler olarak kullanmaktır. Bu mimaride, küresel ve yerel Wasserstein GAN(WGAN)' ları çekişmeli denetim için Derin Evrişimli Üretken Çekişmeli Ağ (DCGAN)'a (Radford ve ark., 2015) dayanır. Önceki üretken iç boyama ağlarından (Pathak ve ark., 2016; Li ve ark., 2017; Lizuka ve ark., 2017) farklı olarak, Eğitim kontrollü Wasserstein GAN (WGAN-GP)'nin (Arjovsky ve ark. 2017; Gulrajani ve ark., 2017) değiştirilmiş bir sürümüdür. Sezgisel olarak, görüntü boyama yapılacak sınırlardaki eksik pikseller, görüntü tamamlama yapılacak alanın merkezine daha yakın olan piksellerden çok daha az belirsizliğe sahiptir. Bağlamsal dikkat yönteminde bir ağırlık maskesi (M) kullanarak uzamsal olarak indirgenmiş yeniden oluşturma kaybı tanıtılmıştır (Yu ve ark., 2018). Oluşturulan Maskelerdeki her pikselin ağırlığı γ_l olarak hesaplanmaktadır. Burada l , pikselin bilinen en yakın piksele olan mesafesi ve γ tüm deneylerde 0.99'a ayarlanmıştır (Yu ve ark., 2018). Oluşturulan yamaları bilinen bağlamsal yamalar ile eşleştirmek için evrişim, ilgili yamaları tartmak için kanal bazında softmax ve oluşturulan yamaları bağlamsal yamalar ile yeniden yapılandırmak için ters evrişim ile tasarlanmış ve uygulanmıştır (Yu ve ark., 2018). Ayrıca bağlamsal dikkat modülü uzaysal uyumu da teşvik edebilmek için uzaysal yayılma katmanına sahiptir. Bağlamsal dikkat ağı

mimarisinde, geleneksel ağlara göre model eğitimi daha hızlıdır. Şekil 5' te bağlamsal dikkat katmanının bir modeli verilmiştir.



Şekil 4. Bağlamsal dikkat katmanı modeli (Yu ve Ark)

Şekil 5' de görüleceği gibi, ön plan görüntü tamamlama yamalarının evrişim filtreleri olarak arka plan görüntü tamamlama yamalarıyla eşleşen puanını hesaplamak için evrişim kullanılır. Devamında, her bir görüntü pikseli için karşılaştırma yapmak ve dikkat puanı almak için softmax uygulanır. Son olarak, dikkat puanı üzerinde ters evrişim gerçekleştirilerek ön plan yamaları arka plan yamaları ile yeniden yapılandırılmaktadır.

Bağlamsal Dikkat ile Görüntü Tamamlama yönteminde, bağlamsal dikkat katmanına sahip bir ileri beslemeli çekişmeli üretici ağ fikrine dayanmaktadır. Mozaik veri setindeki görüntüler incelendiğinde bu probleme özel bağlamsal dikkat ile görüntü tamamlama mimarisinin iyi sonuç verebileceği ön görülmüş ve deneysel sonuçlar gözlemlenmiştir.

Verilerin Elde Edilmesi

Türkiye, bulunduğu coğrafya itibari ile çeşitli medeniyetlere ev sahipliği yapmış özel bir konumdadır. Günümüze kadar ulaşan çok sayıda tarihi eser ve mozaikler bulunmaktadır. Gün yüzüne çıkarılan bu eserlerden en önemlileri Hatay ve Gaziantep müzelerde bulunmaktadır. Veri seti oluşturulurken dünyanın en büyük iki mozaik müzesi olan Gaziantep Zeugma Mozaik Müzesi ve Hatay Arkeoloji müzesindeki eserler kullanılmıştır. Zeugma Mozaik müzesinde Doğu Roma Dönemi'ne ait 35 adet eserden 3.000 metrekare mozaığın 1.260 Farklı açılarda fotoğrafı çekilmiştir. Hatay Arkeoloji müzesinde ise çoğu roma dönemine ait 136 adet eserden 1.340 metrekare mozaığın 1.550 adet farklı açıdan fotoğrafı çekilmiştir. Hazırlanan veri setinde Zeugma Mozaik müzesi ve Hatay arkeoloji müzesinden 56 Esere ait toplam 2.810 adet farklı açılardan mozaik resmi kullanılmıştır. Şekil 2' de oluşturulan mozaik veri setinden bir örnek verilmiştir.



Şekil 5. Mozaik veri setinden örnek görüntüler

Resim boyutları farklılık gösterip ortalama olarak 1024x768 boyutlarından oluşmaktadır. Mozaik resimlerinde ön işleme olarak veri arttırma teknikleri kullanılmıştır. Bunun için Albumentations açık

kaynak kütüphanesinden yararlanılmıştır (Buslaev ve ark, 2016). Kullanılan veri arttırma teknikleri; görüntüyü yatay çevirme, görüntüyü büyütme veya küçültme, görüntüyü belirli açılar ile döndürme işlemlerinden oluşmaktadır.

Öğrenme Aktarımı

Öğrenme aktarımı, bir alanda elde edinilmiş bilginin başka bir alana aktarılmasını sağlayan bir yöntemdir (Weiss ve Ark,2016). Transfer öğrenme, bir alanda eğitilen bir modelin ağırlıklarını farklı bir alana aktarma işlemidir (Pacal, 2022). Bu yöntem ile büyük veriler ile eğitilmiş modellerin öğrenim bilgisini başka modellere transfer edilmektedir. Derin öğrenmede öğrenme aktarımı çok sık başvurulan bir yöntemdir. Bir ağı ön eğitilmiş ağırlık parametreleri ile eğitmek zaman avantajı ve performans artışı sağlamaktadır. Öğrenme aktarımında, ön eğitilmiş ağı parametreleri uyum sorunlarına neden olmaması için dondurulmaktadır. Bu çalışmada 2.9 milyon parametre ile ön eğitilmiş Places2 veri seti kullanılmıştır (Yu ve ark, 2018). Ön eğitilmiş modelden, mozaik veri setine öğrenme aktarımı uygulanmıştır.

Değerlendirme Kriterleri

Görüntü tamamlama için üretilen görüntünün başarısını sayısal ölçümlemek için yapısal benzerlik indisi (SSIM) ve Tepe Sinyal Gürültü Oranı (PSNR) metrikleri görüntü karşılaştırmada kullanılan metriklerdendir. x ve y yi birer görüntü kabul edersek, x ve y arasındaki karşılaştırma,

$$SSIM(x, y) = [I(x, y)]^\alpha \cdot [c(x, y)]^\beta \cdot [s(x, y)]^\gamma \text{ . şeklinde gösterilir.} \quad (1)$$

$$I(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1} \quad (2)$$

$$c(x, y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2} \quad (3)$$

$$s(x, y) = \frac{\sigma_{xy} + C_3}{\sigma_x\sigma_y + C_3} \quad (4)$$

μ_x ve μ_y yaklaşık parlaklığı, σ_x ve σ_y kontrastı ölçer, $\mu_x = \mu_y$ veya $\sigma_x = \sigma_y$ olduğu durumda maksimum değer olan 1 değerini alır.

Model çıktılarının değerlendirilmesi sürecinde veri seti iki ye bölünmüş, hiçbir hasarı bulunmayan görüntülerden oluşan veri seti kullanılmıştır. Bu veri setinde yapay hasar oluşturulmuş ve iki görüntünün karşılaştırılması yöntemleri ile orijinal resim ve üretici modelin ürettiği çıktı görüntüler karşılaştırılarak sonuç değerleri paylaşılmıştır. SSIM, iki resim arasındaki benzerliği korelasyon kaybı, parlaklık bozulması ve kontrast bozulması olmak üzere üç faktörün bir kombinasyonunu modelleyerek ölçmektedir. SSIM, [0, 1] aralığındadır (Horé ve Ziou, 2010). İki resim arasında az korelasyon var ise 0, çok korelasyon var ise 1 dir.

PSNR, iki görüntü arasındaki desibel cinsinden benzerlik hata oranını hesaplamaktadır. PSNR değeri ne kadar yüksek olursa, yeniden oluşturulmuş görüntünün kalitesi o kadar iyi olur. PSNR değeri küçüldükçe, görüntüler arasında yüksek sayısal farklılıklar anlamına gelmektedir.

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{l_{max}^2}{MSE} \right) \quad (5)$$

l_{max} PSNR değeri hesaplanacak görüntünün en büyük gri ton değeridir. Bu değer en yüksek gri seviye değeri olduğu için genellikle 255 olarak kullanılır. MSE ortalama hata karesi değerini ifade etmektedir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Günümüzde, derin öğrenme temelli modeller ile birçok farklı alanda, en yüksek performansların elde edildiği görülmektedir (Toğaçar ve Ergen, 2019). Özellikle en ilgi çekici konularından biride

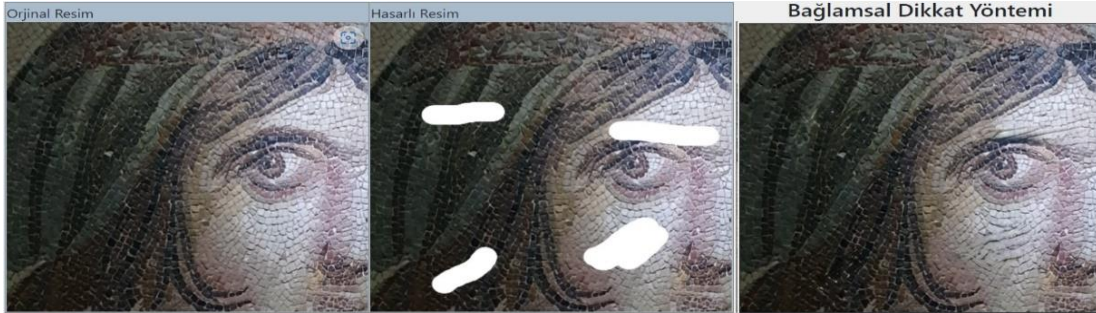
çekişmeli üretici ağ modellerinin görüntü tamamlamada kullanılmasıdır. Bu modellerden bazılarını çalışmamızda mozaik veri seti üzerinde eğitilerek sonuçları gözlemlenmiştir. Veri setindeki görüntülerden eğitim için toplam veri setinin %60'ı kullanılırken doğrulama için %20'si ve test için %20'si kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar Intel i7 8250U model işlemci, NVIDIA GeForce 940MX model ekran kartı ve 16 GB hafızalı Windows 10 işletim sistemine sahip bir bilgisayar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bir resim için ortalama görüntü tamamlama işlem zamanını 3.9 saniye olarak bulunmuştur. Oluşturulan modelin başarımlı ölçüm metriği olarak iki görüntünün SSIM ile PSNR oranları kullanılmıştır. Yöntemden elde edilen bir sonuç görüntüsü Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8' de verilmiştir.



Şekil 6. Az hasarlı Mozaik 1 yöntem çıktı örnekleri



Şekil 7. Az hasarlı Mozaik 2 yöntem çıktı örnekleri



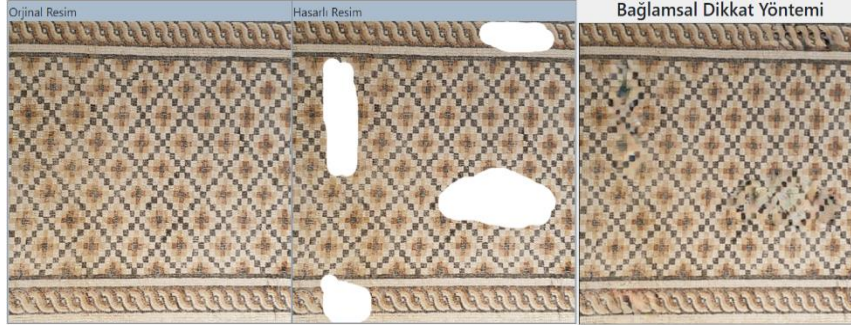
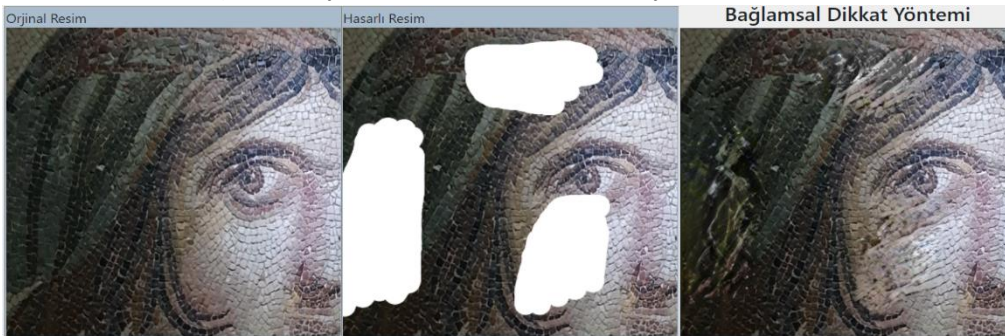
Şekil 8. Az hasarlı Mozaik 3 Yöntem çıktı örnekleri

Yapılan deneysel çalışmada orijinal görüntü alınarak görüntü üzerinde deformasyon yapılmıştır. Bu deformasyon, az hasarlı ve çok hasarlı olmak üzere iki sınıfa ayrılmıştır. İki sınıfa toplanan test veri seti, geliştirilmiş olan modele verilerek hasarı giderilmiş görüntü çıktıları alınmıştır. Az hasarlı görüntülerde, orijinal görüntü ile hasarlı görüntü arasındaki SSIM değeri 0.88 - 0.91 arasında olup bu görüntülerdeki PSNR değeri 15.3 - 22.7 arasındadır. Az hasarlı mozaik görüntülerinde verilen tahribat miktarına bağlı olarak orijinal görüntü ile hasarı giderilmiş görüntü arasındaki SSIM değerinin 0.92 - 0.95 arasında değişkenlik gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu oranın mozaik desenine göre değişiklik gösterdiği görüşmüştür. Orijinal ve hasarı giderilmiş görüntü arasındaki PSNR değeri 28.01 - 32.38 arasında değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir. Elde edilen test sonuçları Çizelge 1' de verilmiştir.

Çizelge 1. Az hasarlı mozaik görüntü tamamlama başarısı sonuçları

	Orijinal – Hasarlı Görüntü		Orijinal – Hasar Giderilmiş Görüntü	
	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR
Mozaik 1	0.9128	22.7607	0.9566	32.3801
Mozaik 2	0.8847	17.7475	0.9225	28.0124
Mozaik 3	0.8970	15.3690	0.9340	28.3353

Yöntem çok fazla miktarda bozulmaya uğratılmış görüntüler üzerinde de test edilmiştir. Çok fazla miktarda bozulmaya uğramış örnek görüntüler ve düzeltme sonuçları Şekil 9, Şekil 10 ve Şekil 11’ de verilmiştir.

**Şekil 9.** Çok hasarlı Mozaik 1 Yöntem çıktı örnekleri**Şekil 10.** Çok hasarlı Mozaik 2 Yöntem çıktı örnekleri**Şekil 11.** Çok hasarlı Mozaik 3 Yöntem çıktı örnekleri

Çok hasarlı görüntülerde, orijinal görüntü ile hasarlı görüntü arasındaki SSIM değeri 0.67 - 0.81 arasında olup bu görüntülerdeki PSNR değeri 8.13 - 15.77 arasındadır. Çok hasarlı mozaik görüntülerinde verilen tahribat miktarına bağlı olarak orijinal görüntü ile hasarı giderilmiş görüntü arasındaki SSIM değeri 0.72 - 0.89 arasında değişkenlik gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu oranın mozaik desenine göre değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir. Orijinal ve hasarı giderilmiş görüntü arasındaki PSNR değeri 21.95 - 23.78 arasında değişkenlik gösterdiği gözlemlenmiştir. Çok hasarlı görüntüler üzerinde elde edilen test sonuçları Çizelge 2’ de verilmiştir.

Çizelge 2. Çok hasarlı mozaik görüntü tamamlama başarısı sonuçları

	Orijinal – Hasarlı Görüntü		Orijinal – Hasar Giderilmiş Görüntü	
	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR
Mozaik 1	0.8316	15.4354	0.8917	23.2681
Mozaik 2	0.8173	15.7708	0.8522	23.7827
Mozaik 3	0.6729	8.1381	0.7265	21.9521

Yapılan çalışmanın deneysel sonuçlarına bakıldığında, mozaik desenlerinde süreklilik var ise modelin başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Karmaşık desenli modellerde modelin başarısız olduğu tespit edilmiştir. Test sonuçlarına göre aynı görüntü üzerinde bağlamsal dikkat ile görüntü tamamlama yönteminde az hasarlı görüntülerde SSIM değeri 0.92 - 0.95 arasında değişkenlik göstermiş olup 1' e çok yakınsadığı tespit edilmiştir. Çok hasarlı resimlerde bu oranın 0.72 - 0.89 arasına düştüğü gözlemlenmiştir.

Literatürde görüntü tamamlama ile ilgili çoğul görüntü tamamlama yöntemi (Zheng ve ark., 2019) ve bölgesel konvolüsyon ve yerel olmayan korelasyon yoluyla Görüntü tamamlama yöntemi (Ma ve ark. 2019) gibi daha güncel çeşitli mimariler bulunmaktadır. Bu yöntemlerde çoğul görüntü tamamlama yönteminde tamamlanması istenen görüntünün, yalnızca tek bir tahmin üretmeye çalışan yaklaşımların aksine birden fazla ve çeşitli makul sonuçlarını üretme esasına dayanır. Bölgesel konvolüsyon ve yerel olmayan korelasyon yoluyla Görüntü tamamlama yöntemi ise en basit şekliyle bölge bazlı evrişimler kullanılarak en yakın sağlam olana göre tamamlanması esasına dayanır.

Veri kümesi aynı şartlarda çoğul görüntü tamamlama yöntemi ve bölgesel konvolüsyon ve yerel olmayan korelasyon yoluyla görüntü tamamlama yöntemi ile orijinal görüntüler ile hasarlı görüntüler arasındaki SSIM değerlerine bakılarak deneysel çalışmalar yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmaların aritmetik ortalaması alınarak elde edilen sonuçlar Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Farklı yöntemler ile karşılaştırma sonuçları

	Az Hasarlı Görüntü	Çok Hasarlı Görüntü
	SSIM	SSIM
Çoğul Görüntü Tamamlama	0.7691	0.6248
Bölgesel Konvolüsyon ve Yerel Olmayan Korelasyon ile Görüntü Tamamlama	0.9071	0.8043
Bağlamsal Dikkat ile Görüntü Tamamlama	0.9487	0.8512

Çizelge 3'te görüldüğü üzere aynı veri seti üzerinde az ve çok hasarlı görüntülerde çoğul görüntü tamamlama yöntemi uygulanmış görüntülerde SSIM değerlerinin aritmetik ortalaması en düşük olurken, bağlamsal dikkat ile görüntü tamamlama yönteminin diğer yöntemlere göre daha iyi başarı gösterdiği gözlemlenmiştir.

SONUÇ

Günümüze ulaşan mozaik eserlerindeki tahribatlardan dolayı eserlerin orijinal görüntüsünün nasıl görüldüğünün anlaşılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada Türkiye'de bulunan mozaik eserlerindeki tahribatların derin öğrenme mimarisi kullanılarak görüntüdeki hasarların giderilmesi ele alınmıştır. Ülkemizdeki en önemli ve en büyük iki mozaik müzesindeki eserlere ait yeni bir mozaik veri seti oluşturulmuştur. Bu veri seti literatüre restorasyon alanında yapay zeka tabanlı yeni çalışmaların yapılmasının önünü açacaktır. Son yıllarda literatürde görüntü tamamlama problemi üzerine yapılan çalışmalarda en etkili sonuçlar çekişmeli üretici ağ mimarisi ile yapılmıştır. Mozaik veri setindeki görüntülerde eksik bölgelerin tamamlanmasında çekişmeli üretici ağ mimarisindeki bağlamsal dikkat yöntemi uygulanmıştır. Aynı veri seti üzerinde bölgesel konvolüsyonlar ve yerel olmayan korelasyon yöntemi, çoğul görüntü tamamlama yöntemi ve bağlamsal dikkat yöntemi ile

başarı karşılaştırılması yapılmıştır. Bağlamsal dikkat yönteminin mozaik veri seti üzerinde daha başarılı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Bağlamsal dikkat yöntemi kullanılarak orijinal görüntü, hasarlı görüntü ve hasarı düzeltilmiş görüntü üzerinde SSIM ile PSNR karşılaştırılmıştır. Bu deneysel çalışmanın sonucu karmaşık motifli olmayan mozaik görüntüleri için tatmin edicidir. Mozaik görüntülerindeki tahribatın düzeltilmesi hem hızlı, hem de herhangi bir uzmana ihtiyaç duymadan eserin orijinal görüntüsüne ulaşma olanağı sağlamaktadır. Devam eden çalışmalarda, modelin daha karmaşık yapılı mozaik görüntüler için geliştirilmesi hedeflenmektedir.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları arasında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

KAYNAKLAR

- Arjovsky M, Chintala S, Bottou L, 2017. Wasserstein Gan. arXiv 2017. arXiv preprint arXiv:1703.10785, 30(4).
- Barnes C, Shechtman E, Finkelstein A, Goldman D. B, 2009. PatchMatch: A Randomized Correspondence Algorithm for Structural Image Editing. ACM Transactions on Graphics, 28(3), 24.
- Bassier C, 1974. Weiterentwicklung der Konservierungsmethoden für Mosaiken. Arbeitsblätter für Restauratoren(7 1), 43-52.
- Ballester C., Bertalmio M., Caselles V., Sapiro G., Verdera J., 2001, Filling-in by joint interpolation of vector fields and gray levels, 10(8):1200–1211.
- Bertalmio M, Vese L, Sapiro G, Osher S, 2003. Simultaneous Structure and Texture Image Inpainting. IEEE Transactions on Image Processing, 12(8), 882-889.
- Buslaev, A., Iglovikov, V. I., Khvedchenya, E., Parinov, A., Druzhinin, M., & Kalinin, A. A., 2020. Albumentations: Fast and Flexible Image Augmentations. Information, 11(2), 125.
- Criminisi A., Perez P., Toyama K., 2003. Object removal by exemplar-based inpainting. In Computer Vision and Pattern Recognition, 2003 IEEE Computer Society Conference on, volume 2, pages II– II. IEEE.
- Efros A. A, Freeman W. T, 2001. Image Quilting for Texture Synthesis and Transfer. 28th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, New York, August 12-17, 2001.
- Efros A. A., Leung T. K, 1999. Texture Synthesis by Non-Parametric Sampling. Seventh IEEE International Conference on Computer Vision, Kerkyra, September 20-27, 1999.
- Eskici B, 1997. Taş Eserlerin Korunması Üzerine Notlar. Türk Arkeoloji Dergisi, 31, 338-392.
- Goodfellow I, Bengio Y, Courville A, 2016. Deep Learning: MIT Press, United States.
- Goodfellow I, Pouget-Abadie J, Mirza M, Xu B, Warde-Farley D, Ozair S and Bengio Y, 2014. Generative adversarial nets. In Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS), 8-13 December 2014; Montréal/Canada
- Gulrajani I, Ahmed F, Arjovsky M, Dumoulin V, Courville A. C, 2017. Improved Training of Wasserstein Gans. Advances in Neural Information Processing Systems, 30.
- Higgins, I., Matthey, L., Glorot, X., Pal, A., Uria, B., Blundell, C., Lerchner, A., 2016. Early visual concept learning with unsupervised deep learning. arXiv preprint arXiv:1606.05579.

- Hore A, Ziou D, 2010. Image Quality Metrics: PSNR vs. SSIM. 20th International Conference on Pattern Recognition, İstanbul, August 23-26, 2010.
- Iizuka S, Simo-Serra E, Ishikawa H, 2017. Globally and Locally Consistent Image Completion. ACM Transactions on Graphics, 36(4), 1-14.
- Kaya U., Yılmaz A., 2019. Derin Öğrenme, 1-2, ISBN:978-605-2118-399.
- Langr J, Bok V, 2019. GANs in Action (MEAP Edition Ed.). Manning Publications, United States.
- Levin A., Zomet A., Weiss Y, 2003. Learning how to inpaint from global image statistics. In null, page 305. IEEE.
- Li Y, Liu S, Yang J, Yang M.H, 2017. Generative Face Completion. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Honolulu, July 21-26, 2017.
- Ma Y., Liu X., Bai S., Wang L., He D., Liu A., 2019. Coarse-to-Fine Image Inpainting via Region-wise Convolutions and Non-Local Correlation, Proceedings of the Twenty-Eighth International Joint Conference on Artificial Intelligence, August 2019.
- Makantasis K., Karantzas K., Doulamis A., Doulamis N., 2015. Deep supervised learning for hyperspectral data classification through convolutional neural networks. In Geoscience and Remote Sensing Symposium , 2015 IEEE International, pp. 4959- 4962.
- Ogan A, Mirmiroğlu V, 1955. Kaariye Camii Eski Hora Manastiri. Türk Tarih Kurumu Yayınları,6.
- Pacal I., 2022, Deep Learning Approaches for Classification of Breast Cancer in Ultrasound (US) Images, Journal of the Institute of Science and Technology, 12(4): 1917 – 1927.
- Pacal I., Karaman A., Karaboga D., Akay B., Basturk A., Nalbantoglu U., Coskun S., 2022. An efficient real-time colonic polyp detection with YOLO algorithms trained by using negative samples and large datasets, Computers in Biology and Medicine, 141(September 2021):105031.
- Pathak D, Krahenbuhl P, Donahue J, Darrell T, Efros A. A, 2016. Context Encoders: Feature Learning by Inpainting. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Las Vegas, June 27-30, 2016.
- Papernot N., Abadi M., Erlingsson U., Goodfellow I., Talwar K., 2016. Semi-supervised knowledge transfer for deep learning from private training data. arXiv preprint arXiv:1610.05755.
- Radford A, Metz L, Chintala S, 2015. Unsupervised Representation Learning with Deep Convolutional Generative Adversarial Networks. arXiv Preprint arXiv:.06434.
- Silva T. A, 2022. Beginner's Guide to Generative Adversarial Networks (GANs), <https://wiki.pathmind.com/generative-adversarial-network-gan> (Erişim Tarihi: 16.09.2022).
- Toğaçar M., Ergen B., 2019. Biyomedikal Görüntülerde Derin Öğrenme ile Mevcut Yöntemlerin Kıyaslanması, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 31(1), 109-121.
- Yu J, Lin Z, Yang J, Shen X, Lu X, Huang T S, 2018. Generative Image Inpainting with Contextual Attention. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Salt Lake City, June 18-23, 2018.
- Weiss, K., Khoshgoftaar, T. M., & Wang, D., 2016. A survey of transfer learning. Journal of Big data, 3(1), 1-40.
- Zheng C., Cham T., Cai J., 2019. Pluralistic Image Completion, arXiv preprint arXiv: 1903.04227.

To Cite: Kılıçarslan, S., Gögebakan, M., & Közkurt, C. (2023). Cervical Cancer Prediction Using SMOTE Algorithm and Machine Learning Approaches. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 747-759.

Cervical Cancer Prediction Using SMOTE Algorithm and Machine Learning Approaches

Serhat KILIÇARSLAN^{1*}, Maruf Gögebakan², Cemil Közkurt³

Highlights:

- Majority voting
- SMOTE
- Classification

Keywords:

- Data mining
- Majority voting
- SMOTE algorithm
- Cervical cancer
- Classification

ABSTRACT:

Cervical cancer is one of the most successful types of treatment when diagnosed early. In this study, it is aimed to find and classify the disease with data mining methods on the digitized data set obtained as a result of the pap-smear test. Two-stage architecture has been proposed for the diagnosis of cervical cancer. In the first stage of the study, missing data were extracted from the used dataset, and in the second stage, a new dataset was obtained by using the Synthetic Minority Oversampling Technique (SMOTE) algorithm to balance the target classes in the dataset. By applying the majority voting (MV) method to the dataset used in the study, the structure with 4 target variables was reduced to a single target variable. On two data sets, Artificial Neural Network (ANN), Support Vector Machines (SVM), Decision Trees (DT), Random Forest (RF), and K-Nearest Neighbors (KNN) algorithms from data mining methods were used for the diagnosis of cervical cancer. The results obtained from the original dataset and the dataset produced with Smote were compared. ANN is the best method evaluated according to classification success and F-score, and the major voted target variable in the balanced data group produced with the Smote algorithm gave the most successful result. The experimental results showed that the use of MV and SMOTE algorithms together increased the classification success from 93% to 99%.

¹ Serhat KILIÇARSLAN ([Orcid ID: 0000-0001-9483-4425](https://orcid.org/0000-0001-9483-4425)), Bandırma Onyedi Eylül University, Department of Software Engineering, Türkiye

² Maruf GÖGEBAKAN ([Orcid ID: 0000-0003-0447-8311](https://orcid.org/0000-0003-0447-8311)), Bandırma Onyedi Eylül University, Department of Maritime Business Administration, Maritime Faculty, Türkiye

³ Cemil KÖZKURT ([Orcid ID: 0000-0003-1407-9867](https://orcid.org/0000-0003-1407-9867)), Bandırma Onyedi Eylül University, Department of Transportation Engineering, Türkiye

* **Corresponding Author:** Serhat KILIÇARSLAN, e-mail: skilicarslan@bandirma.edu.tr

INTRODUCTION

Cancer is expressed as malignant tumors that multiply uncontrollably in various parts of our body. Cancer is one of the most dangerous diseases that can cause serious illness and even death if left untreated. Cervical cancer is the fourth most common type of cancer worldwide, resulting in approximately 604,000 new cases and 342,000 deaths, according to the 2020 WHO report (Adem et al., 2019). Again, according to the WHO's 2020 report, about 90% of new cases and deaths occur in low- and middle-income countries. When cervical cancer is detected early, it has been observed that the treatment success rate is quite high. Although cervical cancer can be easily eradicated, it is still a serious threat to women's health (GÜRE et al., n.d.). Therefore, early diagnosis is very important for the treatment of cervical cancer. To reduce the number of deaths and diseases related to cervical cancer, many researchers around the world have started to conduct research. Decision support systems are being developed with the use of data mining methods for the early diagnosis of the disease (Tanimu et al., 2022). The diagnostic process developed with computer-aided decision systems helps doctors to examine and diagnose the pap-smear images of many patients in a short time.

Many data mining algorithms are based on the assumption that the distribution of intraclass labels in data sets is balanced. Imbalanced class distribution is one of the situations encountered in many real-life problems such as disease search and spam filtering (Liu et al., 2008). When trying to analyze (classify) imbalanced data sets with these algorithms, the classification success of the algorithms remains very low. For this reason, unbalanced data distributions cause the analyzes to obtain biased and erroneous accuracy values (He & Garcia, 2009). In imbalanced datasets, many different algorithms have been developed to multiply and stabilize the minority dataset. Among these methods, the SMOTE algorithm, which was developed based on the nearest neighbor algorithm, is among the most used (Kartal & Özen, 2017). In the literature, methods such as SAE, DT, MLP, AdaBoost, and SVM have been used for the diagnosis of cervical cancer based on the clinical dataset obtained from Pap smear images (Adem et al., 2019; CH et al., 2022; Khanam, 2021; Ratul et al., 2022; Tanimu et al., 2022; Zhang et al., 2021). The cervical cancer image obtained by the Pap Smear method is shown in Figure 1. Studies that diagnosed cervical cancer on the clinical data set obtained from their images are presented below.

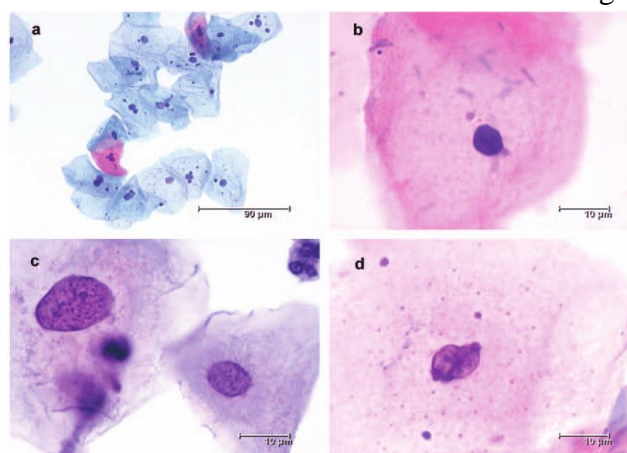


Figure 1. Pap-smear images

In the study of Ali et al. (2021), the cervical cancer clinical dataset was trained on 858 samples, 36 features, and 4 classes using Random Tree (RT), Random Forest (RF), and Instance-Based K-nearest neighbor (IBk) methods. According to the results obtained from the study, the RT method classified the biopsy and cytology classes well, while the RF method correctly classified the hinselmann and schiller classes (Ali et al., 2021). In the study of Islam et al. (2019), training was carried out using the Decision

Tree (DT), RF, Logistic Model Tree (LMT), and Artificial Neural Network (ANN) methods over the cervical cancer clinical dataset. As a result of the experimental evaluation in this study, the RF method correctly classified the biopsy and hinselmann classes, the LMT method Schiller and DT, and the cytology classes (Islam et al., 2019).

The comparative results of the proposed data mining methods with the studies on the same subject in the literature are shown in Table 1.

Table 1. A comparison of the literature on cervical cancer

Authors	Year	Method	Remarks
Alam et al. (Alam et al., 2019)	2019	Boosted Decision tree (BDT), Random Forests (RF)	Best performance achieved in BTD.
Ilango and Nithya (Nithya & Ilango, 2019)	2019	DT, RF, KNN, SVM	DT and RF gave the best results
Yang et al. (Yang et al., 2019)	2019	MLP	The most associated risk factors for cervical cancer achieved with MLP.
Mudawi and Alazeb (Al Mudawi & Alazeb, 2022)	2022	DT, SVM, KNN, RF	Best performance achieved with SVM.
Abdullah et al. (Abdullah et al., 2019)	2019	SVM, RF	Best performance achieved with RF.
Suman and Hooda (Suman & Hooda, 2019)	2019	SVM, Bayes Net, Naive Bayes, RF, MLP, J48	Best performance achieved with Bayes Net.
Karani et al. (Karani et al., 2022)	2022	KNN, RF, SVM, Logistic Regression	Best performance achieved with SVM.
Gan et al. (Gan et al., 2020)	2020	Cost-sensitive classification algorithm	Better success by editing unbalanced data.
Ilyas and Ahmad (Ilyas & Ahmad, 2021)	2021	DT, SVM, RF, KNN, NB	Best performance achieved with SVM.
Proposed Model	2022	ANN, SVM, DT, RF, KNN	Best performance achieved with ANN-MVS

Cervical cancer is the most common type of cancer that women are affected by the increasing number of cancer cases today. A large number of women worldwide suffer from cervical cancer (EYÜPOĞLU, 2020). Therefore, the main motivation of this study is to achieve successful results in early diagnosis by minimizing the classification error caused by imbalanced data in data mining methods for the diagnosis of cervical cancer. For this purpose, a two-stage architecture is proposed to perform the diagnosis and diagnosis of the disease on the cervical cancer dataset. In the first phase of the study, data with missing observations on the cervical cancer dataset were extracted. In the second stage, the SMOTE algorithm was used to balance the classes of the extracted data set. As a result of both stages, new datasets were obtained. On the two new datasets obtained, artificial neural network (ANN), support vector machine (SVM), decision tree (DT), random forest (RF), and nearest neighbor (KNN) algorithms from data mining methods were used for the diagnosis of cervical cancer. Performance comparisons were made by applying each model used in the study to the dataset. Therefore, data mining methods are used to aid early detection in the diagnosis of cervical cancer. Balancing the cancer data and reducing the four target variables used for diagnosis to a single class with a statistical method based on frequency distributions increased the classification success. With the data mining methods applied on the target variable of the class distributions balanced with the SMOTE algorithm, combined with majority voting, the accuracy in early diagnosis increases the success rate to approximately 99%.

In the second part of the study, the cervical cancer dataset and methods used are given. In the third chapter, experimental evaluation results and discussion are given. In the last section, conclusions and future work are presented.

MATERIALS AND METHODS

In the study, artificial neural networks (ANN), support vector machine (SVM), decision tree (DT), random forest (RF), and nearest neighbor (KNN) algorithms from data mining methods were used in the classification of cervical cancer data.

ANN: They are mathematical models developed to enable nervous systems such as the human brain to make learning predictions on computers like humans, inspired by information processing methods (Mitchell et al., 1990).

SVM: It is a supervised learning algorithm based on statistical learning/Vapnik-Chervonenkis (VC) theory. It aims to separate the data belonging to two classes in the most appropriate way based on the risk minimization principle (Cortes & Vapnik, 1995).

RF: It is an algorithm that uses more than one decision tree and works based on the same logic as the Decision Trees algorithm. It is aimed to increase classification success by creating multiple decision trees.

DT: It is an algorithm that determines the tree structure from the top to the bottom in classifying the data. The tree structure is named roots, branches, and leaves, starting from the top. The nodes in the tree structure correspond to the leaves in the tree to show the rules (Kotsiantis, 2013).

k-NN: It is one of the most frequently used sample-based unsupervised learning algorithms in solving classification problems. The learning process is performed with the training set taken from the data set, and the data is trained based on the similarity of the distances of the k-nearest data. In this algorithm, it is determined which class the incoming sample belongs to by looking at the k nearest neighbors (Dudani, 1976). With $X = x_1, \dots, x_n$ and $Y = y_1, \dots, y_n$ being the set of points belonging to two classes, the distance between them is obtained as in (1).

$$\|XY\| = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (1)$$

The majority voting method was applied to reduce the target variables of cervical cancer data to a single class based on frequency distributions. In addition, to eliminate the imbalanced cluster distribution problem among the features in the data set, synthetic data was produced with the SMOTE algorithm to produce minority class members.

Majority Voting

Cervical cancer data consisting of 668 observations, 30 features, and 4 target variables were classified by data mining methods based on statistical learning. A new target variable was obtained from the Hinselmann (C_H), Schiller (C_S), Citology (C_C) and Biopsy (C_B) target variables (label vector) in the data set by the majority voting (MV) method based on frequency distribution. The majority voting classifier algorithm specifically compares the results of each class label and decides on the class with the most votes (Lam & Suen, 1997). The majority voting flow diagram is presented in Figure 2.

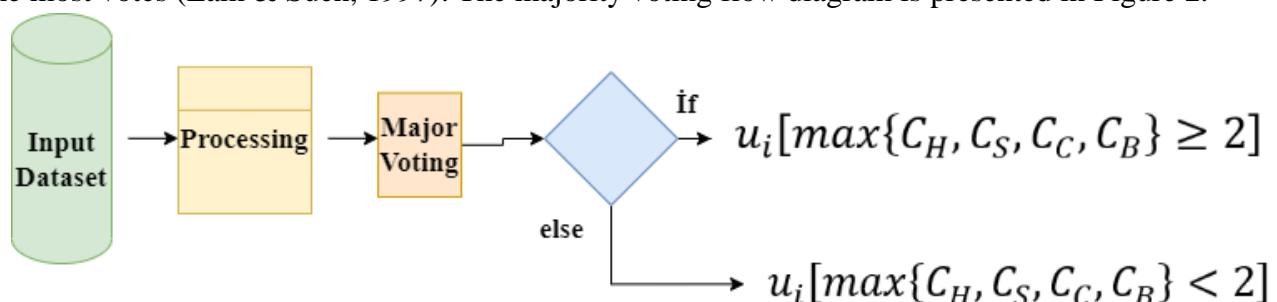


Figure 2. Majority voting flow diagram

In Figure 2, If the weighted class labels take values as $u_i[\max\{C_H, C_S, C_C, C_B\} \geq 2]$, they are assigned to the C_1 label vector, while if values are obtained as $u_i[\max\{C_H, C_S, C_C, C_B\} < 2]$, they are assigned to the C_0 label vector. Here, the tag vectors C_H, C_S, C_C and C_B represent the classes Hinselmann, Schiller, Citology and Biopsy, respectively. Classes C_0 and C_1 represent the label vectors for majority voting.

Synthetic Minority Over-sampling Technique (SMOTE):

The SMOTE algorithm method is among the best data generation methods to minimize the error in imbalanced cluster distributions in classification. Unlike algorithms that generate random samples, it works with the logic of generating members based on the closest minority members by using the k-NN method from minority members in class memberships. The most important difference from other synthetic data generation methods is that instead of producing minority class tags by copying method, synthetic members are obtained according to their distance from their nearest neighbors. (Chawla et al., 2002). The minority class member generation diagram based on SMOTE and k-NN algorithms is shown in Figure 3 as follows.

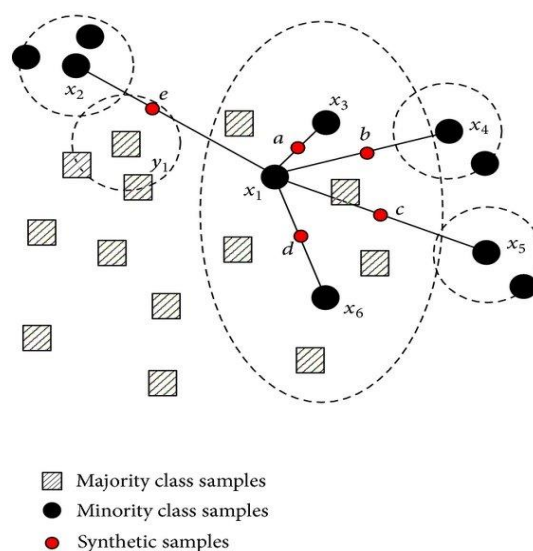


Figure 3. Minority class member generation diagram based on SMOTE algorithm (Hu & Li, 2013)

As demonstrated in Figure 2, while learning from unbalanced data, there is a higher likelihood of being close to a negative example and even being close to the mode of the positive distribution for a brand-new query x because there aren't many positive instances in the training set. The suggested method entails altering the spacing between the instances by the class structure.

Algorithm 1: Generating minority class synthetic data with SMOTE algorithm

Steps	Descriptions of Algorithm steps
Step-1	The k-NN members of each member in the minority class are appointed.
Step-2	The difference of distances in \mathbb{R}^n is calculated by the equation $(\sum_{i=1}^n x_i - y_i ^p)^{1/p}$ of the minority class member and the k-NN members.
Step-3	The class label α is multiplied by the value (distance) obtained from Step-2, which will be $\forall \alpha \in \{0,1\}$.
Step-4	A new class member is obtained with the $x_{new} = x_i + (x_j - x_i)\alpha$ equation
Step-5	Step 1-4 continues until the desired number of class members is produced.
Step-6	The algorithm is finished.

Cervical Cancer Data

In the study, a dataset with 858 observations, 32 features, and 4 target variables was obtained from the UC Irvine Machine Learning Repository database for the classification of cervical cancer disease by

classical data mining methods (Fernandes et al., 2017). “Time since first diagnosis” and “Time since last diagnosis” features from 32 features in the study were removed from the feature list to protect the confidentiality of patients' personal information. In addition, 190 lines of missing observations were excluded from the data obtained from the patients. Thus, experimental studies were carried out with the data set consisting of the remaining 668 observations and 30 features. The four target variables in the dataset are named Hinselmann, Schiller, Cytology, and Biopsy. Table 2 describes the numerical definition of the attributes of the dataset.

Table 2. Description of the features in the data set after preprocessing

Attributes	Mean	S. Dev.	Attributes	Mean	S. Dev.
Age	26.8205	8.497948	STDs: vaginalcondylomatosis	0.004662	0.068159
# of partners	2.51165	1.644759	STDs: vulva-perinealcondylomatosis	0.050117	0.218313
Age of 1st intercourse	16.9790	2.797653	STDs: syphilis	0.020979	0.143398
# of pregnancies	2.19230	1.434395	STDs: pelvic inflammatory disease	0.001166	0.034139
Smokes	0.14335	0.350641	STDs: genital herpes	0.001166	0.034139
Smokes years	1.20124	4.060623	STDs: molluscumcontagiosum	0.001166	0.034139
Smokes packs/year	0.44627	2.210351	STDs: AIDS	0	0
Hormonal contraceptives	0.68648	0.464194	STDs: HIV	0.020979	0.143398
Hormonal contraceptives years	1.97239	3.597888	STDs: Hepatitis B	0.001166	0.034139
IUD	0.09673	0.295771	STDs: HPV	0.002331	0.048252
IUD years	0.44460	1.814218	STDs: Number of diagnosis	0.087413	0.302545
STDs	0.09207	0.2893	Dx: Cancer	0.020979	0.143398
STDs number	0.15501	0.529617	Dx: CIN	0.01049	0.101939
STDs: condylomatosis	0.05128	0.220701	Dx: HPV	0.020979	0.143398
STDs: cervicalcondylo-mitosis	0	0	DX	0.027972	0.164989

RESULTS AND DISCUSSION

This work is carried out in Spyder 3.10.8 Python development environment on a laptop Intel (R) Core (TM) i5-10400 CPU@2.90 GHz and 8-GB RAM running on Windows 10. In the study, the processing steps of the decision support system developed for the detection of cervical cancer are shown in Figure 4.

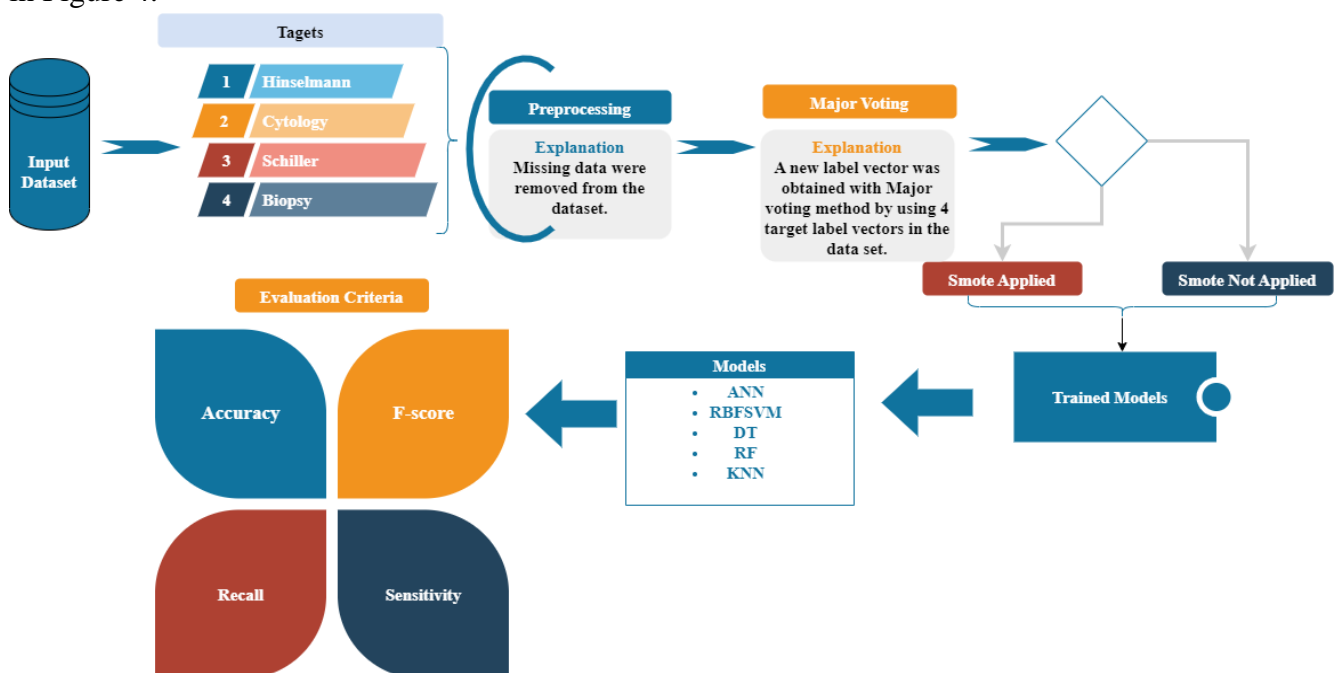


Figure 4. Processing steps performed for the detection of cervical cancer data

Experimental evaluations were carried out using the k-fold=10 cross-validation method of default values in the Scikit-learn [34] library as the parameters of the data mining methods used in the study.

In the study, the performances of various data mining algorithms are compared and the classification successes of these algorithms are given. The performances of the classification algorithms were compared according to accuracy, precision, recall, and f-score criteria in Equations 2, 3, 4, and 5, respectively. Accuracy is the difference between the actual value in the measurement of the physical property and the value indicated by the device. Precision, on the other hand, shows how many of the values we estimated as Positive are Positive. Recall, on the other hand, is a metric that shows how much of the operations we need to estimate as Positive, we estimate as Positive. The F1 Score value shows us the harmonic mean of Precision and Recall values.

$$\text{accuracy} = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN} \quad (2)$$

$$\text{precision} = \frac{TP}{TP + FP} \quad (3)$$

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (4)$$

$$F - \text{score} = \frac{2 * \text{precision} * \text{recall}}{\text{precision} + \text{recall}} \quad (5)$$

To test the performances of machine learning algorithms, the k-fold crossover method is used as shown in Figure 5.

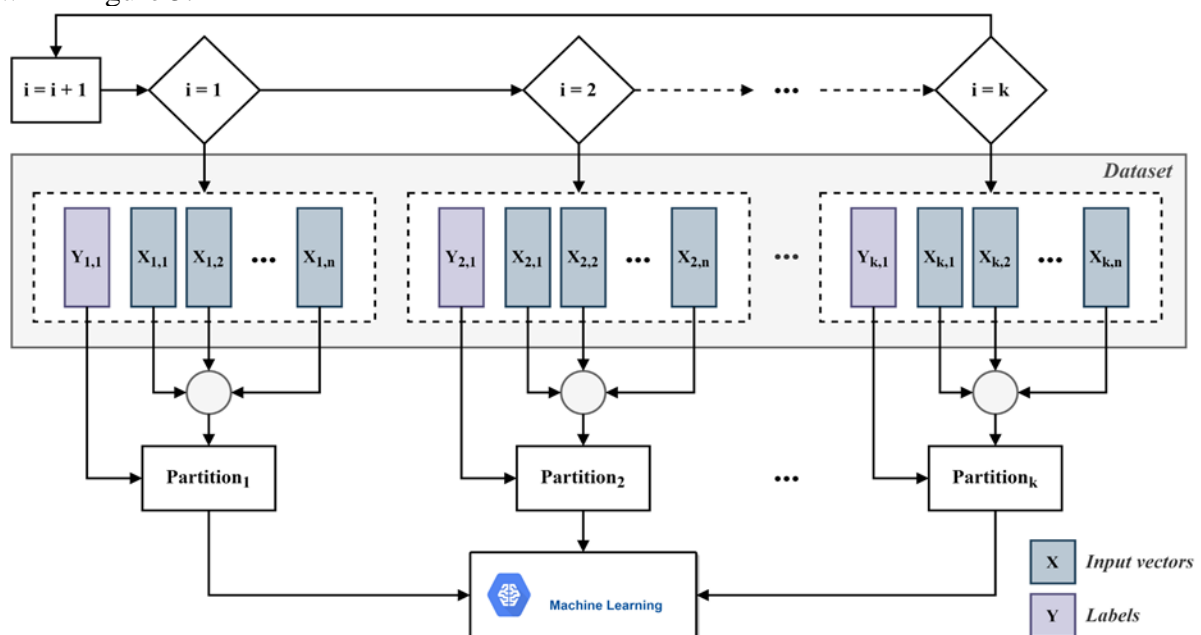


Figure 5. k-fold cross-validation of the dataset [Elen et. al., 2022]

Evaluation Indices

Accuracy is one of the most widely used evaluation criteria to measure classification success. It shows the rate of correct results achieved by data mining methods. The higher the accuracy achieved by an algorithm, the better the algorithm's performance. When there is no statistically significant difference between the accuracy values, the evaluation of the results may mislead the researchers. In this case, different evaluation criteria such as the Jaccard index, F-score, recall, and precision can be used to compare the results (Adem et al., 2019; Sharma & Seal, 2021a). In the evaluation of the results obtained from the data, Wilcoxon's signed-rank test, Wilcoxon's rank-sum test, and sign tests, which are non-

parametric hypothesis tests for two dependent samples, are evaluated at the 5% significance level (Sharma & Seal, 2021b).

In the study, experimental analyzes were carried out using data mining methods such as ANN, RBFSVM, DT, RF, and KNN. In this section, a two-stage architecture is proposed to be able to diagnose and diagnose the disease on the cervical cancer dataset. In the first stage of the study, cervical cancer data were preprocessed and experimental results were obtained. The results obtained are presented in Table 3. In the second stage, the classes in the dataset were brought into a balanced class structure with the SMOTE algorithm, experimental evaluations were made and presented in Table 4. The structure with 4 target variables was reduced to a single target variable by applying the MV method to the dataset used.

Table 3. Evaluation of Cervical Cancer Data by Data Mining Methods

Hinselmann				
	Accuracy	Precision	Recall	F-score
ANN	0.9797	0.880	0.6833	0.7100
RBFSVM	0.9775	0.8500	0.7167	0.7433
DT	0.9685	0.8500	0.80	0.8800
RF	0.9706	0.9999	0.600	0.7200
KNN	0.9662	0.8000	0.8500	0.8000
Schiller				
	Accuracy	Precision	Recall	F-score
ANN	0.9751	0.7417	0.8300	0.7746
RBFSVM	0.9774	0.8000	0.9400	0.8324
DT	0.9706	0.8000	0.8788	0.7997
RF	0.9752	0.8000	0.9267	0.8235
KNN	0.9345	0.8500	0.8167	0.8271
Cytology				
	Accuracy	Precision	Recall	F-score
ANN	0.9120	0.8167	0.8175	8186
RBFSVM	0.9414	0.8391	0.8300	0.8692
DT	0.9188	0.8250	0.8250	0.8223
RF	0.9119	0.8333	0.8917	0.8805
KNN	0.9369	0.8667	0.8015	0.8090
Biopsy				
	Accuracy	Precision	Recall	F-score
ANN	0.9593	0.9247	0.9117	0.9339
RBFSVM	0.9683	0.8000	0.8683	0.8598
DT	0.9526	0.8500	0.8767	0.8260
RF	0.9752	0.9333	0.8917	0.8360
KNN	0.9435	0.8167	0.8333	0.8871
MV				
	Accuracy	Precision	Recall	F-score
ANN	0.9910	0.9000	0.7500	0.9257
RBFSVM	0.9842	1.0000	0.8650	0.9163
DT	0.9821	0.8083	0.8250	0.8150
RF	0.9842	1.0000	0.8660	0.9163
KNN	0.9503	0.8464	0.8667	0.8224

When Table 3 is examined, classification values for five target variables Hinselmann, Schiller, Cytology, Biopsy, and MV were obtained with five different data mining methods such as ANN, RBFSVM, DT, RF, and KNN. According to the results obtained, it was determined that the MV target variable showed the best classification performance with 0.9910 accuracy and 0.9257 F-score values with the ANN method. As a result, the MV variable obtained by the weighting method from the Hinselmann, Schiller, Cytology, and Biopsy target variables positively affects the classification success. The ROC curve and confusion matrix of the classification success between MV and ANN are presented in Figure 6.

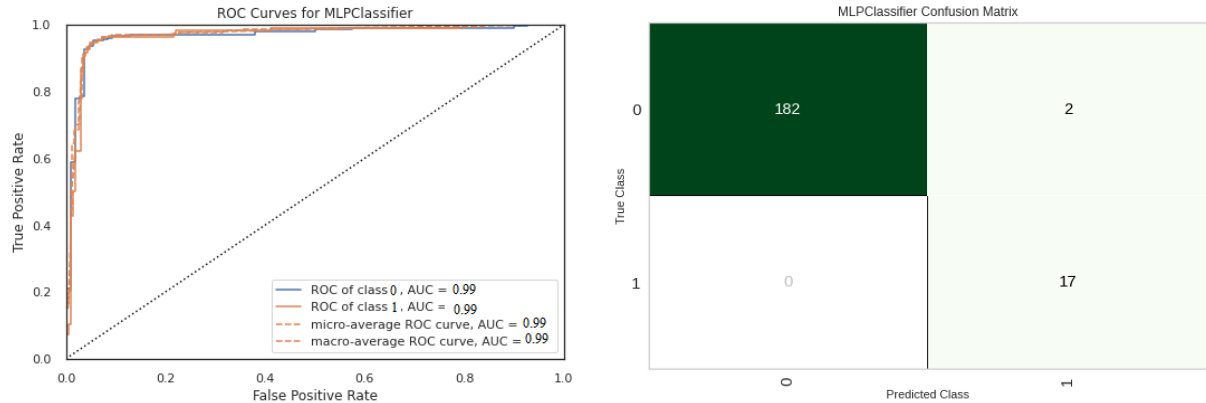


Figure 6. Classification success of ANN-MV a) Roc curve b) Confusion Matrix

After reducing the four target variables in the cervical cancer data to a single target variable, the imbalanced class structure in the data set was obtained by generating synthetic minority class members with the SMOTE algorithm. Classification success was measured by applying data mining methods to the balanced data set and the results are shown in Table 4.

Table 4. Evaluation of Cervical Cancer Data Balanced with SMOTE algorithm by Data Mining Methods

Hinselmann				
	Accuracy	Precision	Recall	F-score
ANN	0.9420	0.8923	0.8287	0.8549
RBFSVM	0.9188	0.9154	0.7354	0.8126
DT	0.9261	0.8154	0.8008	0.8016
RF	0.9415	0.9231	0.7281	0.8061
KNN	0.9275	0.8769	0.7875	0.8234
Schiller				
	Accuracy	Precision	Recall	F-score
ANN	0.9696	0.8724	0.9592	0.9639
RBFSVM	0.9323	0.9690	0.9449	0.9559
DT	0.9710	0.9655	0.9666	0.9656
RF	0.9638	0.9759	0.9411	0.9578
KNN	0.9145	0.9552	0.8616	0.9042
Cytology				
	Accuracy	Precision	Recall	F-score
ANN	0.9333	0.6100	0.6062	0.5848
RBFSVM	0.9478	0.5900	0.7293	0.6323
DT	0.9116	0.5567	0.4825	0.4888
RF	0.9348	0.5567	0.6454	0.5707
KNN	0.9493	0.5533	0.7931	0.6113
Biopsy				
	Accuracy	Precision	Recall	F-score
ANN	0.9551	0.9877	0.8981	0.9400
RBFSVM	0.9362	0.9453	0.8663	0.9162
DT	0.9420	0.9182	0.9197	0.9180
RF	0.9565	0.9917	0.8989	0.9423
KNN	0.9087	0.9552	0.8230	0.8819
MV				
	Accuracy	Precision	Recall	F-score
ANN	0.9899	0.9964	0.9791	0.9875
RBFSVM	0.9884	1.0000	0.9723	0.9858
DT	0.9870	0.9927	0.9756	0.9839
RF	0.9870	0.9854	0.982	0.9836
KNN	0.9478	0.9709	0.9074	0.9374

Table 4 shows the experimental results of the cervical cancer data in which the SMOTE algorithm and the minority class data were balanced. The target variables of the balanced data, named Hinselmann_S, Schiller_S, Cytology_S, Biopsy_S, and MV_S, were classified by data mining methods

ANN, RBFSVM, DT, RF, and KNN. According to the results obtained, the best classification performance was measured with 0.9899 accuracy and 0.9875 F-score values between MV_S and ANN. As a result, the MV_S variable obtained from Hinselmann_S, Schiller_S, Citology_S, and Biopsy_S target variables by weighting and SMOTE dataset balancing method had a positive effect on classification success. The ROC curve and confusion matrix of the classification success between MV_S and ANN are presented in Figure 7.

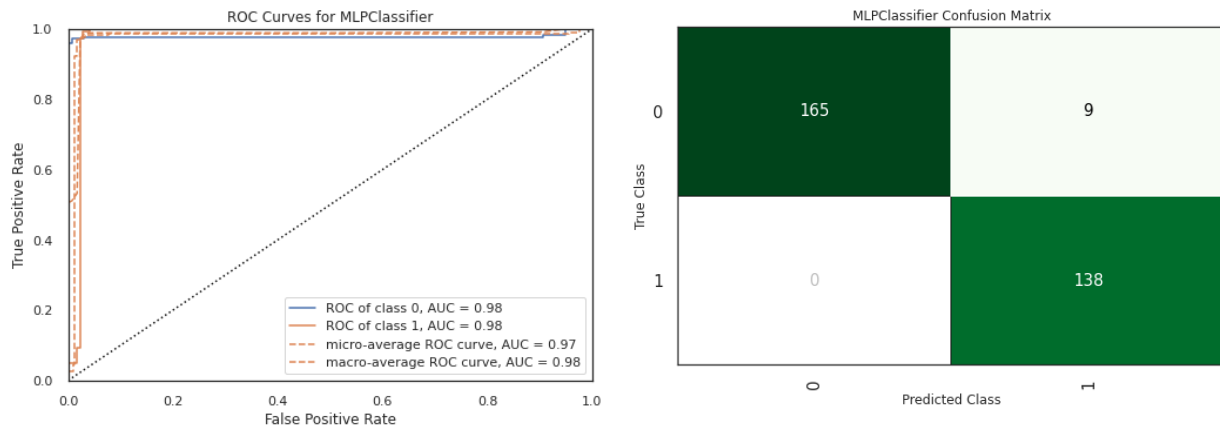


Figure 7. Classification success of ANN-MV_S a) ROC curve b) Confusion matrix

Experimental evaluation results are given in Tables 3 and 4. In the two-stage experimental evaluation, data mining methods were applied to the raw data, and the data set was balanced with SMOTE. In both stages, classification success was measured according to 5 target variables, including 4 target variables and MV target variable reduced by MV. In the first stage, it was seen that the classification between ANN and MV (99%-93%) was the most successful according to the accuracy and f-score values between the machine learning method and target variables in the raw data. Likewise, when looking at the second stage, it was seen that the best result was obtained between ANN and MV SMOTE (MV_S) (99%-99%) in terms of accuracy and F-score.

In the literature, there are evaluations based on accuracy and f-score results. Among the results obtained, the accuracy between MV and MV_S according to the ANN method and the statistical analysis and comparison results according to the F-score are presented in Table 5.

Table 5. Descriptive statistics of MV and MV_S variables according to Accuracy and F-score values

Descriptive Statistics					
	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
MV_S F-score	5	0.9756	0.02143	0.94	0.99
MV_S Accuracy	5	0.9800	0.01805	0.95	0.99
MV F-score	5	0.8791	0.05537	0.82	0.93
MV Accuracy	5	0.9784	0.01604	0.95	0.99

Non-parametric tests were applied for dependent variables according to accuracy and F1-score evaluation criteria, and the results are presented in Table 6.

Table 6. Statistical analysis for Accuracy and F1-score evaluation criteria

Test Statistics ^a		
	MV_F – MV_SF	MV_A – MV_SA
Z	-2,023 ^b	-1,214 ^b
Asymp. Sig. (2-tailed)	,043	,225

When Table 6 is examined, Wilcoxon Signed Ranks Test was performed to determine whether there is a statistically significant difference between the accuracy and f-score values obtained by the MV and MV_S methods. As a result of the test in Table 6, it was determined that the f-score values obtained according to the MV_S variable were significantly higher than the f-score values obtained according to

the MV variable ($p < 0.05$). In other words, considering the f-score criterion according to the ANN method, the classification success of the MV_S target variable is higher than the classification success of the MV variable. From this point of view, it can be said that applying the smote algorithm to the MV method has a positive effect on the f-score, which is an important indicator in separating the labels in classification. On the other hand, according to the results obtained with the MV variable and MV_S variable, no statistically significant difference was found in terms of the Accuracy criterion ($p > 0.05$). In other words, it can be said that applying the SMOTE algorithm to the MV method has no effect on Accuracy values, which is an indicator of classification success.

According to the data mining methods applied to cervical cancer data, it has been seen that reducing the target variables to a single variable with Major Voting and balancing them with the SMOTE algorithm increases the classification success. Classification of MV_S target variable with ANN according to f-score values was statistically significant.

CONCLUSION

Cancer is expressed as malignant tumors that multiply uncontrollably in various parts of our body. Although cervical cancer is a common and lethal type of cancer worldwide, it can be treated most successfully when diagnosed early. In this study, disease identification and classification were carried out by data mining methods on the digitized cancer dataset obtained as a result of the pap-smear test. The diagnosis of cervical cancer is mostly based on the experience and knowledge of medical doctors. Therefore, the development of decision support systems for the accurate prediction of cancer is of great importance in helping doctors diagnose and treat the disease. Thanks to the developed methods and algorithms, it is important to increase the success of the prediction of cervical cancer and to prevent the wrong treatments to be applied to the patients. The classification method proposed in this study produced successful results for disease diagnosis.

The dataset used in the study was reduced in size with the majority voting (MV) method, and the 4 target variables were reduced to a single target variable. In addition, the imbalanced class structure in the variables was balanced using the SMOTE algorithm. On the new dataset obtained with the data preprocessing, artificial neural network (ANN), support vector machine (SVM), decision tree (DT), random forest (RF), and k nearest neighbor (k-NN) methods for the diagnosis of cervical cancer were used. The experimental results showed that the use of MV and SMOTE algorithms together increased the classification success from 93% to 99%. The best classification performance was obtained with ANN. In future studies, it is aimed to test MV and SMOTE algorithms on image processing methods.

Conflict of Interest

The article authors declare that there is no conflict of interest between them.

Author's Contributions

The authors declare that they have contributed equally to the article.

REFERENCES

- Abdullah, A. A., Sabri, N. A., Khairunizam, W., Zunaidi, I., Razlan, Z. M., & Shahrman, A. B. (2019). Development of predictive models for cervical cancer based on gene expression profiling data. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 557, p. 012003). IOP Publishing.
- Adem, K., Kiliçarşlan, S., & Cömert, O. (2019). Classification and diagnosis of cervical cancer with stacked autoencoder and softmax classification. *Expert Systems with Applications*, 115, 557–564. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.08.050>

- Akyol, F. B., & Altun, O. (2020). Detection of cervix cancer from pap-smear images. *Sakarya University Journal of Computer and Information Sciences*, 3(2), 99–111.
- Al Mudawi, N., & Alazeb, A. (2022). A Model for Predicting Cervical Cancer Using Machine Learning Algorithms. *Sensors*, 22(11), 4132.
- Alam, T. M., Khan, M. M. A., Iqbal, M. A., Abdul, W., & Mushtaq, M. (2019, October 23). Cervical Cancer Prediction through Different Screening Methods Using Data Mining. SSRN Scholarly Paper, Rochester, NY. Retrieved from <https://papers.ssrn.com/abstract=3474371>
- Ali, M. M., Ahmed, K., Bui, F. M., Paul, B. K., Ibrahim, S. M., Quinn, J. M. W., & Moni, M. A. (2021). Machine learning-based statistical analysis for early stage detection of cervical cancer. *Computers in Biology and Medicine*, 139, 104985. <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2021.104985>
- Allehaibi, K. H. S., Nugroho, L. E., Lazuardi, L., Prabuwo, A. S., & Mantoro, T. (2019). Segmentation and classification of cervical cells using deep learning. *IEEE Access*, 7, 116925–116941.
- CH, N., Sai, P. P., Madhuri, G., Reddy, K. S., & BharathSimha Reddy, D. V. (2022). Artificial Intelligence based Cervical Cancer Risk Prediction Using M1 Algorithms. In *2022 International Conference on Emerging Smart Computing and Informatics (ESCI)* (pp. 1–6). Presented at the 2022 International Conference on Emerging Smart Computing and Informatics (ESCI). <https://doi.org/10.1109/ESCI53509.2022.9758241>
- Chawla, N. V., Bowyer, K. W., Hall, L. O., & Kegelmeyer, W. P. (2002). SMOTE: synthetic minority over-sampling technique. *Journal of artificial intelligence research*, 16, 321–357.
- Chen, W., Shen, W., Gao, L., & Li, X. (2022). Hybrid Loss-Constrained Lightweight Convolutional Neural Networks for Cervical Cell Classification. *Sensors*, 22(9), 3272. <https://doi.org/10.3390/s22093272>
- Cortes, C., & Vapnik, V. (1995). Support-vector networks. *Machine learning*, 20(3), 273–297.
- Dudani, S. A. (1976). The distance-weighted k-nearest-neighbor rule. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, (4), 325–327.
- Elen, A., Baş, S., & Közkurt, C. (2022). An Adaptive Gaussian Kernel for Support Vector Machine. *Arabian Journal for Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1007/s13369-022-06654-3>
- Eyüpoğlu, C. (2020). Korelasyon Temelli Özellik Seçimi, Genetik Arama ve Rastgele Ormanlar Tekniklerine Dayanan Yeni Bir Rahim Ağzı Kanseri Teşhis Yöntemi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (19), 263–271.
- Fernandes, K., Cardoso, J. S., & Fernandes, J. (2017). Transfer learning with partial observability applied to cervical cancer screening. In *Iberian conference on pattern recognition and image analysis* (pp. 243–250). Springer.
- Gan, D., Shen, J., An, B., Xu, M., & Liu, N. (2020). Integrating TANBN with cost sensitive classification algorithm for imbalanced data in medical diagnosis. *Computers & Industrial Engineering*, 140, 106266.
- Güre, M. D. P., Karataş, M., & Başçılar, M. (2022). “HPV Aşısı Haktır”: Halk Sağlığı Sosyal Hizmeti Perspektifinden HPV İle İlgili Tweetlerin Analizi. *Toplum ve Sosyal Hizmet*, 33(3), 955–973.
- He, H., & Garcia, E. A. (2009). Learning from imbalanced data. *IEEE Transactions on knowledge and data engineering*, 21(9), 1263–1284.
- Hu, F., & Li, H. (2013). A novel boundary oversampling algorithm based on neighborhood rough set model: NRSBoundary-SMOTE. *Mathematical Problems in Engineering*, 2013.
- Ilyas, Q. M., & Ahmad, M. (2021). An enhanced ensemble diagnosis of cervical cancer: a pursuit of machine intelligence towards sustainable health. *IEEE Access*, 9, 12374–12388.
- Islam, A.-U., Ripon, S. H., & Bhuiyan, N. Q. (2019). Cervical Cancer Risk Factors: Classification and Mining Associations. *APTİKOM Journal on Computer Science and Information Technologies*, 4(1), 8–18.
- Karani, H., Gangurde, A., Dhumal, G., Gautam, W., Hiran, S., & Marathe, A. (2022). Comparison of Performance of Machine Learning Algorithms for Cervical Cancer Classification. In *2022 Second International Conference on Advances in Electrical, Computing, Communication and Sustainable Technologies (ICAECT)* (pp. 1–7). IEEE.

- Kartal, E., & Özen, Z. (2017). Dengesiz veri setlerinde sınıflandırma. *Mühendislikte Yapay Zekâ ve Uygulamaları, 1st ed.*, O. Torkul, S. Gülseçen, Y. Uyaroğlu, G. Çağıl, and MK Uçar, Eds. *Sakarya: Sakarya Üniversitesi Kütüphanesi Yayınevi*, 109, 131.
- Khanam, F. (2021). Prediction of cervical cancer in Bangladesh using hybrid machine learning algorithms. Retrieved from <http://lib.buet.ac.bd:8080/xmlui/handle/123456789/6030>
- Kotsiantis, S. B. (2013). Decision trees: a recent overview. *Artificial Intelligence Review*, 39(4), 261–283.
- Lam, L., & Suen, S. Y. (1997). Application of majority voting to pattern recognition: an analysis of its behavior and performance. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans*, 27(5), 553–568.
- Liu, X.-Y., Wu, J., & Zhou, Z.-H. (2008). Exploratory undersampling for class-imbalance learning. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 39(2), 539–550.
- Mitchell, T., Buchanan, B., DeJong, G., Dietterich, T., Rosenbloom, P., & Waibel, A. (1990). Machine learning. *Annual review of computer science*, 4(1), 417–433.
- Nithya, B., & Ilango, V. (2019). Evaluation of machine learning based optimized feature selection approaches and classification methods for cervical cancer prediction. *SN Applied Sciences*, 1(6), 1–16.
- Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., ... Dubourg, V. (2011). “Scikit-learn: Machine Learning in Python,” *Journal of Machine Learning Research*, vol. 12, p.
- Ratul, I. J., Al-Monsur, A., Tabassum, B., Ar-Rafi, A. M., Nishat, M. M., & Faisal, F. (2022). Early risk prediction of cervical cancer: A machine learning approach. In *2022 19th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)* (pp. 1–4). Presented at the 2022 19th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON). <https://doi.org/10.1109/ECTI-CON54298.2022.9795429>
- Sharma, K. K., & Seal, A. (2021). Multi-view spectral clustering for uncertain objects. *Information Sciences*, 547, 723–745.
- Sharma, K. K., & Seal, A. (2021). Outlier-robust multi-view clustering for uncertain data. *Knowledge-Based Systems*, 211, 106567
- Suman, S. K., & Hooda, N. (2019). Predicting risk of Cervical Cancer: A case study of machine learning. *Journal of Statistics and Management Systems*, 22(4), 689–696.
- Tanimu, J. J., Hamada, M., Hassan, M., Kakudi, H., & Abiodun, J. O. (2022). A Machine Learning Method for Classification of Cervical Cancer. *Electronics*, 11(3), 463. <https://doi.org/10.3390/electronics11030463>
- Yang, W., Gou, X., Xu, T., Yi, X., & Jiang, M. (2019). Cervical cancer risk prediction model and analysis of risk factors based on machine learning. In *Proceedings of the 2019 11th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Technology* (pp. 50–54).
- Zhang, L., Zhu, Y., Song, Y., Han, Y., Sun, D., Qin, S., & Gao, Y. (2021). Intelligent Diagnosis of Cervical Cancer Based on Data Mining Algorithm. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, 2021.

Atf İçin: Pacal, I. ve Alaftekin, M. (2023). Türk İşaret Dilinin Sınıflandırılması için Derin Öğrenme Yaklaşımları. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 760-777.

To Cite: Pacal, I. & Alaftekin, M. (2023). Deep Learning Approaches for Classification of Turkish Sign Language. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 760-777.

Türk İşaret Dilinin Sınıflandırılması için Derin Öğrenme Yaklaşımları

Ishak PACAL¹, Melek ALAFTEKİN^{2*}

Öne Çıkanlar:

- Türkçe İşaret Dili Tanıma
- CNN-tabanlı Sınıflandırma

Anahtar Kelimeler:

- Türk İşaret Dili
- CNN
- ResNet
- Sınıflandırma

ÖZET:

İşaret dili, sağır ve dilsiz bireylerin duygularını, düşüncelerini ve sosyal kimliklerini çevrelerine aktarabilmek için kullandıkları sözsüz bir iletişim aracıdır. İşaret dili, sağır ve dilsiz bireyler ile toplumun geri kalan bireyleri arasındaki iletişimde kilit bir role sahiptir. Normal insanlar arasında işaret dilinin çok yaygın bilinmemesi ve insan-bilgisayar etkileşiminin artmasıyla birlikte birçok işaret dili tanıma sistemleri geliştirilmiştir. Bu çalışmada, Türk işaret dili için literatürde ilk kez rakam temelli yeni bir veri seti önerilmiştir. Türk işaret dilinin otonom bir şekilde sınıflandırılması ve bu konuda sıkıntı yaşayan insanların iletişimini bilgisayar temelli yapabilmesi için en güncel derin öğrenme yaklaşımları önerilen veri setine uygulanmıştır. Çalışmada özellikle CNN tabanlı VGG, ResNet, MobileNet, DenseNet ve EfficientNet gibi en güncel ve popüler mimariler kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda ResNet152 modeli, %98.76 doğruluk, %98.85 kesinlik, %98.81 duyarlılık ve %98.80 F1-skoru ile diğer modellere göre daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, deneysel çalışmalarda kullanılan diğer modellerin hepsi %90'ın üzerinde bir başarı oranı göstererek önerilen veri setinin etkililiğini desteklemektedir. Bu, CNN modellerinin Türk işaret dilini tanımayı başarılı bir şekilde tespit yapabildiğini göstermektedir.

CNN-Based Approaches for Automatic Recognition of Turkish Sign Language

Highlights:

- Turkish Sign Language Recognition
- CNN-based Classification

Keywords:

- Turkish Sign Language
- CNN
- ResNet
- Classification

ABSTRACT:

Sign language is a nonverbal communication tool used by deaf and dumb individuals to convey their feelings, thoughts and social identities to their environment. Sign language has a key role in communication between deaf and dumb individuals and the rest of the society. Many sign language recognition systems have been developed with the increase in human-computer interaction and the fact that sign language is not widely known among normal people. In this study, a new number-based data set for Turkish sign language is proposed for the first time in the literature. The most up-to-date deep learning approaches have been applied to the proposed data set in order to classify Turkish sign language autonomously and to enable computer-based communication of people who have difficulties in this regard. The most up-to-date and popular architectures such as CNN-based VGG, ResNet, MobileNet, DenseNet and EfficientNet were used in the study. In experimental studies, it has been observed that the ResNet152 model performs better than other models with 98.76% accuracy, 98.85% precision, 98.81% sensitivity and 98.80% F1-score. Additionally, the other models used in experimental studies all show a success rate above 90%, supporting the effectiveness of the proposed data set. This shows that CNN models can successfully detect Turkish sign language.

¹ Ishak PACAL ([Orcid ID: 0000-0001-6670-2169](https://orcid.org/0000-0001-6670-2169)), İğdır Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İğdır, Türkiye

² Melek ALAFTEKİN ([Orcid ID: 0000-0001-7440-1913](https://orcid.org/0000-0001-7440-1913)), İğdır Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, İğdır, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Melek ALAFTEKİN, e-mail: melekalftekin@hotmail.com

Bu çalışma Melek ALAFTEKİN'in Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

GİRİŞ

Dünya sağlık örgütünün 2021 yılı verilerine göre, dünya nüfusunun %5'inden fazlası (432 milyon yetişkin ve 34 milyon çocuk) işitme kaybı yaşamaktadır. 2050 yılına kadar işitme kaybı yaşayan insanların sayısının 700 milyonu bulacağı tahmin edilmektedir (WHO, 2021). İşaret dili, sağır ve dilsiz bireylerin duygularını, düşüncelerini ve sosyal kimliklerini çevrelerine aktarabilmek için kullandıkları sözsüz bir iletişim aracıdır. İşaret dili, sesli iletişimin aksine parmaklar, el, kol, vücut duruşu, jest ve mimik gibi vücudun farklı bölgelerinin kullanıldığı görsel tabanlı bir iletişim sağlar. İşaret dili, konuşma diline benzer şekilde kendine özgü bir kelime dağarcığı, anlamlı hareketleri ve gramer yapısı bulunmaktadır. Normal insanlar arasında işaret dili yaygın değildir ve işaret dilini yorumlayabilen çok az insan vardır. Bu durum, sağır ve dilsiz insanların iletişimde ciddi zorluklar yaşamasına sebep olmaktadır. Bu yüzden, işaret dilinin tercüme edilmesi iletişimde önemli bir rol oynamaktadır. Günümüzde bu iletişim engelini kaldırmak, sağır ve dilsiz insanların etkileşimlerini ve sosyal yaşam deneyimlerini arttırmak adına pek çok işaret dili tanıma sistemi geliştirilmiştir. Sağır ve dilsiz insan nüfusunun her geçen gün artması da işaret dili tanıma sistemlerinin önemini arttırmıştır.

İşaret dili tanıma sistemleri, sağır ve dilsiz bireyler ile toplumun geri kalanı arasında ortak bir iletişim tabanı oluşturmak amacıyla, işaretleri takip eden, tanımlayan ve bunları anlamlı ifadelere dönüştüren sistemlerdir. İşaret dili tanıma sistemleri iki yaklaşıma dayanmaktadır: Sensor ve görme tabanlı. Sensöre dayalı çalışmalarda, veri eldivenleri (Shukor ve ark., 2015), microsoft kinect (Ren ve ark., 2013), sıçrama hareket kontrolörü (Naglot ve Kulkarni, 2016), derinlik kamerası (Almeida ve ark., 2014) gibi yapılar kullanılarak tanıma işlemi gerçekleştirilir. Bu tarz sistemler kullanıcıya harici bir sistem kullanmayı zorunlu kıldığı için ve maliyetli olmasından dolayı çok tercih edilmemektedir. Görsel tanımaya dayalı tanıma sistemleri ise el hareketleri, jest ve mimik görüntüleri ile ilgilenir. Bu yüzden görme tabanlı sistemler bilgisayarla görme alanındaki trend konulardan biri haline getirmiştir. Son yıllarda, makine öğreniminin bir alt kümesi olan derin öğrenme, sağlam ve gerçek zamanlı bir işlem için görme tabanlı işaret dili tanımda popüler hale gelmiştir (Rastgoo ve ark., 2021). Derin öğrenme mimarisi, büyük veri kümelerini işleyebilmesi, yüksek genelleme kabiliyetine sahip olması popüler bir araştırma konusu haline getirmiştir (Lecun ve ark., 2015). Derin öğrenme, görüntü sınıflandırma, nesne algılama, görüntü elde etme, anlamsal bölütleme, ve insan pozu tahmini gibi bilgisayarla görme alanında iyi bir performans sergilemiştir (Guo ve ark., 2016). Bu da görme tabanlı olan işaret dili çalışmalarında büyük bir önem ve güvenilirlik kazanmasını sağlamıştır. Popüler bir derin öğrenme mimarisi olan Evrişimli Sinir Ağı (Convolutional Neural Network-CNN), büyük görsel veri kümeleri üzerinde işlem yaparak daha doğru bir sınıflandırma ve algılama yapması görüntü işleme alanında araştırmacılar için çok tercih edilen bir mimari haline getirmiştir (Yu ve ark., 2017). CNN'ler bilgisayarla görü olmak üzere konuşma işleme (Nam ve Lee, 2021), yüz tanıma (Sajjanhar ve ark., 2018), tıbbi görüntü analizi (Pacal ve ark., 2020; Alıcı-Karaca ve ark., 2022, Karaman ve ark., 2023), moleküler düzeyde analiz (Ozkok ve Celik, 2023) ve çeşitli hastalıkların patolojik incelenmesi (Karagoz ve ark., 2023) gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. CNN mimarisi, hiyerarşik bir yapıya sahiptir. Düşük özelliklerden yüksek özellikleri otomatik olarak çıkararak daha hızlı ve verimli bir sınıflandırma yapma yeteneğine sahiptir. CNN mimarilerinin, özellikle büyük veri kümeleri üzerinde etkin bir şekilde çalışılmasına ve birçok parametreye izin vermesi, video veya statik büyük veri kümelerinde görüntü içeriğini analiz etme, tanıma ve algılama işlemlerinde kullanımını arttırmıştır (Saqib ve ark., 2021, Pacal ve ark., 2021). İşaret dili tanıma sistemlerindeki temel amaç, ilgili el işaretinin doğru bir sınıflandırma ile gerçek zamanlı tanınmasını sağlamaktır. CNN mimarileri, tanıma ve sınıflandırma işlemlerini hızlı ve doğru bir şekilde yapabilme yeteneğinden dolayı işaret dili tanıma sistemleri ile ilgili yapılan birçok çalışmada

araştırmacılar tarafından tercih edilmektedir. Ayrıca, CNN'nin arka plan karmaşası sorununu da aza indirmesi sınıflandırma üzerindeki performansına olumlu diğer bir etkisidir.

Son yıllarda, bilgisayar teknolojilerindeki çalışmalara paralel olarak insan-bilgisayar etkileşiminin ve akıllı tanıma sistemleri gibi görsel tanımaya dayalı sistemlerin artmasıyla birlikte görsel tanıma popüler bir araştırma konusu haline getirmiştir (Al-Hammadi ve ark., 2020). Bu teknolojik ilerlemelerle birlikte, günümüzde, sağlık, eğitim, iletişim hizmeti, bilgi teknolojisi gibi birçok alanda insan-bilgisayar etkileşimi karşımıza çıkmaktadır. Sağır ve dilsiz bireylerin, herhangi bir tercümana ihtiyaç duymadan çevresi ile sağlıklı ve hızlı bir iletişim kurması ve günlük yaşama hızlı ayak uydurmalarını sağlamak için işaret dili tanıma sistemlerinin kullanımını önemli bir ölçüde arttırmıştır. Bilgisayar, telefon ve robotik araçlar gibi insan-bilgisayar etkileşimini arttıran sistemlerde görsel tanımanın popülerlik kazanması işaret dili tanıma sistemlerinin de görsel tanıma alanında popüler konular arasında yerini almasını sağlamıştır. İşaret dili tanıma sistemleri, daha sağlam ve gerçek zamanlı bir tanıma yapmak için daha fazla görsel hesaplama gücüne ihtiyaç duyar. Bu yüzden, CNN mimarilerinin görsel hesaplama gücünün fazla olması, ham verilerden doğru bilgileri elde etmesi ve sağlam bir sınıflandırma yapması, işaret dili tanıma sistemlerinde trend bir çalışma konusu haline getirmiştir. Bu çalışma ile birlikte Türk işaret diline ait rakamlardan oluşan bir veri seti üzerine güncel CNN mimarilerini uygulayarak tanıma sistemi üzerindeki etkileri incelemeye çalışılmıştır.

Özetle, bu makalenin başlıca katkıları şunlardır:

- Türk işaret dilindeki rakamlardan oluşan özgün bir veri seti oluşturularak literatüre kazandırılmıştır.
- Türk işaret dili tanıma için, statik el hareketlerini sınıflandırma görevini düşük hata oranlarıyla çözebilen ve benzer rakamlara ait el işaretleri arasındaki küçük farkı ayırt edebilen güncel CNN mimarileri ile yeni bir uçtan uca eğitilebilmesini sunmaktadır. (2 ile 7 ve 3 ile 8 benzerdir.)
- Basit veri artırma tekniklerinin ağırlıklı olarak doğru verimli bir artırması incelenmiştir.
- Görüntü içindeki ilgili el işaretinin sınıflandırılması için veri seti üzerinde herhangi bir ön işlem yapılmadan uçtan uca bir eğitim gerçekleştirilmiştir.

Literatür Taraması

İşaret dilinin insanlar arasında yaygın olarak bilinmemesi ve bir tercümana ihtiyaç duyulması dünyada var olan diğer diller için de önemli bir sorundur. Literatüre baktığımızda, son yıllarda, bu sorunu azaltmayı amaçlayan pek çok işaret dili tanıma sistemleri ile ilgili çalışmalar mevcuttur. Özellikle son yıllarda, ilerleyen teknolojiyle birlikte insan-bilgisayar etkileşiminin iyice artması işaret dili tanıma sistemlerini literatür de aktif araştırma konusu haline getirmiştir. Arka plan karmaşıklığı, karmaşık el ve mimik hareketleri, gürültü ve genelleme kabiliyeti gibi işaret tanıma sistemlerinin karşı karşıya olduğu pek çok zorluk vardır. Bu nedenle birçok araştırmacı bu sorunların üstesinden gelmek için farklı çözümler önermiştir. İşaret dili, el hareketlerini ve yüz ifadelerini içeren görsel bir iletişim olması bilgisayarlı görme algoritmaları için uygun bir test-yazılım yatağı haline getirmiştir (Wu ve Huang, 1999).

İşaret dili tanıma, bilgisayarla görme alanında önemli ve zorlu bir çalışma alanı olarak kabul edilir. Bunun başlıca nedenleri arasında işaret dillerinin karmaşık görsel ve jest-mimik yapısının olması ve otomatik tanıma ile ilgili az sayıda veri tabanı ve çalışmanın olmasıdır (Rezende ve ark., 2021). Son yıllarda, CNN mimarileri, görsel verilerdeki özellikleri öğrenme kapasitesi, görüntü analitik görevlerinde yazarlar tarafından oldukça etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle işaret dili tanıma gibi görsel tabanlı tanıma görevlerinde CNN tabanlı yaklaşımlar etkin çalışmalar için yeni fırsatlar sunmaktadır. Hint işaret dilinde, Rao ve ark. (2018) özçekim işaret dili hareketlerini sınıflandırmak için

bir CNN mimarisi önerdiler. Yaptıkları çalışmada mobil kullanım için herhangi bir uygulamaya gerek duymadan özçekim modunda işaretleri yakalayan bir tanıma sistemi geliştirdiler. 5 farklı gönüllü tarafından çeşitli arka planlar kullanarak 5 farklı görüş açısında 200 işaretten oluşan bir veri seti kullandılar. 2 sn süren videolardan oluşan özgün veri setini, 4 evrişim katmanı ve her evrişim katmanında farklı boyutlarda filtreler sahip bir CNN mimarisi ile sınıflandırdılar. Önerdikleri CNN mimarisi ile daha az eğitim süresi ve doğrulama kaybı elde ederek sınıflandırmada %92.88 tanıma oranına ulaştılar. Benzer bir şekilde, Khari ve ark. (2019), CNN mimarilerinden biri olan ince ayarlı bir VGG19 (Visual Geometry Group-19) modeli kullanarak bir RGB ve RGB-D statik hareket tanıma yöntemi önerdiler. Amerikan işaret dili veri setinde, yazarlar önerdikleri model ile %94.8 tanıma oranı elde ettiler. Myagila ve Kivalo (2021), Tanzanya'da konuşma engelliler için derin öğrenme tekniklerinden Destek Vektör Makinesi (Support Vector Machine- SVM) ve CNN'in performanslarını değerlendiren bir çalışma sundular. Veri setindeki görüntülerin boyutlarını küçültmek ve işlem hızını azaltmak için temel bileşen analizi kullandılar. Birleştirilmiş 5x2cv F testini kullanarak her iki modelin performanslarındaki farkı karşılaştırmaya çalıştılar. Yaptıkları çalışmanın neticesinde, CNN'nin doğruluk, hatırlama ve kesinlik gibi tüm parametrelerde %96 oranında bir başarıyı gösterdiği ve SVM modelinden %1 daha yüksek doğruluk ve hassasiyet değerine sahip olduğunu buldular. Suri ve Gupta (2019), yapılan el hareketlerini kaydeden özel tasarlanmış bir IMU (Inertial Measurement Unit) cihazı ve CNN mimarisi kullandıkları bir tanıma sistemi önerdiler. IMU cihazı, Hint işaret dilinde tanımlı işaret dili cümlelerini genel cümle ya da soru cümlesi olarak farklı iki grupta kaydeder. Her iki cümle tipini sınıflandırmak için tek boyutlu iki CNN mimarisi kullandılar. Önerdikleri sistemin etkinliğini ölçmek için iki farklı cümle tipinden oluşan veri setini birleştirerek geleneksel bir CNN mimarisinde eğiterek bir karşılaştırma yaptılar. Yaptıkları çalışmalar sonucunda, önerilen CNN mimarisinde genel cümleler için %94.20 ve soru cümleleri için %95.00 iken geleneksel CNN mimarisi ile yapılan çalışmada ise %93.50'lik bir sınıflandırma doğruluğu elde ettiler. CNN tabanlı başka bir çalışmada, Ma ve ark. (2022) tarafından önerildi. Önerilen yöntemde, CNN mimarisinin performansını iyileştirmek için bir TSM (Two-Stream Mixed) içeren bir yapı kullandılar. Amerikan işaret dili (AİL) veri seti üzerinde yapılan çalışma ön işleme, TSM bloğu ve CNN olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır. Sistemde, art arda yapılan iki dinamik el hareketi görüntüsü, ön işlem kısmında yeniden boyutlandırma, dönüştürme ve büyütme işlemlerinden geçer. Ön işlem aşamasından gelen girdiler, TSM bloğunda toplama ve birleştirme işlemleri yapılarak füzyon özellik haritalarını çıkartılır. Çıkartılan özellikler sınıflandırma işlemi için CNN mimarisine aktarılır. Sistemin performansını değerlendirmek için TSM-LeNet, TSM-AlexNet, TSM-ResNet18 ve TSM-ResNet50 olmak üzere 4 tane CNN tabanlı model ve geleneksel CNN mimarisi ile karşılaştırdılar. Deneysel sonuçlar, TSM bloğuna sahip CNN modellerinin sınıflandırma için daha iyi bir performans gösterdiğini ve bu modeller içinde ise TSM-ResNet50 modelinin MNIST ve AİL veri kümeleri üzerinde %97,57 ile en iyi doğruluğa sahip olduğunu gözlemlediler.

İşaret dili tanıma sistemlerinde yaşanan en büyük problemlerden biri arka plan karmaşıklığıdır. Araştırmacılar, bu sorunu çözmek için tek düze bir arka plana sahip veri kümesi ya da el işaretinin arka plandan ayrılmasını sağlayan bir dizi ön işlem teknikleri önerdiler. Böyle bir sorunla baş etmek için Gangrade ve Bharti (2020), Hint işaret dili için microsoft kinect sensörüne ve CNN tabanlı bir sistem önerdiler. Ten rengi, arka plan ve el ve yüzün örtüşmesinde oluşabilecek sorunları çözmek için sensör yardımıyla elin derinlik görüntüsünü aldılar. Bu işlem ile birlikte arka plan karmaşıklığı, ışık ve aydınlatma gibi ortam şartlarında ilgili el görüntüsünü ayırmayı başardılar. Algılanan el işaretinin gerçek zamanlı algılamasını sağlamak için CNN'i kullanarak %99.3 doğrulama elde ettiler. Alawwad ve ark. (2021), Arap işaret dilinde Faster R-CNN tabanlı bir tanıma sistemi önerdiler. Veri seti, standart telefon kameraları yardımıyla çekilmiş, farklı arka planlara sahip el hareketlerini içeren 15.360 görüntüden

oluşmaktadır. Görüntünün özelliklerini çıkarmak ve haritalamak ve görüntü içindeki ilgili elin konumunu öğrenmek için Faster R-CNN'i yeniden tasarladılar. Önerdikleri çalışmada farklı arka planlar kullanarak %93'lük bir doğrulama elde ettiler. Tasmere ve Ahmed (2020), Bengal işaret dilinde harfleri tanımayaya yönelik bir işaret dili tanıma sistemi önerdiler. İlgili el işaretlerini HSV (Hue Saturation Value) ve YCbCr renk uzaylarını kullanarak arka plandan ayırdılar. 37 harften oluşan Bengal işaret dili için oluşturulan veri seti, 6 farklı gönüllüden alınan toplam 3.219 görüntü içermektedir. Elde ettikleri yeni veri setini 37 sınıfa ayırarak derin bir CNN mimarisi ile eğittiler. Yapılan deneysel çalışmaların sonucunda %99.22'lik doğruluk oranı elde ettiler. Özcan ve Baştürk (2021), hastanelerin acil servisinde çok sık kullanılan kelimelerin sınıflandırılması için transfer öğrenme ile GoogLeNet tabanlı bir CNN modeli önerdiler. 13.186 görüntü içeren ERUSLR adındaki veri seti ile eğittiler. Modelin performansını arttırmak için grid arama (Grid Search-GS), rastgele arama (Random Search-RS) ve genetik algoritma (Genetic Algorithm-GA) gibi yöntemler ile modelin eğitim parametreleri optimize ettiler. GA destekli modelinin daha iyi sınıflandırma yaptığını ve GoogLeNet tabanlı CNN modellerinin daha düşük bir başarımla elde ettiklerini gördüler. İşaret dili tanıma sistemlerinde araştırmacıların karşılaştıkları bir diğer zorluklardan biri de art arda yapılan dinamik el hareketlerinin doğru bir şekilde sınıflandırılmamasıdır. Böyle bir sorunu çözmek için Luqman ve El-Sayed (2022), işaret dilindeki dinamik el hareketlerini tanımak için CNN mimarisini LSTM ile birleştirdikleri bir çalışma önerdiler. Önerdikleri sistemi, verimlilik, ölçeklenebilirlik ve hesaplama süresi olmak üzere üç kademede incelediler. Dinamik el hareketlerinin uzamsal bilgileri için CNN ve zamansal bilgileri içinde LSTM'den yararlanarak sistemi beslediler. Video karelerindeki ardışık yapılan hareketler arasındaki mutlak zaman farkı hesaplanarak tanıma sistemi beslediler. Önerilen modelleri değerlendirmek için iki işaret diline ait üç veri seti kullandılar. Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde, CNN-LSTM modellerinin dinamik hareketlerde daha iyi uzamsal-zamansal özellikler yakaladığını ve %99'un üzerinde tanıma doğruluğu ile diğer tekniklerden daha iyi performans gösterdiğini gözlemlediler. Suliman ve ark. (2021), özellik çıkarmak için CNN mimarisi olan AlexNet'i ve sınıflandırma için uzun kısa süreli hafıza (Long short-term memory-LSTM) sistemini önerdiler. LSTM ile videoların sıralı yapısı hafızada tutmak için kullandılar. Model, işaretleri yapanlara bağlı olarak %95.9'luk elde ederken farklı kişiler için %43.62'lik bir genel tanıma doğruluğu elde ettiler.

Literatürde, yazarlar CNN tabanlı çalışmalarda çoğunlukla doğru bir sınıflandırma ve gerçek zamanlı bir algılama üzerinde durmuşlardır. Bhushan ve ark. (2022), Naive Bayes, k-en yakın komşu (K-nearest neighbor-KNN), rastgele orman, XGBoost, destek vektör sınıflandırıcı (Support Vector Classifier-SVC), lojistik regresyon, stokastik gradyan içeren sınıflandırıcı (Stochastic Gradient Descent Classifier-SGDC) ve CNN gibi makine öğreniminde popüler olan sınıflandırma tekniklerini işaret dili MNIST veri kümesi üzerinde uygulayarak karşılaştırmalı bir çalışma sundular. En iyi sınıflandırma sonuçlarını CNN algoritmasında %91.41 ve rastgele orman algoritmasında ise %84.43 doğruluk oranı elde ettiler. Yazarlar, CNN'nin diğer algoritmalara kıyasla sınıflandırmada daha iyi bir performansa sahip olduğunu kanıtlamış oldular. Benzer bir sınıflandırma çalışması Marais ve ark. (2022) tarafından önerildi. Sınıflandırmada daha doğru sonuçlar elde etmek için LSA64 veri setindeki el işaretlerine farklı özellik çıkarma ve segmentasyon algoritmaları uyguladılar. Farklı ön işlemlerden geçirilen görüntüler, ResNet ve Pruned VGG ağı gibi popüler CNN mimarileri ile eğittiler. Görüntülerdeki ilgili el işaretinin koordinatını belirlemek için MediaPipe Holistic ve sınıflandırmak için 1D-CNN kullandılar. Yaptıkları çalışma sonucunda ham verileri içeren veri setinde Pruned VGG ile yapılan sınıflandırmada %95.50 doğruluk ve MediaPipe Holistic ile koordinatları belirlenen işlenmiş veri setinde 1D-CNN kullanılarak yapılan sınıflandırma da %94.91'lik bir doğruluk elde ettiler. İşaret dili algılama sistemlerindeki diğer ana zorluklardan biri gerçek zamanlı tanıma olmasıdır. Aiouez ve ark. (2022), Arap işaret dili alfabeti

için gerçek zamanlı bir algıma sistemi önerdiler. Sistemin gerçek zamanlı olması ve daha doğru bir sınıflandırma elde etmek için derin öğrenme tabanlı nesne algılama modeli olan YOLOv5'i önerdiler. Farklı arka plan, farklı boyutlarda eller, aydınlatma koşulları ve aksesuarlı/aksesuarsız yaklaşık 15.000 görüntü içeren 28 Arapça işaretten oluşan veri setini, YOLOv5'in farklı versiyonları ile eğittiler. Sistem performansını değerlendirmek için Faster R-CNN ile karşılaştırdılar. Yapılan çalışmalar neticesinde en iyi sonucu uyarlanmış YOLOv5'te elde ettiler. Gerçek zamanlı diğer bir çalışma ise Wang ve ark. (2022) tarafından önerildi. İnsanların işaret dilini duymasına yardımcı olmak için işaret dilini seslere çevirmek üzere DeepSLR adlı yeni bir gerçek zamanlı bir sistem önerdiler. Kullanıcılardan işaretleri almak için bir IMU sensörü ve çok kanallı sEMG sensörleri ile gömülü iki kol bandı kullandılar. Sensörler yardımıyla yakalanan hareketler herhangi bir segmentasyon işlemi yapılmadan dikkat tabanlı bir kodlayıcı-kod çözücü ve çok kanallı bir CNN modeli önerdiler. Akıllı telefonlarda uygulanabilen DeepSLR, 4 kelimelik bir cümleyi 1.1 saniyede algılama yeteneği ve %10.8'lik ortalama kelime hatası ile gerçek zamanlı bir tanıma sundu. Nuñez-Prieto ve ark. (2019), standart bir akıllı telefon kamerası kullanılarak alınan el işareti verileri için FPGA (Field Programmable Gate Array) tabanlı bir CNN mimarisi ile gerçek zamanlı bir tanıma sistemi önerdiler. CNN tabanlı ZynqNet (Gschwend, 2020) mimarisinin kullanıldığı çalışmada veri artırma ve öğrenme aktarımı teknikleri kullanılarak sınıflandırma doğruluğunu %80,1'e kadar arttırdılar. Sistemin bellek gereksinimlerini ve veri işleme modellerini geliştirmek için çeşitli donanımsal teknikler uygulayarak CNN mimarisinin 23,5 FPS performans sunan bir FPGA'ya gömülebileceğini gösterdiler. Yaptıkları deneysel çalışmalar neticesinde yazarlar, 3D CNN mimarilerinin, donanım hızlandırıcı sistemlerde video kareleri içindeki uzamsal ve zamansal özelliklerin çıkarılması için kullanılabilmesi ve dinamik el hareketi tanıma sistemlerinde kullanım olasılığının önünü açtılar.

Özetlenen çalışmalarda görüldüğü üzere araştırmacılar tarafından çeşitli işaret dilleri için farklı algılama yöntemleri önerilmiştir. Bunlarla birlikte, Türk işaret dili için literatüre baktığımızda sınırlı sayıda çalışmanın mevcut olduğu görülmektedir. Bu çalışma, Türk işaret dilindeki rakamları sınıflandırmak için derin öğrenme yöntemlerinin kullanımına odaklanmaktadır. Veri setindeki işaretlerin sınıflandırılması için en popüler ve güncel derin öğrenme yöntemlerinin performansı incelenmiştir. Derin öğrenme modellerinin performansını artırmak için transfer öğrenme ve veri artırma teknikleri de kullanılmıştır. Bu çalışmanın amacı, CNN tabanlı mimarilerin kullanımıyla işaret dili hareketlerinin doğru bir şekilde sınıflandırılması ve otomatik olarak tanınmasıdır. Bu sayede sağır-dilsiz insanların normal hayata adapte olmaları ve tercümana olan ihtiyaçlarının azaltılması hedeflenmektedir.

MATERYAL VE METOT

Derin Öğrenme

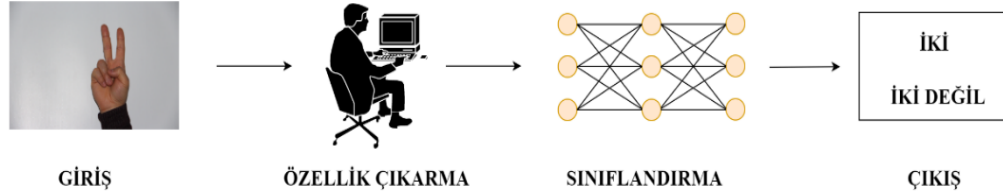
Bilgisayar teknolojilerinin hızlı gelişimiyle birlikte bilginin hızla yayılması ve beraberinde veri çokluğunu ortaya çıkarttı. Veri çokluğu içerisinde istenilen bilgilerin hızlı ve doğru bir şekilde elde edilmesi amaçlanmaktadır. Bunun için veri madenciliği, veri analitik, makine öğrenmesi gibi öğrenme teknikleri önerilmiştir. Son yıllarda, yapay zeka ve makine öğreniminin alt alanlarından biri olan derin öğrenme, birçok bilimsel disiplinde kullanılarak en yaygın hesaplama yaklaşımı haline geldi ve bu alanda çok iyi sonuçlar elde etti (Alzubaidi ve ark., 2021). Geleneksel makine öğrenimi teknikleri, ham veriler üzerinden özellik çıkarmak ile sınırlıdır (Halbouni ve ark., 2022). Derin öğrenme ise yapılandırılmamış veya etiketlenmemiş ham verilerden aşamalı olarak özellik çıkararak bu verilerden doğru bir sınıflandırma gerçekleştiren makine öğreniminden geliştirilmiş bir yaklaşımdır.

Araştırmacıların derin öğrenmeye olan ilgilerinin artmasıyla birlikte anlamsal ayrıştırma (Bordes ve ark., 2012), görüntü tanıma (He ve ark., 2016), oyun oynama (Justesen ve ark., 2020), tıbbi görüntü

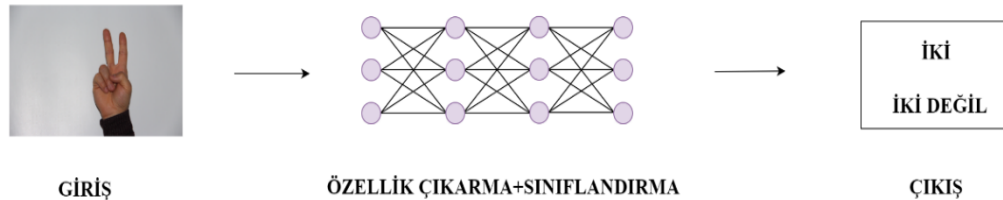
analizi (Pacal ve ark., 2022) ve siber güvenlik (Burukanlı ve ark., 2019) gibi çeşitli alanlarda yapay zeka yaygın olarak kullanılmaktadır. Derin öğrenme, bir görüntüde pikseller ile işlem yaparak piksel başına düşen yoğunluk vektör değeri, bir dizi kenar veya belirli bir şekle sahip bölgeleri daha soyut bir hale getirerek öğrenme görevini daha basit bir hale getirir (Ongsulee, 2017; Pacal, 2022). Günlük hayatımızda, çok sık kullandığımız Siri ve Google Asistan gibi sanal asistanlar, Netflix ve Youtube gibi kişiselleştirilmiş platformlarda da derin öğrenme algoritmaları kullanılmıştır. Derin öğrenmenin devasa büyüklükteki veri kümelerinin eğitimini kolaylaştırması ve teknolojinin ilerlemesiyle birlikte geliştirilen grafik işleme birimlerinin (GPU'lar) muazzam bir paralel hesaplama gücü sağlamasıyla derin öğrenmede işlem hızı artmıştır. Bu da gerçek dünya uygulamalarında derin öğrenmeyi popüler hale getirmiştir.

Derin öğrenme, makine öğrenimi metodolojilerinden yararlanır fakat öğrenme mekanizmaları birbirinden farklıdır. Derin öğrenme ve geleneksel makine öğrenimi arasındaki temel fark Şekil 1 'de gösterilmiştir. Geleneksel makine öğrenmesi sürecinde, işlenmiş veri seti denetimli öğrenme algoritmaları kullanılarak eğitim yapılır. Makine öğreniminde özellik çıkarma adımı dışardan manuel olarak yapılır. Derin öğrenme ise etiketlenmemiş ham verileri kullanarak eğitim sırasında çok katmanlı sinir ağı tarafından özellik çıkarma adımı otomatik olarak gerçekleştirilir (Karaman ve ark, 2023). Eğitim sırasında ham verileri kullanılabilmesi derin öğrenme algoritmalarının benzersiz özelliklerinden biridir (Chaudhuri ve ark., 2011). Çok katmanlı sinir ağlarında hiyerarşik yapılar kullanarak gerekli bilgiler doğrudan ham veriler üzerinden sağlaması daha doğru bir sonuca götürür.

GELENEKSEL MAKİNE ÖĞRENİMİ



DERİN ÖĞRENME



Şekil 1. Geleneksel Makine Öğrenimi ve Derin Öğrenme

Derin öğrenme, çok sayıda özellik katmanına sahip olan etkili bir makine öğrenimi algoritması olarak geliştirilmiştir. Derin öğrenme algoritmaları, büyük veriler üzerinde kendi kendine öğrenebilmesi ve ön-eğitim (pre-training) olmaksızın özellik çıkarma işlemini zahmetsiz bir şekilde yapması hızlı bir eğitim sürecine ve daha doğru sonuçlara ulaşılmasını sağlamıştır (Fan ve ark., 2019). Bu sebeple, derin öğrenme algoritmaları bilgisayarla görme alanında araştırmacıların kapsamlı çalışılmasına izin vererek nesne algılama alanında ilham verici bir performans sergilemiştir. Derin öğrenme, yapay sinir ağı,

evrişimli sinir ağı, tekrarlayan sinir ağı gibi yaklaşımları mevcuttur. Bu yaklaşımlardan, insan beyin sinir yapısı ilham alınarak oluşturulan evrişimli sinir ağları, nesnelere sınıflandırılmasında daha az hata payı bırakarak mevcut nesne algılama algoritmalarından daha iyi olduğunu kanıtladığı bir nesne algılama yarışması olan ImageNet sınıflandırmasında dikkatleri üzerine çekmeyi başararak literatürdeki yerini almıştır (Krizhevsky ve ark., 2012). Derin öğrenme modelleri çeşitli optimizasyon teknikleri ile hem model bazında hem de hiper-parametre düzeyinde optimize edilerek başarımları daha da arttırılabilir (Karaman ve ark., 2022).

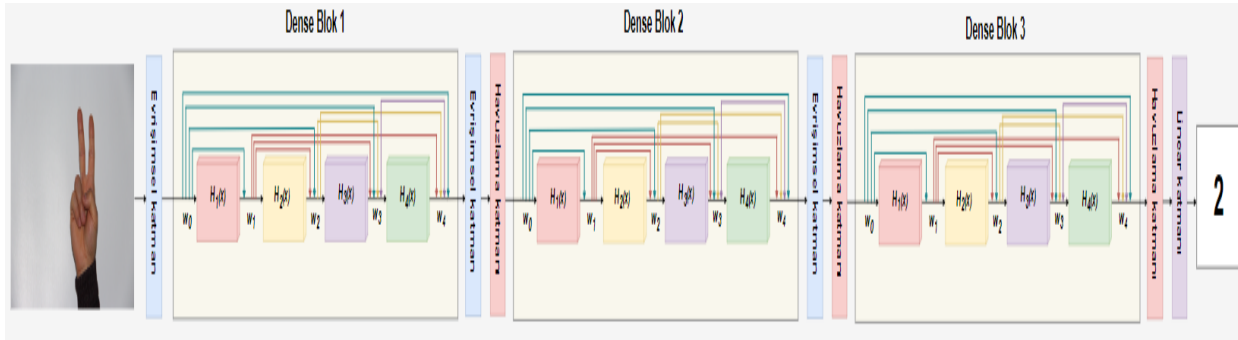
CNN Yaklaşımları

CNN mimarisi, derin öğrenme alanındaki en önemli temsili ağlardan biridir (Li ve ark., 2021). CNN mimarisi, çok sayıda girdi üzerinde evrişim operatörleri kullanarak otomatik olarak işlem yapabilme yeteneğine sahiptir. Bu nedenle, son yıllarda, bilgisayarla görme alanında dikkate değer bir performans göstermiştir (Yu ve ark., 2017). CNN mimarisi katmanlı bir yapıya ve hiyerarşik öğrenme özelliğine sahiptir. Her katmandaki özellik, kendinden bir önceki katmanın yerel alanının evrişimli çekirdek ağırlıklarının aktarılmasıyla oluşturulur. Bu, CNN'de eğitim parametrelerini büyük ölçüde azaltır. Böylelikle, CNN, görüntüden özellikleri eksiksiz bir şekilde çıkararak nesne algılama için uçtan uca bir öğrenme modeli sunar (Zhiqiang ve Jun, 2017).

Evrişimli sinir ağlarının genel mimarisi, bir giriş katmanı, bir çıkış katmanı ve sırasıyla bir evrişim katmanı, aktivasyon katmanı, havuzlama katmanı, tam bağlı katman (Fully Connected-FC) ve kayıp katmanı içeren gizli katmandan oluşur. Evrişimli sinir ağının ilk katmanı olan evrişim katmanıdır. Bu katman, giriş verileri üzerine evrişim adı verilen doğrusal bir işlem uygulayarak bir sonraki katmanın girdisini belirler. Bu katmanda bulunan çeşitli filtrelerin yardımıyla giriş verilerinin en temel özellikleri çıkartılır. Aktivasyon katmanı, sinir ağının aktifleşmesini sağlayarak ağın çıktısını belirleyen katmandır. Bu katman, matematiksel bir dönüşüm uygulayarak girdinin bir sonraki katman için etkinleştirilip etkinleştirilmeyeceğine karar verir. Bu yüzden aktivasyon katmanı sinir ağları için önemli bir parametredir. Havuzlama katmanı, genellikle iki ardışık evrişim katmanı arasına dahil edilir. Maksimum, minimum ve ortalama gibi çeşitli havuzlama teknikleri kullanılarak girdinin derinliği değiştirilmeden alt örnekleme yapar ve girdinin uzamsal boyutunu küçültür. Tam bağlı katman (Fully Connected Layer-FC), kendinden önceki tüm katmanlar ile bağlantılıdır. Evrişim katmanları tarafından çıkarılan ve havuz katmanları tarafından alt örnekleme özellik haritaları bu katmanına girdi olarak bağlanır. Bu katmanın çıktısı ile nihai sonuç elde edilir. Ayrıca, Tam bağlantılı katmandan sonra gelen ve eğitim sırasında, tahmin ve gerçek değeri karşılaştırarak, aralarındaki farkı olabildiğince en aza indiren bir kayıp katmanı vardır.

1989 yılından günümüze kadar CNN mimarisinin çeşitli modelleri piyasaya sürüldü. 2012 yılında Krizhevsky ve ark. tarafından AlexNet (Krizhevsky ve ark., 2012) mimarisi nesne algılamada kullanarak araştırmacıların ilgisini büyük ölçüde CNN üzerine çekmiştir. Bu atılım ile yeni birçok CNN tabanlı mimarilerin hızla geliştirilmesiyle literatürdeki yerini sağlamlaştırmıştır. Bu çalışmada, son 10 yılda oldukça yaygın olan bazı CNN modellerini açıklayacağız. Buradaki temel amacımız, Türk işaret dili veri setini kullanarak verdiğimiz CNN modellerin performanslarını karşılaştırmaktır. VGG mimarisi, Simonyan ve Zisserman tarafından geliştirilen popüler bir CNN mimarisidir. Genel olarak VGG, görüntülerin sınıflandırmasında ve yerelleştirmede önemli sonuçlar elde etmiştir. 2014-ILSVRC yarışmasında artan derinliği, homojen topolojisi ve sadeliği ile ön plana çıkmıştır. Çok fazla parametreye sahip VGG-16 ve VGG-19 versiyonları sırasıyla 16 ve 19 katmandan oluşmaktadır (Simonyan and Zisserman, 2014). Bu çalışmada kullanılan bir diğer popüler CNN mimarisi ResNet (He ve ark., 2016), 152 katmana sahip ve diğer modellere göre son derece derin bir yapıdır. CNN'lerde artık öğrenme

kavramını tanıtarak çok derin ağların eğitilebilmesini sağlayarak etkin bir öğrenme sağladı. Katman sayısına bağlı olarak ResNet-34, ResNet-50 ve ResNet-152 gibi türleri geliştirilmiştir. Bir diğer ağ mimarisi, mobil uygulamaları için tasarlanmış MobileNet'tir (Howard ve ark., 2017). MobileNet, derinliği ayrılabilir evrişimden faydalanarak parametre sayısı, işlem hacmi ve model karmaşıklığı değiştirilebilir bir mimariye sahiptir. Aerodinamik yapıya sahip olması, donanımsal olarak küçük yapı mobil ve gömülü cihazlarda kullanılmasını kolaylaştırır. MobileNet, çok daha küçük yapılarda hafif derin sinir ağ olması ve az parametre sahip olması diğer birçok popüler CNN mimarilerine göre yüksek bir performansa ulaşmıştır. Bu çalışmada kullanılan bir diğer ağ DenseNet'tir (Huang ve ark., 2017). Şekil 2'de gösterilen DenseNet mimarisi, ResNet mimarisinden yararlanılan ağ yapısında, bir katmanda üretilen bilgi bir sonraki katmana ekleyerek bir sonraki katmanın girdisini oluşturmaktadır. Bu sayede, DenseNet sinir ağının tüm katmanları ileri besleme yapılarak hem ağ parametre sayısı azaltılmış hem de ağ içinde özellik yayılması ile bilginin yeniden kullanılması sağlanmıştır. DenseNet'in diğer bir avantajı ise kaybolan gradyan sorununu hafifleterek daha doğru ve daha verimli olmasıdır. EfficientNet mimarisi, 2019 yılında, Google Research Brain ekibi tarafından daha verimli ve etkin bir sinir ağı tasarımı oluşturulabilmek için önerilmiştir (Tan ve Le, 2019). EfficientNet, bir bileşik katsayı uygulanarak derinlik, genişlik ve çözünürlük boyutlarını eşit şekilde ölçeklenebilen evrişimli sinir ağı mimarisi ve ölçeklendirme tekniğidir. Yazarlar, ağ genişliğini, derinliğini ve çözünürlüğünü rastgele ölçeklendirmek yerine bir dizi önceden ayarlanmış ölçeklendirme parametreleri ile ölçeklenmesi gerektiğini savunmuşlardır. EfficientNet mimarisi, hesaplama gücünü verimli bir şekilde kullanarak yüksek doğruluk elde etmeyi amaçlayan ve ölçeklenebilir bir CNN mimarisi olarak tanımlanabilir. Bir sinir ağının ölçeklenebilmesi, ağın büyüklüğü arttıkça parametre sayısının artması ve küçüldükçe parametre sayısının azalması anlamına gelir. Ayrıca, EfficientNet mimarisi, ImageNet veri seti üzerinde eğitilerek diğer öğrenme modelleri ile karşılaştırıldığında, daha az sayıda parametre ile en yüksek doğruluğa ulaşabilmesiyle öne çıkmaktadır.

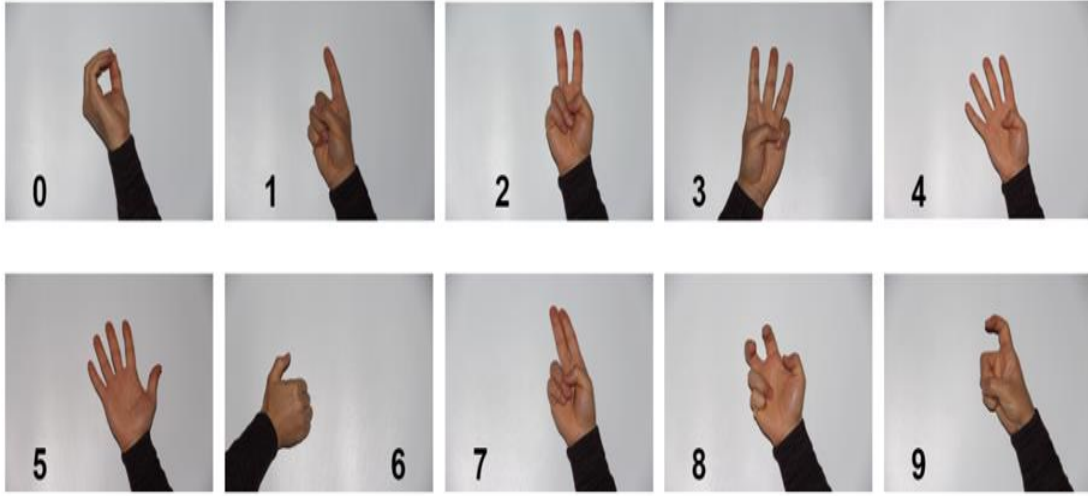


Şekil 2. DenseNet Mimarisi

Türk İşaret Dili için Özgün Veri seti

CNN mimarilerinin performanslarını değerlendirmek için Türk işaret diline özgü 0'dan 9'a kadar olan rakamları temsil eden el hareketlerini içeren görüntülerinden oluşan bir veri seti kullanılmıştır. İşaret dili tanıma sistemlerinde kullanılan işaret dili veri setleri kendine özgü hareketler içeren görüntülerden oluşmaktadır. Türk işaret dili veri seti oluşturulurken bir uzmana danışılarak özgün bir veri seti oluşturulmuştur. Şekil 3'te Türk işaret dilindeki tüm rakam hareketlerinin RGB görüntüleri gösterilmektedir. Ayrıca, oluşturduğumuz veri seti literatürde Türk işaret dilindeki rakamları içermesinden dolayı da özgünlüğünü korumaktadır. Veri setindeki tüm görüntüler, CANON 700d fotoğraf makinesi ile 6 farklı gönüllüden çekilmiştir. Her bir rakam için tüm opsiyonlar düşünülerek el pozisyon ve açısında sürekli değişiklikler yapıldı. Böylece, deneysel veri setinin daha çeşitli olması planlandı. Toplam 1.500 görüntü içeren veri seti elde ettik. Giriş görüntülerinin daha kaliteli olması ve

eğitim sırasında arka plan karmaşıklığı önlemek için tek düze bir renkten (beyaz) oluşan bir arka plan tercih edilmiştir.

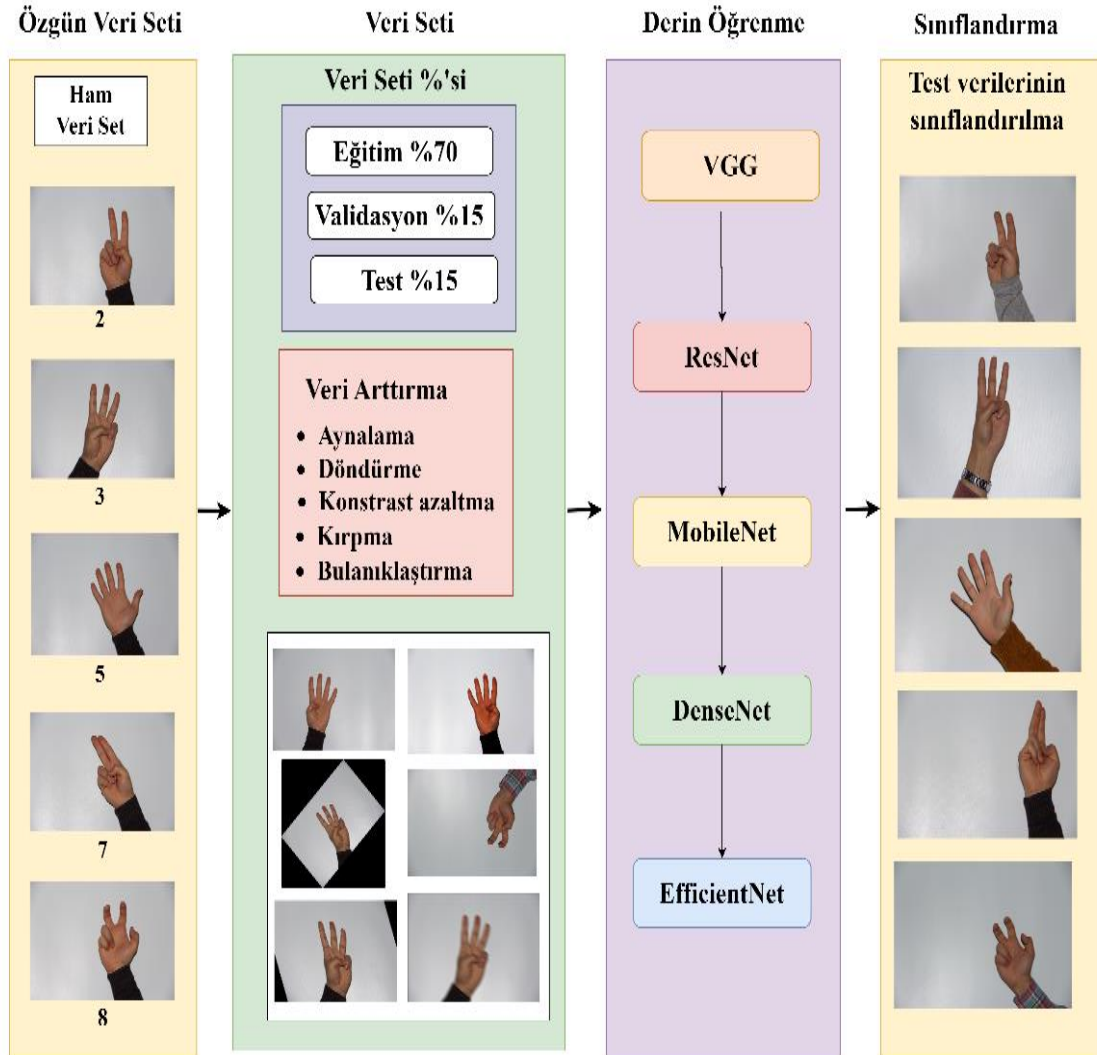


Şekil 3. Türk İşaret Dilinde Rakamlar

Önerilen Yöntem

Deneyisel sonuçları daha objektif bir şekilde değerlendirmek için her bir CNN oluşturduğumuz Türk işaret dili veri seti ile eğitilmiştir. Hem popüler hem de güncel CNN mimarileri olan VGG, ResNet, MobileNet, DenseNet ve EfficientNet mimarileri kullanarak daha geniş bir çalışma yürütülmüştür. Çalışmada, aynı çözünürlüğe sahip 5184x3456 orijinal boyutlarında görüntüler kullanılmıştır. Türk işaret dili veri seti üzerinde derin öğrenme mimarilerin performansı karşılaştırılırken izlenen yol Şekil 4'te gösterilmektedir. Bu mimarilerde daha kararlı bir çalışma sunmak için tüm mimarilerde SGD (Stochastic Gradient Descent) optimizasyon algoritması, 0.001 öğrenme oranı (adımı) ve 0.9 momentum olarak kullanılmaktadır. Derin öğrenme mimarileri son derece veriye aç sinir ağlarıdır (Li ve ark., 2018). Derin öğrenmeden iyi bir performans modeli oluşturmak ve aşırı öğrenme problemini önlemek için veri setinin büyüklüğü ve çeşitliliği önemli bir faktördür. Bu sorunu düzgün bir şekilde ele almak için önerilen iki yaygın yöntem vardır: Transfer öğrenme ve veri artırma teknikleri. Transfer öğrenme, önceden eğitilmiş bir sinir ağından kazanılan bilginin yeni bir görevde kullanılmasını sağlayan bir makine öğrenme tekniğidir (Pan ve Yang, 2010). Geleneksel makine öğreniminde eğitim ve test verilerinin, girdi özellik uzayı ve veri dağıtım özelliklerinin eşleştirilmesi zor ve maliyetli olabilir (Weiss ve ark., 2016). Bu nedenle, Transfer öğrenme, kazanılan bilgilerle yüksek performanslı bir öğrenme ihtiyacını karşılar. Transfer öğrenme, genellikle küçük ve sınırlı veri setlerinde kullanılarak iyi bir öğrenme için gerekli olan veri ihtiyacını karşılar. Türk işaret dili rakamlarından oluşan veri setinin sınırlı olması ve modellerin daha etkin bir öğrenme süreci için bu yöntemle yer verilmiştir. Bu çalışmada, her bir modelin ImageNet ağırlıklarını kullanarak transfer öğrenme gerçekleştirilmiştir. Diğer bir yöntem veri artırma tekniğidir. Veri artırma, eğitim veri setlerinin boyutunu ve kalitesini değiştiren bir dizi teknik içerir. Eğitim sırasında veri çeşitliliği arttırmak için kontrast ayarı, döndürme, aynalama, parlaklık gibi veri büyütme teknikleri de kullanıldı. Türk işaret dili veri seti tek başına eğitim için sınırlı ve küçük olduğu için modellerin test verileri üzerinde genelleme kabiliyetini arttırmak için farklı veri artırma teknikleri kullanılmıştır. Bu iki yöntemle hem veri boyutu hem de veri çeşitliliği artırılmıştır. Modellerin eğitilmesi ve test edilmesi için 1.500 görüntüden oluşan veri seti belirli oranlarda ayrılmıştır. Önerdiğimiz veri setinde her bir sınıfa ait görüntülerin %70'i eğitim, %15'i doğrulama ve %15'i ise

modelin genelleme kabiliyetini ölçmek için test verisi olarak ayrılmıştır. Bir modelin başarımı, modelin daha önce görmediği test verileri ile ölçülmektedir.



Şekil 4. Sistem akış diyagramı

BULGULAR VE TARTIŞMA

Uygulama Detayları

Bu çalışmadaki, tüm deneyler aşağıdaki özelliklere sahip bir bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. Derin öğrenme platformları için en uygun işletim sistemi olan Linux'un en güncel versiyonu olan Ubuntu 22.04 kullanılmıştır. Donanım açısından bu bilgisayar, Intel® Core™ i7-12700K İşlemci (25M Önbellek, 5.00 GHz'e kadar) işlemci, 64 GB DDR5 (5200Mhz) RAM ve NVIDIA RTX 3090 grafik kartından oluşur. NVIDIA RTX 3090 grafik kartı, 10496 CUDA çekirdeği, 328 tensör çekirdeği içerir ve 24 GB GDDR6X bellek ile 384 bit bellek arabirimi kullanır. Programlama dili olarak Python, çerçeve olarak PyTorch ve NVIDIA CUDA Toolkit 11.7 kullanılmıştır.

Değerlendirme Metrikleri

Derin öğrenme algoritmalarının performanslarını genelleme yeteneklerini değerlendirmek için kullanılan birçok değerlendirme metriği mevcuttur. Sınıflandırma ve regresyona dayalı algoritmalar için farklı metrik değerleri kullanılır. Bu çalışmada sınıflandırma algoritmalarında en yaygın kullanılan

Doğruluk, Kesinlik, Duyarlılık ve F1-skoru metrik değerleri kullanılmıştır. Bu metriklere ait formüller aşağıda Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Sınıflandırma metrikleri

Metrik	Açıklama	Formül
Doğruluk	Doğruluk, doğru tahmin sayılarının toplam tahmin sayısına oranıdır. (DP: Doğru Pozitif, DN: Doğru Negatif, YP: Yanlış Pozitif, YN: Yanlış Negatif)	$\frac{DP + DN}{DP + DN + YP + YN}$
Kesinlik	Doğru tahmin edilen pozitif sonuçların, Doğru pozitif (DP) değerlerinin, tahmin edilen tüm pozitif sonuçlara (DP+YP) oranı olarak hesaplanır.	$\frac{DP}{DP + YP}$
Duyarlılık	Doğru tahmin edilen pozitif sonuçların (DP) oranını ölçmek için kullanılır. Aynı zamanda modelin hassasiyetini ölçen bir metriktir.	$\frac{DP}{DP + YN}$
F1-skoru	Kesinlik ve hatırlama değerlerinin harmonik ağırlığını hesaplar.	$2x \frac{Kesinlik \times Duyarlılık}{Kesinlik + Duyarlılık}$

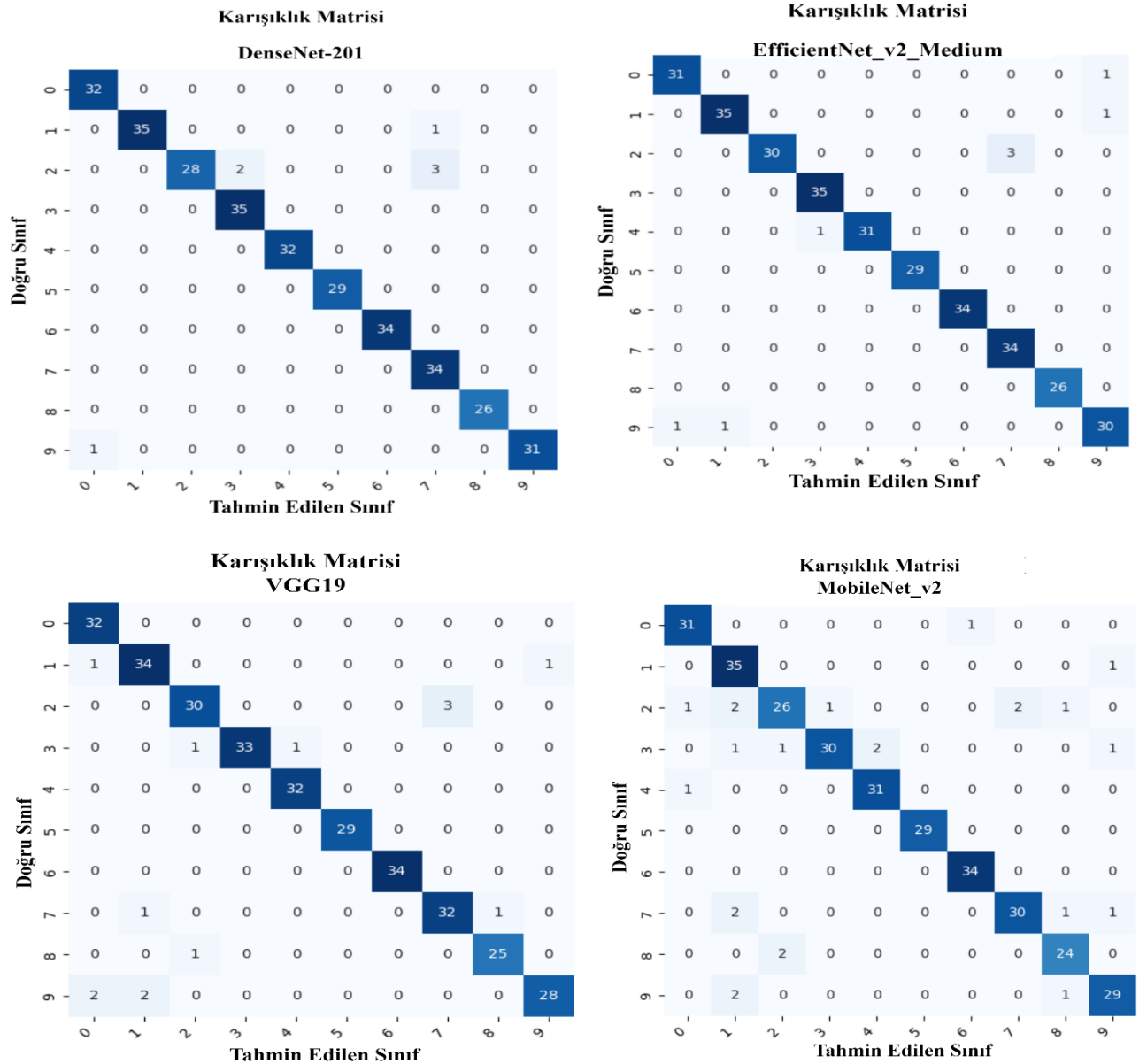
Deneysel Sonuçlar

Literatürde, farklı konuşma dillerine ait işaret dili tanıma, jest-mimik tanıma ve hareket tanıma gibi birçok çalışma mevcuttur. Sunulan modellerin performansını gösteren en önemli etkenlerden biri de kullandıkları veri setleridir. Yapılan çalışmaları incelediğimizde her çalışma kendi özel veri setini kullanmaktadır. Bu da modellerin farklı işaret diller üzerindeki objektifliğini etkiler. Yaptığımız çalışmada, güncel ve popüler derin öğrenme modellerinin Türk işaret dili üzerindeki performanslarını incelemek için deneysel bir çalışma sunulmuştur. Her bir model için doğruluk, kesinlik, duyarlılık, F1-skor değerleri ve kullanılan modellerin parametre sayıları Çizelge 2’de verilmiştir. Çizelge 2’de en yüksek metrik değerleri kalın yazı tipi ile vurgulanmıştır.

Çizelge 2. Derin öğrenme modeli için deneysel sonuçlar

Model	Doğruluk	Kesinlik	Duyarlılık	F1-skoru	Parametre sayısı
Resnet18	0.9412	0.9416	0.9424	0.9414	11.180.616
Resnet34	0.9505	0.9527	0.9513	0.9516	21.288.776
Resnet50	0.9319	0.9326	0.9329	0.9322	23.524.424
Resnet101	0.9505	0.9534	0.9503	0.9519	42.508.356
Resnet152	0.9876	0.9885	0.9881	0.9880	58.152.004
EfficientNet_v2_s	0.9412	0.9438	0.9422	0.9425	20.182.612
EfficientNet_v2_m	0.9754	0.9771	0.9756	0.9762	20.182.612
EfficientNet_v2_l	0.9751	0.9742	0.9749	0.9746	52.863.480
VGG13	0.9226	0.9259	0.9248	0.9242	128.967.236
VGG16	0.9351	0.9351	0.9349	0.9351	134.276.932
VGG19	0.9567	0.9582	0.9574	0.9574	128.967.236
MobileNet_v2	0.9257	0.9281	0.9266	0.9269	2.261.827
DenseNet121	0.9628	0.9655	0.9632	0.9641	6.957.956
DenseNet161	0.9778	0.9791	0.9789	0.9784	26.480.836
DenseNet169	0.9779	0.9803	0.9785	0.9791	12.491.140
DenseNet201	0.9783	0.9811	0.9789	0.9797	18.100.612

Çizelge 2’deki modellerin deneysel sonuçlarına baktığımızda Türk işaret dili üzerinde her bir model etkili sonuçlar vermiştir. Modellerin performanslarını daha sağlam bir şekilde değerlendirmek için kesinlik ve duyarlılık metriklerinin harmonik ortalaması olan F1-skorunu kullanılmıştır. Çizelge 2’yi genel olarak değerlendirdiğimizde modellerin hepsi %90’dan fazla değerler alarak Türk işaret dilinde başarılı sonuçlar verdiler. Modellerin performanslarını değerlendirdiğimizde tüm metrik değerlerinde en başarılı model ResNet152’ye aittir. Her bir modeli kendi içinde değerlendirdiğimizde ResNet mimarilerinden ResNet152 en yüksek F1-skoru olarak %98.8 değerine sahipken en düşük değer %94,1 ResNet50 modeline aittir. EfficientNet mimarilerinde, EfficientNet_v2_m %97.6 değeri ile en yüksek değeri alırken EfficientNet_v2_s %94.2 ile en düşük değere sahiptir. VGG ve DenseNet modellerinde ise modeller derinleştikçe performanslarının arttığı görülmektedir. En yüksek değerler, VGG19 için %95.7 ve Densenet201 içinse %97.9 F1-skor değerlerine sahiplerdir. Öte yandan, MobileNet_v2 mimarisi %92.6’lık F1-skoru ile diğer modellere kıyasla en düşük performansı göstermiştir.



Şekil 5. Bazı modellerin karışıklık matrisi

Şekil 5'te bazı modellerin performanslarının görselleştiren karışıklık matrisleri verilmiştir. Türk işaret dilinde 2 ve 7 rakamlarına ait el işareti görsel olarak birbirine yakındır. Özellikle veri seti oluşturulurken bu rakamların el ve parmak pozisyonları hemen hemen aynı olmakla beraber parmak açıklıkları arasında farklılık vardır. Modeller çoğunlukla 2 rakamını değerlendirirken hata vermişlerdir. DenseNet201, EfficientNet_v2_m ve VGG19 modelleri 3'er tane 7 rakamını 2 olarak görürken MobileNet_v2 ise 2 tanesini 7 rakamı olarak görmektedir. Genel olarak, karışıklık matrisine baktığımızda MobileNet_v2 modeli en düşük sınıflandırma performansını göstermiştir.

SONUÇ

Sağır ve dilsiz insanların bir tercümana ihtiyaç duymadan çevreleriyle sağlıklı ve doğru bir iletişim kurmaları için işaret dili çeviri sistemleri önemli bir yere sahiptir. Bununla birlikte, işaret dili kullanıcılarının herhangi harici bir donanıma ihtiyaç duymadan akıllı telefon, tablet gibi teknolojik aletleri kullanarak günlük yaşama uyum sağlamaları da önemli bir diğer etkidir. Bu da işaret dili tanıma sistemlerinin bilgisayarla görü alanında popüler hale gelmesini sağlamıştır. Bu çalışmada, Türk işaret dilindeki rakamlara ait oluşturduğumuz özgün veri setini kullanarak güncel CNN mimarilerinin detaylı bir karşılaştırmasını yaptık. Deneylerde tek düze bir arka plan kullanılarak oluşturulan veri seti herhangi bir ön işlem yapılmadan ham haliyle kullanılmıştır. Modellerin sınıflandırma performansını artırmak için basit veri artırma teknikleri de kullanılmıştır. Yapılan bu deneysel çalışmalar, Türk işaret dili rakamlarına ait görüntülerinin sınıflandırılması için güncel derin öğrenme tekniklerinin oldukça başarılı olduğunu ortaya koymuştur. Derin mimariler ve hafif mimari olarak adlandırılan az katmana sahip mimariler %90'ın üzerinde başarı göstermiştir. Bu çalışmayla birlikte, işaret dili tanıma sistemlerinde derin öğrenme mimarilerinin sınıflandırma kapasiteleri göz önüne alınarak gelecekteki işaret dili çalışmaları için önemli bir referans olmasını umuyoruz. İşaret dili, görsel işaretler kullanılarak iletişim kurulan bir dil yapısına sahip olduğu için karmaşık bir yapıya sahiptir. İşaret dili, el ve jest-mimik hareketlerinin doğru bir şekilde sınıflandırması ve bunlardan anlamlı ifadelerin çıkarılması önemli bir işlemdir. Bu yüzden, işaret dili tanıma sistemlerinde sınıflandırma önemli bir yere sahiptir. Ayrıca, yaptığımız bu çalışmayla literatüre ilk defa Türk işaret dili için rakamlardan oluşan bir özgün bir veri kümesi kazandırılarak Türk işaret dili çalışmalarında yazarlara katkı sağlanmasını umuyoruz.

Gelecekte yapılacak çalışmalar için harf, kelime veya dinamik hareketlerden oluşan bir yeni ve özgün bir veri seti geliştirilebilir. Bunun yanı sıra, sınıflandırma doğruluğunu artırmak için, farklı ışıklandırma, aydınlatma, arka plan ve el-parmak aksesuarlarına sahip görüntüler veri setine eklenerek CNN için veri çeşitliliği sağlanabilir.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

- Aiouez, S., Hamitouche, A., Belmadoui, M. S., (Belattar, K., & Souami, F. (2022). Real-time Arabic Sign Language Recognition based on YOLOv5. *PROCEEDINGS OF THE 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON IMAGE PROCESSING AND VISION ENGINEERING*, (s. 17-25). doi:10.5220/0010979300003209
- Alawwad, R. A., Bchir, O., & Ismail, M. M. (2021). Arabic Sign Language Recognition using Faster. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 12(3), 692-700.

- Al-Hammadi, M., Muhammad, G., Abdul, W., Alsulaiman, M., Bencherif, M. A., & Mekhtiche, M. A. (2020). Hand Gesture Recognition for Sign Language Using 3DCNN. *IEEE Access*, 8, 79491 - 79509.
- Alici-Karaca, D., Akay, B., Yay, A., Suna, P., Nalbantoglu, O. U., Karaboga, D., . . . Baran, M. (2022). A new lightweight convolutional neural network for radiation-induced liver disease classification. *Biomedical Signal Processing and Control*, 73. doi:10.1016/j.bspc.2021.103463
- Almeida, S. G., Guimarães, F. G., & Ramirez, J. A. (2014). Feature extraction in Brazilian Sign Language Recognition based on phonological structure and using RGB-D sensors. *Expert Systems with Applications: An International Journal*, 14(6), 7259–7271.
- Alzubaidi, L., Zhang, J., Humaidi, A. J., Ayad Al-Dujaili, Y. D., Al-Shamma, O., Santamaría, J., . . . Farhan, L. (2021). Review of deep learning: concepts, CNN architectures, challenges, applications, future directions. *Journal of big Data*, 8(1), 1-74.
- Bhushan, S., Alshehri, M., Keshta, I., Chakraverti, A. K., Rajpurohit, J., & Abugabah, A. (2022). An Experimental Analysis of Various Machine Learning Algorithms for Hand Gesture Recognition. *Electronics*, 11(6). doi:10.3390/electronics11060968
- Bordes, A., Glorot, X., Weston, J., & Bengio, Y. (2012). Joint Learning of Words and Meaning Representations for Open-Text Semantic Parsing. *Proceedings of the Fifteenth International Conference on Artificial Intelligence and Statistics* (s. 127-135). PMLR.
- Burukanlı, M., Budak, Ü., & Çıbuk, M. (2019). Saldırı Tespit Sistemlerinde Makine Öğrenme Metotlarının Kullanımı. *Uluslararası Bilim ve Mühendislik Sempozyumu*, 20(22), 1052-1057.
- Chaudhuri, S., Dayal, U., & Narasayya, V. (2011). An overview of business intelligence technology. *Communications of the ACM*, 54(8), 88-98.
- Deafness and hearing loss*. (2021, Nisan 1). World Health Organization(WHO): <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/deafness-and-hearing-loss> adresinden alındı
- Deng, J., Dong, W., Socher, R., Li, L.-J., Li, K., & Fei-Fei, L. (2009). ImageNet: A large-scale hierarchical image database. *2009 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. IEEE. doi:10.1109/CVPR.2009.5206848
- Fan, J., Ma, C., & Zhong, Y. (2019). *A selective overview of deep learning*. arXiv:1904.05526 . adresinden alındı
- Gangrade, J. B. (2020). Vision-based hand gesture recognition for Indian sign language using convolution neural network. *IETE Journal of Research*, 1-10.
- Guo, Y., Liu, Y., Oerlemans, A., Lao, S., Wu, S., & S.Lew, M. (2016). Deep learning for visual understanding: A review. *Neurocomputing*, 187, 27-48.
- Gschwend, D. (2020). Zynqnet: An fpga-accelerated embedded convolutional neural network. arXiv preprint arXiv:2005.06892.
- Halbouni, A., Gunawan, T. S., Habaebi, M. H., Halbouni, M., Kartiwi, M., & Ahmad, R. (2022). Machine Learning and Deep Learning Approaches for CyberSecurity: A Review. *IEEE Access* (10), 19572 - 19585. doi:10.1109/ACCESS.2022.3151248
- He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep Residual Learning for Image Recognition. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, (s. 770-778).
- Howard, A. G., Zhu, M., Chen, B., Kalenichenko, D., Wang, W., Weyand, T., . . . Adam, H. (2017). MobileNets: Efficient Convolutional Neural Networks for Mobile Vision Applications. <https://arxiv.org/abs/1704.04861> adresinden alındı

- Huang, G., Liu, Z., Maaten, L. v., & Weinberger, K. Q. (2017). Densely Connected Convolutional Networks. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, (s. 4700-4708).
- Justesen, N., Bontrager, P., Togelius, J., & Risi, S. (2020). Deep Learning for Video Game Playing. *IEEE Transactions on Games*, 12(1), 1 - 20.
- Karaman, A., Karaboga, D., Pacal, I., Akay, B., Basturk, A., Nalbantoglu, U., Sahin, O. (2022). Hyper-parameter optimization of deep learning architectures using artificial bee colony (ABC) algorithm for high performance real-time automatic colorectal cancer (CRC) polyp detection. *Applied Intelligence*. <https://doi.org/10.1007/s10489-022-04299-1>
- Karaman, A., Pacal, I., Basturk, A., Akay, B., Nalbantoglu, U., Coskun, S., Sahin, O., & Karaboga, D. (2023). Robust real-time polyp detection system design based on YOLO algorithms by optimizing activation functions and hyper-parameters with artificial bee colony (ABC). *Expert Systems with Applications*, 221. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.119741>
- Karagoz, M. A., Akay, B., Basturk, A., Karaboga, D., & Nalbantoglu, O. U. (2023). An unsupervised transfer learning model based on convolutional auto encoder for non-alcoholic steatohepatitis activity scoring and fibrosis staging of liver histopathological images. *Neural Computing and Applications*, 1-15.
- Khari, M., Garg, A., Crespo, R. G., & Verdú, E. (2019). Gesture Recognition of RGB and RGB-D static Images using Convolutional Neural Networks. *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, 5(7), 22-27.
- Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2012). ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks. *Advances in Neural Information Processing Systems* 25.
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436-444.
- Li, Y., Ding, L., & Gao, X. (2018). On the Decision Boundary of Deep Neural Networks. <https://arxiv.org/abs/1808.05385> adresinden alındı
- Li, Z., Liu, F., Yang, W., Peng, S., & Zhou, J. (2021). A Survey of Convolutional Neural Networks: Analysis, Applications, and Prospects. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 33(12), 6999 - 7019.
- LUQMAN, H., & ELALFY, E. (2022). Utilizing motion and spatial features for sign language gesture recognition using cascaded CNN and LSTM models. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 30(7), 2508-2525.
- Ma, Y., Xu, T., & Kim, K. (2022). Two-Stream Mixed Convolutional Neural Network for American Sign Language Recognition. *Sensors*, 22(16), 5959.
- Marais, M., Brown, D., Connan, J., & Boby, A. (2022). An Evaluation of Hand-Based Algorithms for Sign Language Recognition. *2022 International Conference on Artificial Intelligence, Big Data, Computing and Data Communication Systems (icABCD)*. IEEE. doi:10.1109/icABCD54961.2022.9856310
- Myagila, K., & Kilavo, H. (2021). A Comparative Study on Performance of SVM and CNN in Tanzania Sign Language Translation Using Image Recognition. *Applied Artificial Intelligence*, 1-16. doi:10.1080/08839514.2021.2005297
- Naglot, D., & Kulkarni, M. (2016). Real time sign language recognition using the leap motion controller. *International conference on inventive computation technologies (ICICT)*. 3, s. 1-5. IEEE.
- Nam, Y., & Lee, C. (2021). Cascaded convolutional neural network architecture for speech emotion recognition in noisy conditions. *Sensors*, 21(13), 4399.

- Núñez-Prieto, R., Gómez, P. C., & Liu, L. (2019, October). A real-time gesture recognition system with fpga accelerated zynqnet classification. In *2019 IEEE Nordic Circuits and Systems Conference (NORCAS): NORCHIP and International Symposium of System-on-Chip (SoC)* (pp. 1-6). IEEE.
- Ongsulee, P. (2017). Artificial intelligence, machine learning and deep learning. *2017 15th International Conference on ICT and Knowledge Engineering (ICT&KE)* (s. 1-6). IEEE.
- Ozkok, F. O., & Celik, M. (2023). Classification of High Resolution Melting Curves Using Recurrence Quantification Analysis and Data Mining Algorithms. In *Smart Applications with Advanced Machine Learning and Human-Centred Problem Design* (pp. 641-650). Cham: Springer International Publishing.
- Özcan, T., & Baştürk, A. (2020). ERUSLR: A new Turkish sign language dataset and its recognition using hyperparameter. *ournal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 36(1), 527-542.
- PACAL, İ. (2022). Deep Learning Approaches for Classification of Breast Cancer in Ultrasound (US) Images. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 1917–1927.
<https://doi.org/10.21597/jist.1183679>
- Pacal, I., & Karaboga, D. (2021). A robust real-time deep learning based automatic polyp detection system. *Computers in Biology and Medicine*, 134.
<https://doi.org/10.1016/J.COMPBIOMED.2021.104519>
- Pacal, I., Karaboga, D., Basturk, A., Akay, B., & Nalbantoglu, U. (2020). A comprehensive review of deep learning in colon cancer. *Computers in Biology and Medicine*, 126.
<https://doi.org/10.1016/J.COMPBIOMED.2020.104003>
- Pacal, I., Karaman, A., Karaboga, D., Akay, B., Basturk, A., Nalbantoglu, U., & Coskun, S. (2022). An efficient real-time colonic polyp detection with YOLO algorithms trained by using negative samples and large datasets. *Computers in Biology and Medicine*, 141.
<https://doi.org/10.1016/J.COMPBIOMED.2021.105031>
- Pan, S. J., & Yang, Q. (2010). A survey on transfer learning. *IEEE Transactions on knowledge and data engineering*, 22(10), 1345-1359.
- Rao, G. A., Syamala, K., Kishore, P. V., & Sastry, A. S. (2018). Deep convolutional neural networks for sign language recognition. *2018 Conference on Signal Processing And Communication Engineering Systems (SPACES)*. doi:10.1109/SPACES.2018.8316344
- Rastgoo, R., Kiania, K., & Escalerab, S. (2021). Sign Language Recognition: A Deep Survey. *Expert Systems with Applications*, 164, 113794. doi:10.1016/j.eswa.2020.113794
- Ren, Z., Yuan, J., Meng, J., & Zhang, Z. (2013). Robust Part-Based Hand Gesture Recognition Using Kinect. *IEEE Transactions on Multimedia*, 15(5), 1110 – 1120.
- Rezende, T. M., Almeida, S. G. M., & Guimarães, F. G. (2021). Development and validation of a Brazilian sign language database for human gesture recognition. *Neural Computing and Applications*, 33(16), 10449-10467.
- Sajjanhar, A., Wu, Z., & Wen, Q. (2018). Deep learning models for facial expression recognition. *2018 digital image computing: Techniques and applications (dicta)* (s. 1-6). IEEE.
- Saqib, S., Ditta, A., Khan, M., Kazmi, S. A., & Alquhayz, H. (2021). Intelligent Dynamic Gesture Recognition Using CNN Empowered by Edit Distance. *Computers, Materials and Continua*, 66(2), 2061-2076.
- Shukor, A. Z., Miskon, M. F., Jamaluddin, M. H., binAli@Ibrahim, F., FareedAsyraf, M., & binBahar, M. B. (2015). A new data glove approach for Malaysian sign language detection. *Procedia Computer Science*, 76, 60-67.

- Simonyan, K., & Zisserman, A. (2014). Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition. <https://arxiv.org/abs/1409.1556> adresinden alındı
- Suliman, W., Deriche, M., Luqman, H., & Mohandes, M. (2021). Arabic Sign Language Recognition Using Deep Machine Learning. (s. 4th International Symposium on Advanced Electrical and Communication Technologies (ISAECT)). IEEE. doi:10.1109/ISAECT53699.2021.9668405
- Suri, K., & Gupta, R. (2019). Convolutional neural network array for sign language recognition using wearable IMUs. In *2019 6th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN)* (pp. 483-488). IEEE.
- Tan, M., & Le, Q. V. (2019). EfficientNet: Rethinking Model Scaling for Convolutional Neural Networks. *International conference on machine learning* (s. 6105-6114). PMLR.
- Tasmere, D., & Ahmed, B. (2020). Hand Gesture Recognition for Bangla Sign Language Using Deep Convolution Neural Network. *2020 2nd International Conference on Sustainable Technologies for Industry 4.0 (STI)*. IEEE. doi:10.1109/STI50764.2020.9350484
- Wang, Z., Zhao, T., Ma, J., Chen, H., Liu, K., Shao, H., . . . Ren, J. (2022). Hear Sign Language: A Real-Time End-to-End Sign Language Recognition System. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, *21*(7), 2398 - 2410.
- Weiss, K., Khoshgoftaar, T. M., & Wang, D. (2016). A survey of transfer learning. *Journal of Big Data*, *3*(1), 1-40.
- Wu, Y., & Huang, T. S. (1999). Vision-Based Gesture Recognition: A Review. *In International gesture workshop* (s. 103-115). Berlin Heidelberg: Springer.
- Yu, S., Jia, S., & Xu, C. (2017). Convolutional neural networks for hyperspectral image classification. *Neurocomputing*, *219*, 88-98.
- Zhiqiang, W., & Jun, L. (2017). A review of object detection based on convolutional neural network. *2017 36th Chinese Control Conference (CCC)* (s. 11104-11109). IEEE.

Atıf İçin: Pacal, I. (2023). Göğüs Röntgeni Görüntülerinden Otomatik COVID-19 Teşhisi için Görü Transformatörüne Dayalı Bir Yaklaşım. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 778-791.

To Cite: Pacal, I. (2023). A Vision Transformer-based Approach for Automatic COVID-19 Diagnosis on Chest X-ray Images. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 778-791.

Göğüs Röntgeni Görüntülerinden Otomatik COVID-19 Teşhisi için Görü Transformatörüne Dayalı Bir Yaklaşım

Ishak PACAL^{1*}

Öne Çıkanlar:

- COVID-19 tespiti
- Akciğer enfeksiyon tespiti

Anahtar Kelimeler:

- COVID-19
- COVID-19 tespiti
- Görü transformatörler
- Akciğer hastalık tespiti
- Derin Öğrenme

ÖZET:

Son yıllarda ortaya çıkan yeni tip Koronavirüs hastalığı (COVID-19), dünya çapında sağlığı tehdit eden ciddi bir hastalık olmuştur. COVID-19 çok hızlı bir şekilde bulaşabilen ve ciddi ölüm artışları ile birçok endişeye zemin hazırlamıştır. Salgının evrensel boyuta taşınmasıyla bu hastalığın erken teşhisine yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Erken teşhis ile hem ölümcül vakaların önüne geçilmiş olunmakta hem de salgının planlanması daha kolay olabilmektedir. X-ışını görüntülerinin zaman ve uygulanabilirlik açısından diğer görüntüleme tekniklerine nazaran çok daha avantajlı olması ve ayrıca ekonomik olması erken teşhis bazı uygulama ve yöntemlerin bu görüntülerin üzerine yoğunlaşmasına neden olmuştur. Derin öğrenme yaklaşımları birçok hastalık teşhisinde olduğu gibi COVID-19 teşhisinde de çok büyük bir etki oluşturmuştur. Bu çalışmada, derin öğrenmenin CNN tabanlı yaklaşımları gibi daha önceki tekniklerinden ziyade en güncel ve çok daha popüler bir mimarisi olan transformatör yöntemine dayalı bir teşhis sistemi önerdik. Bu sistem, görü transformatör modelleri temelli bir yaklaşım ve yeni bir veri seti olan COVID-QU-Ex üzerinde COVID-19 hastalığının daha efektif bir teşhisini içermektedir. Deneysel çalışmalarda, görü transformatör modellerinin CNN modellerinden daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, ViT-L16 modeli %96'nın üzerinde test doğruluğu ve F1-skoru sunarak, literatürde benzer çalışmalara kıyasla çok daha yüksek bir başarıyı göstermiştir.

A Vision Transformer-based Approach for Automatic COVID-19 Diagnosis on Chest X-ray Images

Highlights:

- COVID-19 detection
- Lung infection detection

Keywords:

- COVID-19
- COVID-19 detection
- Vision transformers
- Lung disease detection
- Deep learning

ABSTRACT:

The new type of coronavirus disease (COVID-19), which has emerged in recent years, has become a serious disease that threatens health worldwide. COVID-19, which can be transmitted very quickly and with serious increases in death, has paved the way for many concerns. With the spread of the epidemic to a universal dimension, many studies have been carried out for the early diagnosis of this disease. With early diagnosis, both fatal cases are prevented and the planning of the epidemic can be easier. The fact that X-ray images are much more advantageous than other imaging techniques in terms of time and applicability, and also that they are economical, has led to the focus of early diagnosis-based applications and methods on these images. Deep learning approaches have had a great impact in the diagnosis of COVID-19, as in the diagnosis of many diseases. In this study, we propose a diagnostic system based on the transformer method, which is the most up-to-date and much more popular architecture than previous techniques of deep learning such as CNN-based approaches. This method includes an approach based on vision transformer models and a more effective diagnosis of COVID-19 disease on a new dataset, the COVID-QU-Ex dataset. In experimental studies, it has been observed that vision transformer models are more successful than CNN models. In addition, the ViT-L16 model showed a much higher performance compared to similar studies in the literature, providing test accuracy and F1-score of over 96%.

¹ Ishak PACAL ([Orcid ID: 0000-0001-6670-2169](https://orcid.org/0000-0001-6670-2169)), İğdır Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İğdir, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: İshak PAÇAL, e-mail: ishak.pacal@igdir.edu.tr

GİRİŞ

Koronavirüs hastalığı (COVID-19), 2019 yılında ilk kez Çin Halk Cumhuriyeti'nde ortaya çıkan şiddetli akut solunum sendromu neden olan SARS-CoV-2 tabanlı bir hastalıktır (Ciotti ve ark., 2020). Koronavirüs, öncelikle solunum yollarını ele geçirdikten sonra furin adı verilen bir enzim yoluyla vücut hücrelerini hedef alır ve bağışıklık sistemini düşürmeye çalışan patojenik bir hastalıktır (Pascarella ve ark., 2020a; Kanne ve ark., 2021). Bu hastalık ilk kez yarasalar yoluyla insanlara yayıldığı görülmüştür (Ciotti ve ark., 2020). COVID-19 boğaz ağrısı, göğüs ağrısı, baş ağrısı ve kuru öksürük gibi birçok yaygın semptomlara sahiptir. Son istatistiklere göre 5 milyondan fazla ölüme neden olduğu belirtilmiştir (Revel ve ark., 2020). Hastalığın çok agresif bir yayılma göstermesi nedeniyle birçok ülke kapanmaya yani pandemi sürecine girmiştir. Bu şekilde hastalığın bulaşma eğilimi azalsa da salgın halen az da olsa devam etmektedir. COVID-19'a neden olan patojenin tespiti için PCR (Polymerase chain reaction) testleri genelde kullanılmaktadır fakat bu testler bazen yanıltıcı olabilmektedir (Cleverley ve ark., 2020; Pascarella ve ark., 2020a). COVID-19'un etkili teşhisi ve akciğerlerdeki enfeksiyonun derecesini ölçmek için genellikle öncelikle röntgen ve daha sonra ise gerekli durumlarda bilgisayarlı tomografi (BT) görüntüleri kullanılmaktadır (Fang ve ark., 2020; Xie ve ark., 2020). Böylece, hastalığın kesin teşhisi konulmaktadır. Röntgen ya da diğer adıyla X-ışını görüntüleri BT'ye göre hem sağlık açısından daha az zararlı hem de ekonomik ve daha hızlı bir tekniktir (Cleverley ve ark., 2020; Xie ve ark., 2020).

Alanında uzman hekimler ve radyologlar röntgen ya da BT görüntülerini kullanarak hastalıkların teşhisini koyabilmektedirler. COVID-19 teşhisi için X-ışını görüntüleri verimliliklerinden dolayı çok kullanılmaktadır. Ayrıca, bu görüntüleme yöntemi tıp merkezlerinde kolayca bulunur ve çok kısa bir sürede görüntüleme yapılmaktadır, bu da ona daha efektif bir kullanım avantajlarını artırır. Alanında uzman bir hekim, röntgen görüntüsüne bakarak hastanın COVID-19 ya da akciğer enfeksiyonlarını teşhis edebilir (Cleverley ve ark., 2020). Bazı durumlarda, özellikle hekimin yoğun bir çalışma temposu, anı dalgınlığı ya da ikincil bir hekim olmadığı durumlarda hastaya yanlış teşhis edebilir. Bu yüzden, özellikle radyoloji alanında bilgisayar destekli teşhis sistemleri (CAD) geliştirilmiştir (Pacal ve ark., 2020; Wang ve ark., 2021). Son zamanlarda ise CAD sistemlerinde ciddi gelişmeler olmuştur. Özellikle yapay zekâ alanındaki son gelişmeler, bilhassa derin öğrenme algoritmalarının artan önemi ile birçok yeni gelişmeler literatüre girmiştir (Bayat ve Işık, 2022). Birçok hastalık teşhisinde olduğu gibi, COVID-19 teşhisinde de yapay zekâ en önemli yeri edinmiştir denilebilir (Wang ve ark., 2021).

Yapay zekâ uygulamaları, birçok hastalıkların teşhisinde uzun zamandan beri kullanılmakta ve sürekli gelişen bir alandır. Önceki yıllarda genellikle makine öğrenimi tabanlı yaklaşımlar hem hastalık teşhisinde hem de bilgisayar bilimlerinin birçok alanında kullanılmıştır (Arı ve ark., 2021; Burukanli ve ark., 2021; Bülbül ve ark., 2022). Son yıllarda, özellikle görüntü analizi konusunda, derin öğrenme ile teşhis sistemlerinde çok ciddi bir yer edinmiş ve başarılı sonuçlar vermiştir (Adem ve Kılıçarslan, 2021; Karaman ve ark., 2022; Pacal ve ark., 2022). Derin öğrenme ise yapay zekânın şu an için en popüler ve oldukça önemi artan bir alandır. Derin öğrenme, savunma sanayisi, otonom araç, dil işleme, nesne tespiti ve medikal görüntü işleme gibi birçok alanda başarılarla adından söz ettirmektedir (Gulum ve ark., 2021; Pacal ve Karaboga, 2021; Alici-Karaca ve ark., 2022; Ozkok ve Celik, 2022; Karaman ve ark., 2023). Derin öğrenme klasik makine öğrenimi yaklaşımlarına nazaran, yüksek miktarda veri ile etkili sonuçlar veren ve özellik keşiflerini otomatik bir şekilde yapabilen ve daha nice kompleks başarılı özellikleri barındıran bir disiplindir (Pacal, 2022). Derin öğrenmeye dayalı uygulamalar, tıbbi görüntüleme yaygın olarak kullanılmakla beraber COVID-19'a karşı mücadelede oldukça yoğun bir şekilde kullanılmıştır (Subramanian ve ark., 2022). Birçok sebepten dolayı, sağlık ekibi görüntü analizinde yetersiz kalabilir. Derin öğrenme uygulamaları bu yükü azaltmakla beraber birçok uzman hekimin

deneyimlerini öğrenebilir ve hastalık teşhisinde etkili bir şekilde kullanılabilir. Bu nedenle, COVID19'u daha efektif bir şekilde tespit etmek için X-ışını görüntülerinin daha iyi ve daha hızlı analizi için derin öğrenme modellerine ihtiyaç vardır.

COVID-19 hastalığı teşhisinde son zamanlara kadar genellikle derin öğrenme yöntemlerinin görüntü tabanlı yaklaşımlarından olan ve oldukça popüler olan evrimsel sinir ağları (CNNs) kullanılmıştır (Ibrahim ve ark., 2021). CNN'ler derin öğrenme yaklaşımları en üst seviyeye taşıyan mimarilerin başında gelir. Literatürde CNN yaklaşımları temelli birçok çalışma sunulmuş ve COVID-19 teşhisinde başarılı sonuçlar sunmuştur. Bu çalışmalardan bazıları şu şekildedir. Bhattacharyya ve arkadaşları (Bhattacharyya ve ark., 2022) göğüs röntgen görüntülerini kullanarak COVID-19 teşhisi için bütünlük bir yöntem önerdiler. Önerilen yöntemde ilk adım akciğer görüntülerini elde etmek için koşullu üretken çekişmeli ağ (C-GAN), ikinci adım ise ayırt edici özellik çıkarımı için CNN ağları kullanılırken, son adımda ise sınıflandırma işlemi için birkaç makine öğrenimi algoritmaları kullanılmaktadır. Önerilen yöntem diğer yöntemlere nazaran daha yüksek bir doğruluk sunmaktadır. Yine benzer şekilde, Deb ve arkadaşları (Deb ve ark., 2022) göğüs röntgeninin görüntülerinden oluşan bir yöntemle COVID-19 tespiti yapmışlardır. Önerdikleri yöntem ise topluluk öğrenmeye dayalı bir yöntem olmakla beraber popüler olan VGGNet, GoogleNet, DenseNet ve NASNet gibi ağlar uygulamada kullanılmıştır. Önerdikleri yöntemi iki tane halka açık veri seti ve bir tane özel veri seti üzerine uygulanmıştır. Gafoor ve arkadaşları (Abdul ve ark., 2022) derin öğrenme teknolojilerini COVID-19 teşhisi için önerdiler. Bu çalışmada, derin öğrenme algoritmalarının COVID-19 ile enfekte olmuş hastaları başarılı bir şekilde teşhis ettiği gözlemlenmiştir. Dhiman ve arkadaşları (Dhiman ve ark., 2022) derin öğrenme teknikleri ve optimizasyon algoritmalarını beraber efektif bir şekilde kullanarak X-ışınları üzerinde COVID-19 hastalarının teşhisi için bütünlük bir yöntem önerdiler. Bu yöntem, ResNet, VGG, DenseNet gibi CNN modellerinden oluşurken, deneysel çalışmalarda önerilen yöntemin diğer çalışmalara kıyasla daha başarılı oldukları belirtilmiştir. Sedik ve arkadaşları (Sedik ve ark., 2022) CNN ve LSTM mimarilerini beraber kullanan hibrit bir yapı ile COVID-19 hastalarının teşhisi için bir yöntem önerdiler. Bu yöntemde hem BT ve hem de X-ışını görüntüleri için eğitim ve test aşamaları gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada, derin öğrenme mimarilerinin son zamanlarda popüler bir alan haline gelen görü tabanlı transformatör (transformer) modellerinin efektif COVID-19 teşhisi için bir yöntem önerilmiştir. Literatürde yapılan nerdeyse bütün çalışmalar CNN tabanlıdır. Son zamanlarda transformatör modellerinin görüntüler için uyarlanması ile CNN'lerden daha efektif sonuçlar elde edilmiştir. Hem yüksek doğruluk sunması hem de çoğu zaman CNN'lerden daha yüksek başarımların sunması ile birçok yeni çalışmada görü transformatör modelleri kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada, transformatör modellerinin COVID-19 teşhisindeki başarısı incelenmiş ve transformatör modellerinin detayları ile karşılaştırmaları sunulmuştur. Çalışmanın nesneliği ve diğer yöntemlerle karşılaştırılabilirliği için halka açık bir veri seti kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda, görü transformatörlerinin CNN yaklaşımlarından daha başarılı olduğu ve COVID-19 teşhisinde başarılı bir performans ve genelleme yeteneği sunduğu görülmüştür. Çalışma, medikal görüntü işlemede transformatör yapılarının başarımını ve genelleme kabiliyetini ölçmektedir. Makalenin geri kalanı şu şekildedir. Bölüm 2'de transformatör yapılarının detaylı bir açıklaması, kullanılan halka açık veri seti ve önerilen metod sunulmaktadır. Bölüm 3, deneysel sonuçları, değerlendirme metrikleri ve kullanılan sistemden bahsederken, Bölüm 4 ise önerileri ve sonuçları verilmektedir.

MATERYAL VE METOT

Transformatör yapısı

Derin öğrenme ailesinin en popüler yaklaşımlarından olan transformer ya da transformatörler, doğal dil işleme (NLP) alanında başarılı görevler elde etmiştir (Dosovitskiy ve ark., 2020). Son yıllarda, Transformatörler, Dosovitskiy ve arkadaşları tarafından, derin öğrenme mimarilerinin en önemli görevlerinden olan görüntü işlemeye uygulamışlardır (Dosovitskiy ve ark., 2020). Görüntü işleme alanında başarılı sonuçlar elde eden transformatörler, hızlıca birçok alanda kendine yer edindi. Transformatörler, dikkat mekanizmalarına dayanan basit bir ağ içerir ve bu şekilde girdilerin sadece bazı kısımlarına odaklanma gerçekleşir. Doğal dil işlemede gerçekleştirilen işlemlere benzer şekilde girdi yani görüntü bir kelime gibi birden çok yamalara bölünür (Dosovitskiy ve ark., 2020). Bir dizi doğrusal işlemlerinden sonra bu yamalar girdi olur. Görüntüleri girdi olarak ele alan ilk transformatör mimarisi olan görü transformatör (ViT), saf bir transformatör uygulamak için yapılan ilk büyük girişimdir. Orijinal transformatör modeli hem kodlayıcı hem de kod çözücünün bir kombinasyonunu içerirken, ViT modelinin yapısında sadece bir kodlayıcı yer almaktadır. Görü transformatörlerin işleyişi doğal dil işleyişine oldukça benzerdir. ViT mimarisinde giriş görüntüsü I olarak ele alınırsa; I görüntüsü $R^{H \times W \times C}$ şeklinde ifade edilir. Bu görüntü daha sonra $P \times P \times C$ boyutunda N tane görüntü yamasına bölünür. N ise matematiksel olarak Eşitlik 1'deki gibi ifade edilir.

$$N = \frac{HW}{p^2} \quad (1)$$

Burada, H görüntünün yüksekliğini, W genişliğini, P yama boyutunu ve C ise kanal sayısını ifade eder. N parçaya bölünen görüntü yamaları düzleştirilir ve bu yamalar doğrusal bir gömme işlemine tabi tutulur. Daha sonra ise yamaların konum bilgisinin saklanması için konum gömme işlemi uygulanır. Görü transformatörlerin işleyişi doğal dil işleyişine benzer şekilde devam eder. ViT mimarisi genel olarak, bir gömme katmanı, kodlayıcı katmanı ve sınıflandırıcı katmandan oluşmaktadır. Bu yapı şekil 1'de görselleştirilmiştir.

Gömme katmanı: Bu katmanda, her bir yama ayrı bir belirteç olarak işlenir ve bu yamalar öğrenilebilir bir doğrusal izdüşüm olan E ve D boyutlarına eşleşme yapar. Gömülü projeksiyonlar, öğrenilebilir bir sınıf belirteci olan U_{class} ile birleştirilir. U_{class} ise sınıflandırma sürecini tamamlayan öğrenilebilir bir belirteçtir. Konumsal gömme, E_{pos} , her bir yamanın düzenini izler ve bunları sürdürmeyi sağlar, böylece gerçek görüntü tanımlanmaya çalışılır. Yama kodlu seri, Z_0 belirteci ile aşağıdaki Eşitlik 2'deki gibi matematiksel olarak ifade edilmiştir.

$$Z_0 = [U_{class}; X_p^1 E; X_p^2 E; \dots; X_p^N E] + E_{pos} \quad (2)$$

Kodlayıcı katmanı: Transformatör kodlayıcı, daha önce elde edilen bir dizi gömülü yamalar olan Z_0 serisini almak için kullanılır. Görü transformatörlerde kodlayıcı birimi L özdeş katmandan oluşmaktadır. L özdeş katman ise çok başlı bir öz-dikkat bloğu (MSA) (Eşitlik 3) tam bağlantılı bir ileri beslemeli yoğun blok (MLP) (Eşitlik 4) yapılarından oluşmaktadır. MSA bloğu, transformatör kodlayıcının temel ögesidir ve kendi kendine dikkat ve birleştirme katmanlarını içerir. Bloklar iki yoğun katmandan oluşur ve bunu GeLU aktivasyonu takip eder. Bu kısımda, kodlayıcıda bir atlama bağlantısı kullanılır ve çıktıdan önce katman normalizasyonu (LN) gelir.

$$Z'_1 = \text{MSA}(\text{LN}(Z_{l-1})) + Z_{l-1}, l = 1 \dots L \quad (3)$$

$$Z_1 = \text{MLP}(\text{LN}(Z'_1)) + Z'_1, l = 1 \dots L \quad (4)$$

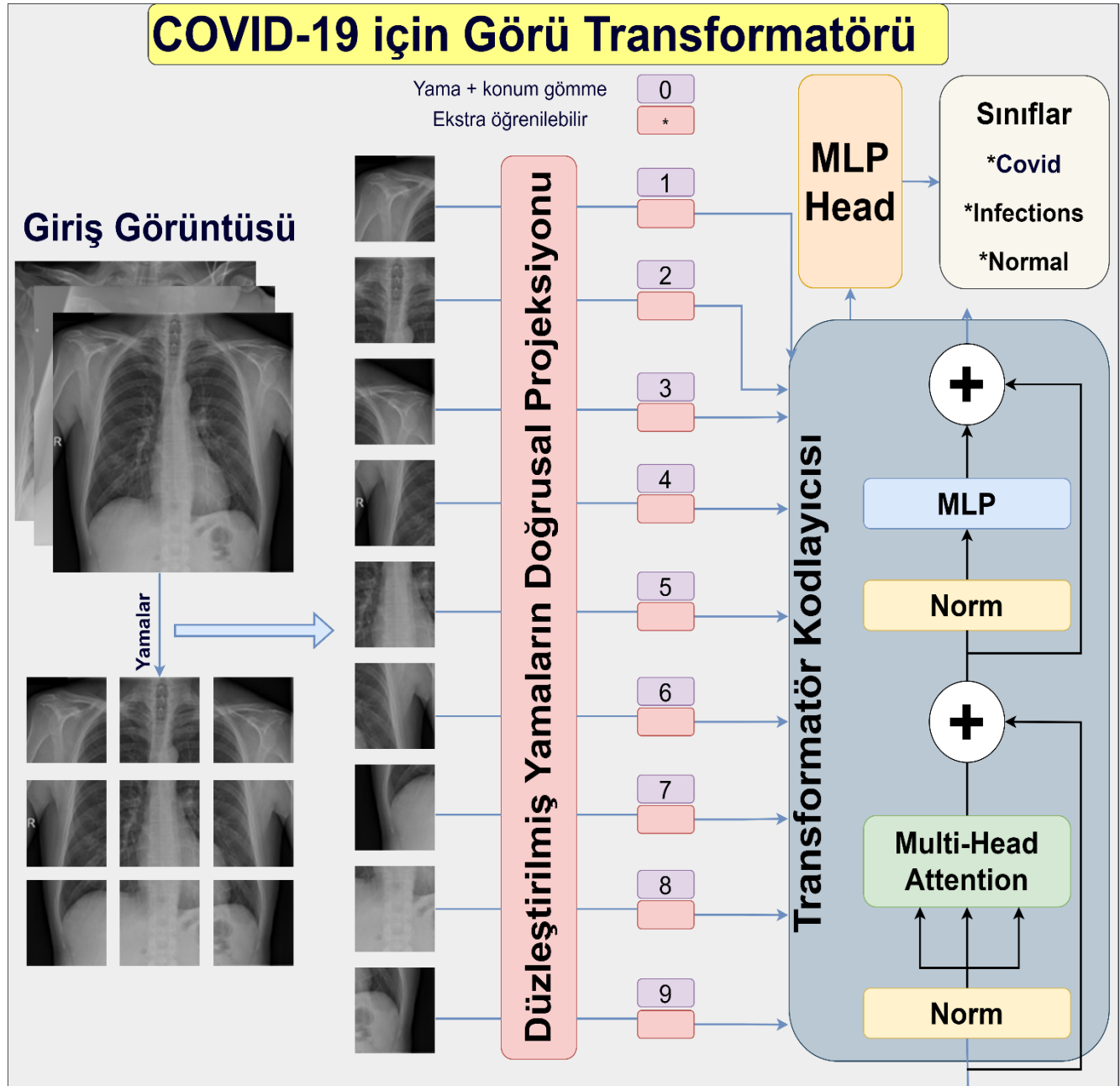
Transformatör kodlayıcısındaki MSA çıkışı, içindeki birkaç öz-dikkat başlığın sıralanmasından elde edilir. Matematiksel olarak, öz-dikkat, Eşitlik 5'te gösterilmiştir.

$$H = \text{Atten}(Q, K, V) = \text{softmax}\left(\frac{QK^T}{\sqrt{D_K}}\right)V \quad (5)$$

Eşitlik 5'te, matris çarpımlarında sonra elde edilen sorgu, Q, anahtar ise K, ve değer matrisi ise V ile temsil edilir. Görü transformatörlerinde MSA'nın son çıktısı, tüm öz-dikkat kafalarının sıralanmasının doğrusal bir katmandan geçirilmesiyle elde edilir. Bu doğrusal katman Eşitlik 6'da matematiksel olarak ifade edilmiştir.

$$\text{MSA}(Q, K, V) = [H_1, H_2, \dots, H_h]W_0 \quad (6)$$

W_0 , öğrenilebilir çıktı dönüşüm matrisidir iken, H ise öz-dikkat kafaların sayısını temsil eder.



Şekil 1. Görü transformatör mimarisinin genel yapısı

Sınıflandırma katmanı: Sınıflandırma işleminin yapıldığı bu birimde, Z_l^0 ögesi öncelikle alınır ve daha sonra ise kodlayıcı sınıflandırma için son katmanını tahmin etmek için harici diğer bir baş sınıflandırıcı ile beslenir. Bu işlem Eşitlik 7'de matematiksel olarak ifade edilmiş ve burada y modelin çıktısı iken Z_l^0 ise karar için alınan ilk ögedir.

$$y = \text{katman normalizasyonu}(Z_i^0) \quad (7)$$

Bu çalışmada, akciğer röntgen görüntülerinden COVID-19 teşhisi için üç farklı transformatör tabanlı model uygulanmıştır. Her bir görü transformatör modeline ait detaylar Tablo 1’de gösterilmiştir. ViT-B modeli; ViT-B16 ve ViT-B32 olmak üzere iki farklı modelden oluşmaktadır. Aslında ViT-B modeli yani temel modelin yama boyutları 16x16 ya da 32x32 olarak değiştirilerek iki model elde edilmektedir fakat 12 katman sayısında herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Aynı şekilde ViT-L yani büyük modelde ise ViT-L16 ve ViT-L32 modelleri yama sayısı değiştirilerek elde edilmiştir. ViT-H modeli yani daha büyük model ise RTX-2080-TI ekran kartında çalışmadığı için yani en düşük küme boyutu 1 seçilmesine rağmen GPU yetersiz kaldığından dolayı çalışmada kullanılmamıştır. Yine Tablo 1’de görüldüğü üzere MLP boyutu temel modelde 3072 iken, yüksek modelde ise 5120 gibi daha büyük bir boyuta çıkmıştır. Bilindiği üzere, büyük-ölçekli veri olması durumunda büyük modeller daha efektif sonuçlar sunmaktadır.

Çizelge 1. Görü transformatör modellerine ait veriler

Model	Katman sayısı	MLP boyutu	Gizli katman	Parametre sayısı (M)
ViT-B	12	3072	768	86
ViT-L	24	4096	1024	307
ViT-H	32	5120	1280	632

Veri seti

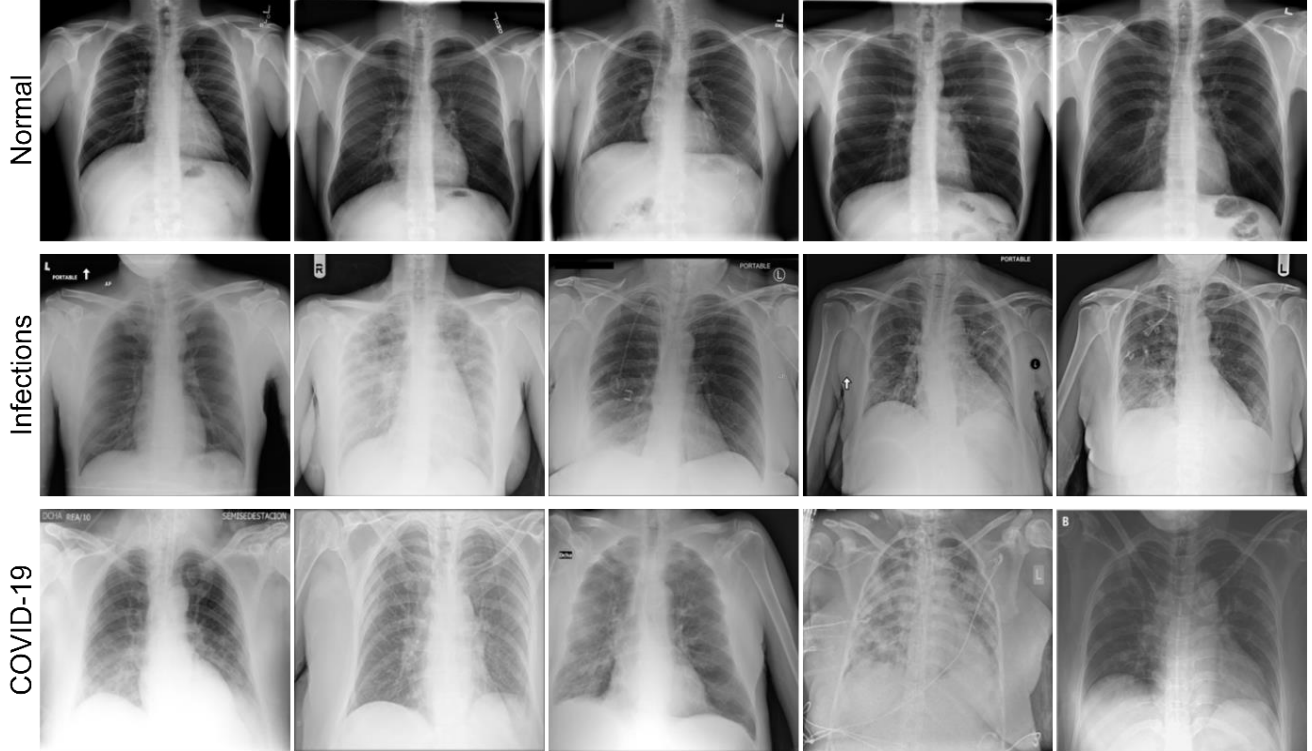
Bir derin öğrenme mimarisinin istenilen başarıyı göstermesinde kuşkusuz ki veri setinin önemi tartışılmaz bir mahiyettedir. Klasik makine öğrenimi yaklaşımları elle öznitelik çıkarması ve küçük verilere odaklanırken, derin öğrenme mimarilerinde veri setinin büyük ölçekli olması ve özniteliklerin otomatik çıkartılması iki yaklaşım arasındaki en ciddi farkların başında gelmektedir. Son yıllarda hastane ve araştırma merkezlerinde artan tıbbi görüntüler derin öğrenmenin tıbbi görüntü işleme en etkili yöntem olmasını sağlamıştır çünkü derin öğrenme mimarilerinde doğasında veriye aç bir öznitelik bulunmaktadır. Bu çalışmada, halka açık COVID-19 veri seti kullanılarak deneysel sonuçların ve tartışmanın daha objektif olması amaçlanmıştır. Literatürde halka açık birkaç veri seti olmasına rağmen, ortak bir değerlendirme kurallarının olmamasıdır. Bu durumu göz önüne aldığımızda, COVID-QU-Ex (Tahir ve ark., 2021) hem ortak bir değerlendirme kuralı içermektedir hem de eğitim, validasyon ve test klasörlerinin kendine ait X-ışını görüntüleri bulunmaktadır. Böylece, eğitilip test edilen modelin gerçek başarıyı test verisi üzerinde değerlendirilebilecek hem de diğer güncel yöntemlerle başarıyı karşılaştırılabilecektir. Bu veri setine ait görüntülerin eğitim, validasyon ve test verisine ait detayları Tablo 2’de gösterilmektedir.

Çizelge 2. COVID-QU-Ex veri setine ait detaylar

Sınıf Tipi	Eğitim setindeki görüntü sayısı	Doğrulama setindeki görüntü sayısı	Test setindeki görüntü sayısı
COVID-19	7658	1903	2395
COVID dışı enfeksiyon (viral veya bakteriyel pnömoni)	7208	1802	2253
Normal (sağlıklı)	6849	1712	2140

COVID-QU-Ex veri setinde derin öğrenme yaklaşımlarının eğitim ve değerlendirme görüntüleri önceden ayrılmış olarak gelmektedir. Böylesi bir durumun en büyük avantajı, çalışmanın diğer çalışmalarda kolay bir şekilde karşılaştırılabilir olması ve modelin gerçek performansının ölçülebilir olmasıdır. COVID-QU-Ex veri seti farklı veri setlerinden alınan görüntülerin oluşan ve genişletilmiş

halka açık bir veri setidir. Bu veri setinde 11.956 COVID-19 vakası, 11.263 COVID dışı enfeksiyon (viral veya bakteriyel pnömoni) vakası ve 10.701 Normal (sağlıklı) vaka bulunmaktadır. Tablo 1’den de görüleceği üzere, eğitim, validasyon ve test verilerindeki sınıf dağılımları iyi bir şekilde ayarlanmış ve herhangi bir veri dengesizliği (data imbalance) bulunmamaktadır. Böylece, model veri setindeki her bir sınıfı daha iyi bir şekilde öğrenmeye çalışacak, herhangi bir sınıfa yönelme durumu azalacaktır. COVID-QU-Ex veri setindeki rastgele alınmış bazı örnek görüntüler Şekil 2’de gösterilmiştir.

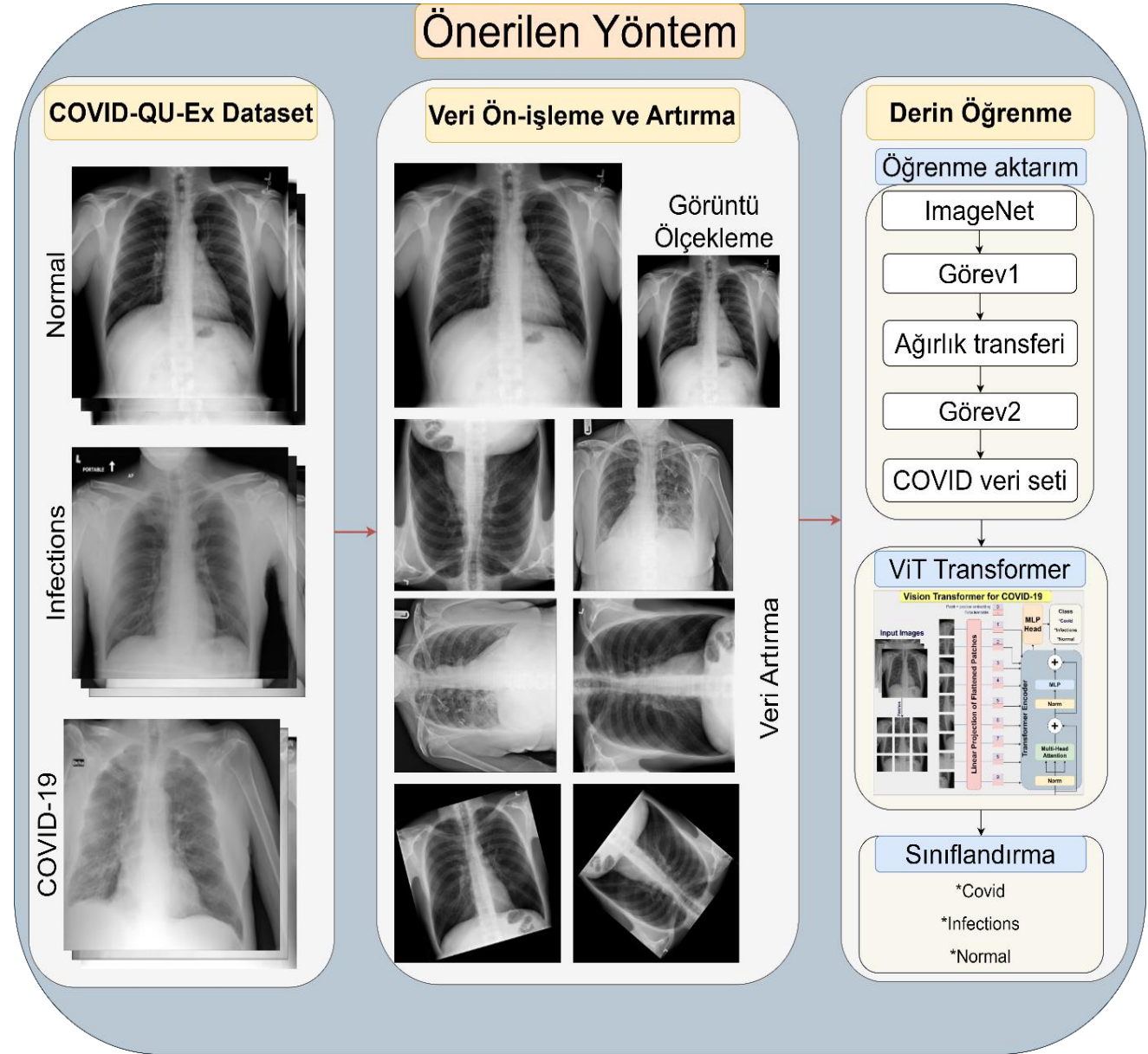


Şekil 2. COVID-QU-Ex veri setindeki sınıflara ait bazı örnek görüntüler

Önerilen Yöntem

COVID-19 hastalığının otomatik bir şekilde tespit edilmesi için önerilen sistem temelde üç parçadan oluşmaktadır. Şekil 3, önerilen sistemin temel bileşenlerini göstermektedir. Derin öğrenme yöntemlerinin medikal görüntü işlemedeki başarısını göğüs röntgen görüntülerine uyarlayarak daha efektif bir sistem önerilmiştir. Üç parçadan oluşan derin öğrenme tabanlı bu sistemin ilk parçasını veri seti birimi oluşturmaktadır. 33920 görüntüden oluşan veri seti derin öğrenme yaklaşımları için ideal bir veri setidir. Ayrıca her sınıf başına 10000’den fazla görüntü düştüğü ve veri dengesizliğinin olmaması ile beraber oldukça etkili bir veri setidir denilebilir. Veri setinden sonraki birim ise veri ön-işleme ve veri artırma tekniklerinin beraber olduğu birimdir. Bu birimde temel amaç veri setindeki görüntülerin aynı boyuta indirgenmesi ve bazı temel veri artırma tekniklerinin uygulanmasıdır. Veri setindeki görüntü sayısı yeterli olduğu için eğitim esnasında çevirme, döndürme ve kaydırma gibi en temel veri artırma teknikleri uygulanmıştır. Büyük ölçekli veri setlerinde veri artırma çok etkili olmasa da başarıya katkısı olurken, küçük ölçekli ve çeşitliliğin az olduğu veri setlerinde ise veri artırma oldukça etkilidir. Önerilen yöntemin son birimini ise derin öğrenme yaklaşımlarının olduğu birimdir. Bu birimde öğrenme aktarımı ve sınıflandırma için görü transformatörü yer almaktadır. Transfer öğrenme ya da öğrenme aktarımı bir alanda eğitilen bir modelin ağırlıklarının farklı bir alan için kullanılması yani ağırlıkların aktarılması işlemidir. Bu çalışmada, ImageNet (Russakovsky ve ark., 2015) veri seti üzerinde eğitilen görü transformatörlerin ağırlıkları COVID-19 veri seti için kullanılmıştır. Öğrenme aktarımı özellikle küçük ölçekli veri setlerinde çok ciddi performans sağlar. Bu veri setimizde hem performansa hem de yakınsamanın sıfırdan eğitime göre daha hızlı olmasını sağlamıştır. Öğrenme aktarımında sonra

sınıflandırma için görü transformatörleri kullanıldı. Bu mimari materyal ve metot kısmında detaylıca anlatılmıştır. Ayrıca, önerilen yöntemin karşılaştırılabilir bir düzeyde olması için temel başlangıç hiperparametreleri kullanılmıştır. Yani, optimize edici için SGD, öğrenme adımı 0.001 ve 0.9 momentum oranı kullanılmıştır. Daha önce belirtildiği üzere veri artıma için ise en temel teknikler kullanılmıştır.



Şekil 3. Önerilen yöntemin genel bir yapısı

BULGULAR VE TARTIŞMA

Uygulama detayları

Derin öğrenme algoritmalarının başarılı bir şekilde eğitim gerçekleştirmesi GPU tabanlı bilgisayardan oluşması gereklidir. GPU'lar içerisindeki CUDA çekirdekleri sayesinde paralel işlem yapabilme ve tensör işlemlerini CPU'ya göre daha hızlı bir şekilde yapabilme kabiliyetlerine sahiptirler. Bu çalışmamızda gerçekleştirilen deneyler şu donanımlara sahip bir bilgisayardan oluşmaktadır. İşletim sistemi olarak Linux tabanlı Ubuntu 22.04, GPU donanımı olarak, NVIDIA RTX 2080TI (11 GB GDDR6 ve 4352 CUDA çekirdekli) grafik kartı, Intel Core i9 9900X (10 çekirdekli 3.50 GHz, 19.25 MB Intel® Smart Önbellek) işlemci ve son olarak ise 32 GB DDR4 RAM'dan oluşmaktadır. Programlama dili olarak Python, derin öğrenme çerçevesi olarak PyTorch kullanılmıştır.

Değerlendirme metrikleri

Başarım metrikleri bir modeli birçok farklı açıdan değerlendirmeye çalışır. Nesne sınıflandırma algoritmaları ya da mimarilerinde genellikle doğruluk, kesinlik, duyarlılık ve F1-skoru gibi en temel metrikler yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu metriklerin hesaplanmasında ise doğru pozitif, doğru negatif, yanlış pozitif ve yanlış negatif değerlerinin bilinmesi ile elde edilir. Bu değerler genelde karışıklık matrisinin de temelini oluşturur. Doğru pozitif gerçekte pozitif sınıfta yer alan ve doğru bir şekilde tahmin edilen kısımları oluşturur. Doğru negatif ise aynı şekilde negatif sınıfta yer alan ve doğru tahminin yapıldığı durumu gösterir. Yanlış pozitif gerçekte pozitif sınıfın yanlış bir şekilde tahmin edildiği durum iken, yanlış negatif ise modelin yanlış sınıfı tahmin ettiği durumu gösterir. Doğruluk, doğru tahminlerin toplam tahmin sayısına oranını ifade eder. Kesinlik doğru pozitif tahminlerin toplam pozitif tahminlere olan oranını vermektedir. Duyarlılık metriği olarak da bilinen Geri Çağırma, belirli bir gerçek sınıftaki doğru pozitif tahminlerin toplam tahminlere oranını vermektedir. F1-skoru ise kesinlik ve duyarlılık metriklerinin arasındaki ağırlıklı ortalamanın sonucunda elde edilir. Bu metriklerin matematiksel hesaplamaları şu şekilde formülize edilmiştir.

$$\text{Doğruluk} = \frac{\text{Doğru tahmin sayısı}}{\text{Toplam tahmin sayısı}} \quad (8)$$

$$\text{Kesinlik} = \frac{\text{Doğru pozitif}}{\text{Doğru pozitif} + \text{Yanlış pozitif}} \quad (9)$$

$$\text{Duyarlılık} = \frac{\text{Doğru pozitif}}{\text{Doğru pozitif} + \text{Yanlış negatif}} \quad (10)$$

$$\text{F1 - skor} = \frac{2 * \text{Kesinlik} * \text{Duyarlılık}}{\text{Kesinlik} + \text{Duyarlılık}} \quad (11)$$

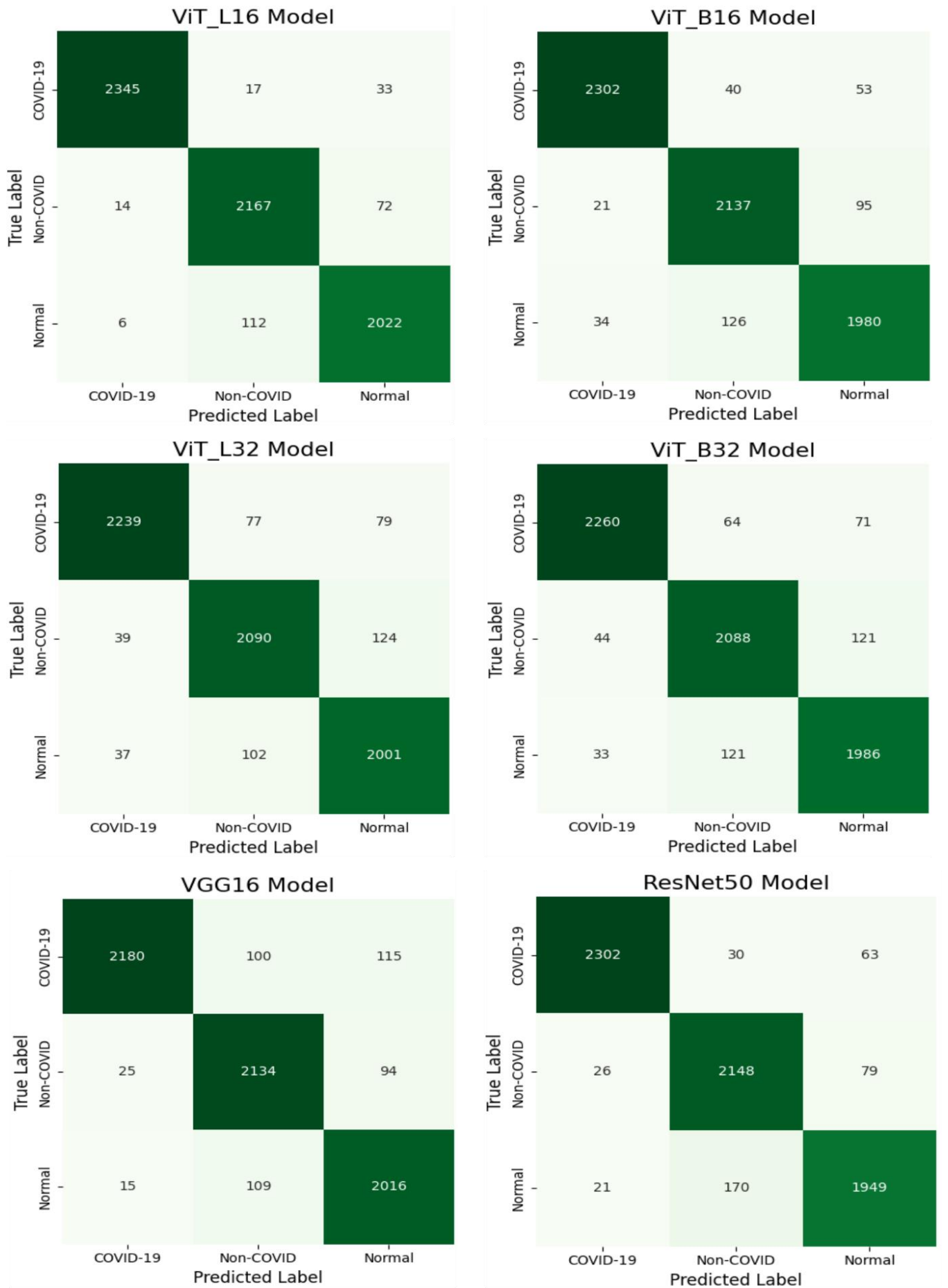
Deneysel sonuçlar

Yapılan deneysel çalışmada, her bir modelin başlangıç değerleri kullanılarak eğitim ve değerlendirme gerçekleştirilmiştir. Transformatör modellerinin başarımını CNN modelleriyle karşılaştırmak için VGG (Simonyan ve Zisserman, 2015) ve ResNet (He ve ark., 2016) modellerine ait deneysel sonuçlar da çalışmaya eklenmiştir. Modellerin eğitimi için öğrenme adımı 0.001, momentum 0.9, optimize edici için SGD ve eğitimdeki görüntü boyutu olarak ise 224x224 kullanıldı. Böylece, herhangi bir hiper-parametre optimizasyonu olmadan modellerin birbirlerine göre başarımları daha objektif bir şekilde karşılaştırılmış olmaktadır.

Şekil 4, çalışmada kullanılan her bir modele ait karışıklık (hata) matrisini göstermektedir. Karışıklık matrisinin x eksenini tahmin edilen sınıfı (predicted label), y eksenini gerçek sınıfı (True Label) göstermektedir. Karışıklık matrisi sayesinde her bir sınıfa ait doğru ve yanlış pozitif ve negatif değerleri görmemize ve böylece daha iyi bir gözlem yapma olanağı sunar. Tablo 3 ise her bir modele ait deneysel sonuçları göstermektedir.

Çizelge 3. Eğitilen modellerin test verisi üzerindeki başarımını gösteren metrik değerleri

Model	Doğruluk	Kesinlik	Duyarlılık	F1-skor
VGG16	0.9325	0.9329	0.9332	0.9331
ResNet50	0.9427	0.9423	0.9418	0.9421
ViT-B16	0.9456	0.9450	0.9450	0.9450
ViT-B32	0.9331	0.9325	0.9328	0.9327
ViT-L16	0.9626	0.9620	0.9619	0.9620
ViT-L32	0.9325	0.9321	0.9325	0.9323



Şekil 4. Çalışmada uygulanan her bir modele ait karışıklık matrisi

Tablo 3 incelendiğinde, bütün modellerinin başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmektedir. CNN tabanlı yaklaşımlardan olan VGG16 ve ResNet50'in metrik değerlerine bakıldığında, ResNet50'nin daha başarılı olduğu görülmektedir. Diğer taraftan, transformatör tabanlı modellerin CNN yaklaşımlarına göre daha başarılı olduğu görülmektedir. ViT temel modeli (ViT-B16), ViT büyük modeline (ViT-L16) göre daha az başarı sunmaktadır. Bunun temel nedeni her bir modelin farklı veri setleri üzerindeki başarısının farklılık göstermesidir ve ayrıca COVID veri setinin büyük ölçekli olmasından dolayı, büyük modellerin daha yüksek bir başarı sunmasıdır. Yani, ViT-L (large) modeli düşük yama boyutu olan 16 ile daha yüksek doğruluk sunmaktadır. Yine Tablo 3 incelendiğinde, ViT-B ve ViT-L modelleri kendi içerisinde karşılaştırıldığında yama boyutu 16 olan (patch = 16) olan modellerin yüksek yama yani 32'ye göre daha yüksek bir doğruluk sunduğu görülmektedir. Genel olarak özetlenirse, COVID-19 veri seti için düşük yamaya sahip modeller daha başarılı sonuçlar sunmuştur. ViT-L32 modeli diğer bütün modellere kıyasla en düşük başarıyı verdiği görülürken ViT-L16 modeli ise en yüksek başarıyı sunarken, diğer taraftan CNN tabanlı VGG16 ise ViT-L32'ye sonra en düşük doğruluğu sunmaktadır. Ayrıca VGG16 ve ViT-L32 modellerinin başarıyı aynıdır denilebilir çünkü F1-skoru ve doğruluk değerleri neredeyse aynıdır. Metrik bazında bakıldığında, doğruluk, kesinlik, hatırlama ve F1-skor gibi metriklerin hepsinde ViT-L16 modeli çok daha yüksek ve büyük bir farkla diğer modellere göre daha yüksek bir başarı sunmuştur.

Şekil 4 incelendiğinde, ViT-L16 modelinin diğer modellere kıyasla çok daha başarılı bir sınıflandırma gerçekleştirdiği görülmektedir. Toplamda 6788 tane test görüntüsü içeren bu veri setinde, ViT-L16 modeli toplamda 6537 tane test görüntüsü doğru tespit ederken 254 tane görüntüyü ise yanlış sınıflandırmıştır. Sınıf bazında bakıldığında, COVID-19 sınıfı enfeksiyon ve normal sınıfa göre daha iyi tespit edilmiştir. Aynı zamanda, diğer modeller bazında da en iyi tespit edilen sınıf COVID-19 sınıfıdır. Normal görüntülerden oluşan sınıf ise diğer sınıflara nispeten daha az tespit edilmiştir. COVID-19 sınıfı dikkate alındığı, başarıyı en düşük model VGG16 modeli iken, enfeksiyon sınıfında ise en az tespit edilen sınıf ise 2088 doğru tespitle ViT-B32 modeli olmuştur. Kısaca özetlemek gerekirse, ViT-L16 modeli bütün sınıflarda ve metriklerde en yüksek başarıyı elde ederken, VGG16 ise en düşük başarıyı göstermiştir. Sonuç olarak COVID-QU-Ex gibi büyük ölçekli bir veri setinde 16 yama ile büyük görü transformatör modelleri CNN modellerine kıyasla daha başarılı bir sınıflama gerçekleştirmiştir.

SONUÇ

Koronavirüs hastalığı (COVID-19) tüm dünyadaki toplumlarda çok hızlı yayılmış ve çok yüksek ölüm oranlarına ulaşmış ölümcül bir hastalıktır. Tıbbi görüntüleme tekniklerinin bu hastalığın ilerleyişinde ve teşhisinde en etkin araç olduğu kanıtlanmıştır. Derin öğrenme COVID-19 teşhisinde oldukça başarılı sonuçlar vermiş ve bu konu üzerine birçok çalışma sunulmuş. Akciğer röntgen görüntüleri COVID-19 teşhisinde kullanılan en hızlı ve ekonomik görüntüleme tekniğidir. Bu çalışmada, derin öğrenme yaklaşımlarının son günlerde en popüler yaklaşımı olan görü transformatör mimarisi COVID-19'un daha etkin bir şekilde teşhisi için uygulanmıştır. Görü transformatörleri halka açık yeni ve popüler bir veri seti olan COVID-QU-Ex ile eğitilmiş ve değerlendirilmiştir. Deneysel çalışmalarda ViT-L16 modelinin hem CNN hem de diğer transformatör modellerine kıyasla çok daha yüksek başarı gösterdiği gözlemlenmiştir. Böyle güçlü modellerin klinik ortama aktarılması ve yaygın bir şekilde kullanılması teşhisin daha erken bir şekilde ve sağkalım oranında artış sağlayacağı öngörülmektedir. Bir sonraki çalışmalarda, özellikle yeni görü transformatör modellerinin COVID-19 teşhisi ya da akciğer enfeksiyon teşhisi için yapılandırılmış mimarileri ele alınıp performansları değerlendirilecektir.

KAYNAKLAR

- Abdul Gafoor, S., Sampathila, N., Madhushankara, M., & Swathi, K. S. (2022). Deep learning model for detection of COVID-19 utilizing the chest X-ışını images. *Cogent Engineering*, 9(1). <https://doi.org/10.1080/23311916.2022.2079221>
- ADEM, K., & KILIÇARSLAN, S. (2021). COVID-19 Diagnosis Prediction in Emergency Care Patients using the Convolutional Neural Network. *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering*, 21, 300–309. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.788898>
- Alici-Karaca, D., Akay, B., Yay, A., Suna, P., Nalbantoglu, O. U., Karaboga, D., ... Baran, M. (2022). A new lightweight convolutional neural network for radiation-induced liver disease classification. *Biomedical Signal Processing and Control*, 73. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2021.103463>
- ARI, D., & ALAGÖZ, B. B. (2021). A Review of Genetic Programming Popular Techniques, Fundamental Aspects, Software Tools and Applications. *Sakarya University Journal of Science*. <https://doi.org/10.16984/saufenbilder.793333>
- Bayat, S., & Işık, G. (2022). Recognition of Aras Bird Species From Their Voices With Deep Learning Methods. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 12(3): 1250 - 1263.
- Bhattacharyya, A., Bhaik, D., Kumar, S., Thakur, P., Sharma, R., & Pachori, R. B. (2022). A deep learning based approach for automatic detection of COVID-19 cases using chest X-ışını images. *Biomedical Signal Processing and Control*, 71. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2021.103182>
- Burukanlı, M., Çibuk, M., & Budak, Ü. (2021). Saldırı Tespiti için Makine Öğrenme Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Analizi Comparative Analysis of Machine Learning Methods for Intrusion Detection. In *BEU Journal of Science* (Vol. 10).
- Bülbül, M. A., & Öztürk, C. (2022). Optimization, modeling and implementation of plant water consumption control using genetic algorithm and artificial neural network in a hybrid structure. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 47(2), 2329-2343.
- Ciotti, M., Ciccozzi, M., Terrinoni, A., Jiang, W. C., Wang, C. bin, & Bernardini, S. (2020). The COVID-19 pandemic. *Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences*, pp. 365–388. Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/10408363.2020.1783198>
- Cleverley, J., Piper, J., & Jones, M. M. (2020, July 16). The role of chest radiography in confirming covid-19 pneumonia. *The BMJ*, Vol. 370. BMJ Publishing Group. <https://doi.org/10.1136/bmj.m2426>
- Deb, S. D., Jha, R. K., Jha, K., & Tripathi, P. S. (2022). A multi model ensemble based deep convolution neural network structure for detection of COVID19. *Biomedical Signal Processing and Control*, 71. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2021.103126>
- Dhiman, G., Chang, V., Kant Singh, K., & Shankar, A. (2022). ADOPT: automatic deep learning and optimization-based approach for detection of novel coronavirus COVID-19 disease using X-ışını images. *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, 40(13), 5836–5847. <https://doi.org/10.1080/07391102.2021.1875049>
- Dosovitskiy, A., Beyer, L., Kolesnikov, A., Weissenborn, D., Zhai, X., Unterthiner, T., ... Houlsby, N. (2020). *An Image is Worth 16x16 Words: Transformers for Image Recognition at Scale*. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/2010.11929>
- Fang, Y., Zhang, H., Xie, J., Lin, M., Ying, L., Pang, P., & Ji, W. (2020, August 1). Sensitivity of chest CT for COVID-19: Comparison to RT-PCR. *Radiology*, Vol. 296, pp. E115–E117. Radiological Society of North America Inc. <https://doi.org/10.1148/radiol.2020200432>

- Gulum, M. A., Trombley, C. M., & Kantardzic, M. (2021). A review of explainable deep learning cancer detection models in medical imaging. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(10). <https://doi.org/10.3390/app11104573>
- He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2016-Decem*, 770–778. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.90>
- Ibrahim, D. M., Elshennawy, N. M., & Sarhan, A. M. (2021). Deep-chest: Multi-classification deep learning model for diagnosing COVID-19, pneumonia, and lung cancer chest diseases. *Computers in Biology and Medicine*, 132, 104348. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2021.104348>
- Kanne, J. P., Bai, H., Bernheim, A., Chung, M., Haramati, L. B., Kallmes, D. F., ... Sverzellati, N. (2021, June 1). COVID-19 imaging: What we know now and what remains unknown. *Radiology*, Vol. 299, pp. E262–E279. Radiological Society of North America Inc. <https://doi.org/10.1148/radiol.2021204522>
- Karaman, A., Karaboga, D., Pacal, I., Akay, B., Basturk, A., Nalbantoglu, U., Sahin, O. (2022). Hyper-parameter optimization of deep learning architectures using artificial bee colony (ABC) algorithm for high performance real-time automatic colorectal cancer (CRC) polyp detection. *Applied Intelligence*. <https://doi.org/10.1007/s10489-022-04299-1>
- Karaman, A., Pacal, I., Basturk, A., Akay, B., Nalbantoglu, U., Coskun, S., Sahin, O., & Karaboga, D. (2023). Robust real-time polyp detection system design based on YOLO algorithms by optimizing activation functions and hyper-parameters with artificial bee colony (ABC). *Expert Systems with Applications*, 221. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.119741>
- Ozkok, F. O., & Celik, M. (2022). A hybrid CNN-LSTM model for high resolution melting curve classification. *Biomedical Signal Processing and Control*, 71, 103168. <https://doi.org/10.1016/J.BSPC.2021.103168>
- PACAL, İ. (2022). Deep Learning Approaches for Classification of Breast Cancer in Ultrasound (US) Images. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 1917–1927. <https://doi.org/10.21597/jist.1183679>
- Pacal, I., & Karaboga, D. (2021). A robust real-time deep learning based automatic polyp detection system. *Computers in Biology and Medicine*, 134. <https://doi.org/10.1016/J.COMPBIOMED.2021.104519>
- Pacal, I., Karaboga, D., Basturk, A., Akay, B., & Nalbantoglu, U. (2020). A comprehensive review of deep learning in colon cancer. *Computers in Biology and Medicine*, 126. <https://doi.org/10.1016/J.COMPBIOMED.2020.104003>
- Pacal, I., Karaman, A., Karaboga, D., Akay, B., Basturk, A., Nalbantoglu, U., & Coskun, S. (2022). An efficient real-time colonic polyp detection with YOLO algorithms trained by using negative samples and large datasets. *Computers in Biology and Medicine*, 141. <https://doi.org/10.1016/J.COMPBIOMED.2021.105031>
- Pascarella, G., Strumia, A., Piliago, C., Bruno, F., del Buono, R., Costa, F., ... Agrò, F. E. (2020a, August 1). COVID-19 diagnosis and management: a comprehensive review. *Journal of Internal Medicine*, Vol. 288, pp. 192–206. Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1111/joim.13091>
- Pascarella, G., Strumia, A., Piliago, C., Bruno, F., del Buono, R., Costa, F., ... Agrò, F. E. (2020b, August 1). COVID-19 diagnosis and management: a comprehensive review. *Journal of Internal Medicine*, Vol. 288, pp. 192–206. Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1111/joim.13091>

- Revel, M.-P., Parkar, A. P., Prosch, H., Silva, M., Sverzellati, N., Gleeson, F., & Brady, A. (n.d.). *COVID-19 patients and the radiology department-advice from the European Society of Radiology (ESR) and the European Society of Thoracic Imaging (ESTI)*. <https://doi.org/10.1007/s00330-020-06865-y>/Published
- Russakovsky, O., Deng, J., Su, H., Krause, J., Satheesh, S., Ma, S., ... Fei-Fei, L. (2015). ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge. *International Journal of Computer Vision*, 115(3), 211–252. <https://doi.org/10.1007/s11263-015-0816-y>
- Sedik, A., Hammad, M., Abd El-Samie, F. E., Gupta, B. B., & Abd El-Latif, A. A. (2022). Efficient deep learning approach for augmented detection of Coronavirus disease. *Neural Computing and Applications*, 34(14), 11423–11440. <https://doi.org/10.1007/s00521-020-05410-8>
- Simonyan, K., & Zisserman, A. (2015). Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. *3rd International Conference on Learning Representations, ICLR 2015 - Conference Track Proceedings*, 1–14.
- Subramanian, N., Elharrouss, O., Al-Maadeed, S., & Chowdhury, M. (2022, April 1). A review of deep learning-based detection methods for COVID-19. *Computers in Biology and Medicine*, Vol. 143. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.compbimed.2022.105233>
- Tahir, A. M., Chowdhury, M. E. H., Khandakar, A., Rahman, T., Qiblawey, Y., Khurshid, U., ... Hamid, T. (2021). COVID-19 infection localization and severity grading from chest X-ray images. *Computers in Biology and Medicine*, 139. <https://doi.org/10.1016/j.compbimed.2021.105002>
- Wang, J., Zhu, H., Wang, S. H., & Zhang, Y. D. (2021). A Review of Deep Learning on Medical Image Analysis. *Mobile Networks and Applications*, 26(1), 351–380. <https://doi.org/10.1007/s11036-020-01672-7>
- Wang, T., Lei, Y., Fu, Y., Wynne, J. F., Curran, W. J., Liu, T., & Yang, X. (2021). A review on medical imaging synthesis using deep learning and its clinical applications. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 22(1), 11–36. <https://doi.org/10.1002/acm2.13121>
- Xie, X., Zhong, Z., Zhao, W., Zheng, C., Wang, F., & Liu, J. (2020). Chest CT for Typical Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Pneumonia: Relationship to Negative RT-PCR Testing. *Radiology*, 296(2), E41–E45. <https://doi.org/10.1148/radiol.2020200343>

Atf İçin: Veziroglu, E., Pacal, I. ve Coskuncay, A. (2023). Derin Evrişimli Sinir Ağları Kullanılarak Pirinç Hastalıklarının Sınıflandırılması. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 792-814.

To Cite: Veziroglu, E., Pacal, I. & Coskuncay, A. (2023). Classification Of Rice Diseases Using Deep Convolutional Neural Networks. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 792-814.

Derin Evrişimli Sinir Ağları Kullanılarak Pirinç Hastalıklarının Sınıflandırılması

Erkan VEZİROGLU^{1*}, Ishak PACAL², Ahmet COSKUNCAY¹

Öne Çıkanlar:

- Bitki hastalığı sınıflandırması
- Pirinç hastalığı tespiti
- Evrişimli sinir ağları

Anahtar Kelimeler:

- Bitki hastalığı sınıflandırması
- Pirinç hastalığı tespiti
- Evrişimli sinir ağları
- Derin öğrenme
- Öğrenme aktarımı

ÖZET:

Çeltik, temel bir gıda kaynağıdır ve endüstride sıkça kullanılan nadir bitkilerden biridir. Çeltik yaprak hastalıklarının erken teşhisi, ekin hasarını en aza indirmek için büyük önem taşımaktadır. Son yıllarda, derin öğrenme tabanlı bilgisayar destekli sistemler, ziraat sektöründe oldukça önem kazanmış ve çeşitli uygulamalarda etkin rol almıştır. Bu sistemler, hastalıkların erken teşhis edilmesine yardımcı olmakla kalmayıp, aynı zamanda tarım alanında çalışanlara da ikincil bir yardımcı olarak katkı sağlamaktadır. Bu çalışma, çeltik yapraklarında bulunan hastalıkların erken teşhisinde derin öğrenme yöntemlerinin etkinliğini araştırmayı amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda, VGG, ResNet, DenseNet, EfficientNet, Inception ve Xception gibi en popüler evrişimsel sinir ağları (CNN), halka açık Paddy Doctor veri seti üzerinde değerlendirilmiştir. Her bir modele, veri ön işleme, veri artırma, hiper-parametre optimizasyonu ve öğrenme aktarımı gibi güncel teknikler uygulanarak test setindeki teşhis doğruluğunun başarıyı artırılmıştır. Ayrıca her bir mimarideki modellerin birbirine ve diğer mimarilerdeki modellere göre çeltik yapraklarındaki hastalıkların teşhisindeki başarımları detaylı bir şekilde karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar, EfficientNetv2_Small modelinin %98.01 test doğruluğu ve %97.99 F1-skor değerleriyle tüm modellerden daha iyi performans sergilediğini ve literatürdeki diğer çalışmaları geride bıraktığını göstermiştir. Bu çalışma, CNN mimarilerinin yüksek bir performans gösterdiğini ve bu tür hastalıkların erken teşhisinde ziraat mühendislerine ve çiftçilere etkili bir şekilde yardımcı olabileceğini göstermektedir.

Classification Of Rice Diseases Using Deep Convolutional Neural Networks

Highlights:

- Crop disease classification
- Rice disease detection
- Convolutional neural networks

Keywords:

- Crop disease classification
- Rice disease detection
- Convolutional neural networks
- Deep learning
- Transfer learning

ABSTRACT:

Rice is a primary food source and is one of the rare plants commonly used in industry. Early diagnosis of leaf diseases in rice is crucial to minimize crop damage. Recently, deep learning-based computer-aided systems have gained importance in the agricultural sector and have played an effective role in various applications. These systems not only help with early disease diagnosis but also serve as a secondary aid to those working in agriculture. This study aims to investigate the effectiveness of deep learning methods in the early diagnosis of diseases in rice leaves. To this end, the most popular convolutional neural networks (CNNs), such as VGG, ResNet, DenseNet, EfficientNet, Inception and Xception, were evaluated on the public Paddy Doctor dataset. Current techniques, such as data preprocessing, data augmentation, hyperparameter optimization, and transfer learning, were applied to each model to increase the diagnostic accuracy of the test set. Additionally, the success of each model in diagnosing diseases in rice leaves was compared in detail to other models. The experimental results showed that the EfficientNetv2_Small model performed better than all other models with a test accuracy of 98.01% and F1-score of 97.99%, outperforming other studies in the literature. This study demonstrates that CNN architectures perform well and can effectively assist agricultural engineers and farmers in the early diagnosis of such diseases.

¹ Erkan VEZİROGLU (Orcid ID: 0000-0002-3358-8467), Ahmet COSKUNCAY (Orcid ID: 0000-0002-7411-310X), Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye

² Ishak PACAL (Orcid ID: 0000-0001-6670-2169), İğdır Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İğdir, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Erkan VEZİROGLU, e-mail: catmaerkan@gmail.com

GİRİŞ

Küresel ekonominin en önemli alanlarından biri, insanlara gıda da dahil olmak üzere yaşamın temel gereksinimlerini sağlayan tarımdır. İnsan yaşamının devamı için tarımsal faaliyetler çok önemlidir (Malhi ve ark., 2021). Dünya nüfusunun 2050 yılına kadar 9 milyarı aşması beklendiğinden, gıda güvenliği ve sürdürülebilir tarım, dünya çapında büyük zorluklar haline gelmiştir (Tripathi ve ark., 2019). Sürdürülebilir ve akıllı tarım yöntemleri için bitki hastalıkları, haşereler ve diğer çevresel faktörlerin ürün verimi ve kalitesi üzerindeki etkisi önemli bir endişe kaynağıdır.

Tarımda otomatik algılama ve tanımlama yöntemleri kullanmanın bir dizi önemli avantajı vardır (Udotalapally ve ark., 2020). Tarımdaki araştırmacılar ve uygulayıcılar, yüksek kaliteli mahsul üretiminin sürdürülmesine yardımcı olan derin öğrenme yöntemlerini kullanarak bitki hastalıklarını daha etkili bir şekilde tanımlayabilir ve tedavi edebilir. Tedavilerin ve müdahalelerin hedefe yönelik uygulanması, pestisit kullanımının azaltılması ve nihai olarak mahsul veriminin ve kalitesinin iyileştirilmesi gibi mahsul yönetimi uygulamalarının iyileştirilmesi, bitki hastalıkları tespiti ve sınıflandırması için doğru ve etkili modellerin geliştirilmesiyle sağlanabilir (Waheed ve ark., 2020; An ve ark., 2022).

Yetiştiricilikte en önemli ve pratik ürün çeltiktir (pirinç bitkisi diğer adıyla). Tarımsal hasadın verimi, bir ülkenin ekonomisini büyütme üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Hastalıklar, haşereler ve çevre koşulları, mahsulün büyümesini ve verimini etkileyen değişkenlerden sadece birkaçıdır. Ürün kalitesini önemli ölçüde düşüren en önemli unsurlardan biri mahsul hastalığıdır (Martinelli ve ark., 2015; van Eeuwijk ve ark., 2019; Kaur ve Gautam, 2021). Bitkilerdeki yaprak enfeksiyonlarının tespit edilmesi, ürün verimindeki kayıpları azaltmaya yardımcı olabilir. Hastalıkları erken ve doğru teşhis etmek, bunları başlangıç aşamalarında kontrol etmenin en etkili yoludur. Başlangıçta, bitki yaprak hastalıklarını yaprak dokusu temel alarak teşhis etmenin tek yolu manuel kontrol yoluydu (Sethy ve ark., 2020b). Hastalık tespiti için eğitimli ve uzman kişilere ihtiyaç duyulmaktaydı ve bu işlem için harcanan zamanın çokluğu ve ürün verimindeki azalma nedeniyle daha etkili bir hastalık tespit yöntemi gerekmektedir.

Son yıllarda, araştırmacılar, verim tahmini, besin eksikliklerinin tanınması (Xu ve ark., 2011; Baresel ve ark., 2017; Tao ve ark., 2020), ürün boyutunun ölçülmesi (Liu ve ark., 2019) ve yabancı ot tespiti (Zhang ve ark., 2005; Asad ve Bais, 2020; Jiang ve ark., 2020; Liu ve Bruch, 2020; Ngugi ve ark., 2021; Mishra ve ark., 2022) gibi çeşitli sorunları ele almak için görüntü işleme ve bilgisayar görüşü teknolojilerini kullanmışlardır. Bitki yaprak hastalıklarının tanınması, tarım için önemli faydalar sağlamaktadır. Bununla birlikte, bu görev, tarım uygulamaları için sınırlı sayıda yapay zeka aracı bulunması nedeniyle hala sorunlu olmaya devam etmektedir (Strange ve Scott, 2005; Li ve ark., 2009; Islam ve ark., 2018; Zhu ve ark., 2018; Gautam, 2020).

Birçok araştırmacı, aşağıda ayrıntıları verildiği gibi makine öğrenimi teknikleri (Gautam, 2020), derin öğrenme ve hibrit teknikler (Yang ve ark., 2013; Ozguven ve Adem, 2019) ve öğrenme aktarımı teknikleri (Szegedy ve ark., 2015; Szegedy ve ark., 2016; Chen ve ark., 2020; Peng ve ark., 2020; Uğuz ve Uysal, 2021; Sharma ve ark., 2022) gibi farklı yapay zeka teknikleri kullanarak bu sorunu ele almıştır. En etkili hastalık tanımlayıcı Yapay Sinir Ağı (YSA) tasarımı, dört giriş seviyesi nöron (Gunawan ve ark., 2021), beş gizli seviye nöron ve bir çıkış seviyesi nörondan oluşmaktadır. Bu mimari farklı çeltik hastalıklarını tespit etmede %66.3 doğruluğa sahiptir.

Ozguven ve Adem (Ozguven ve Adem, 2019) tarafından güncellenmiş bir Hızlı R-Evrişimli Sinir Ağı (CNN) kullanılarak şeker pancarı yapraklarındaki hastalıklar sınıflandırılmış ve tespit edilmiştir. 155 görüntü ile eğitilen modelden %95.48 doğruluk elde edilmiştir. Soya yapraklarındaki

hastalıkları tespit etmek için, SoyNet adlı iki modüllü bir yaklaşım kullanılmış, öncelikle görüntülerin gizli kısımları segmente edilmiş, daha sonra derin öğrenme tabanlı el yapımı modeller kullanılmıştır (Karlekar ve Seal, 2020).

Önceden eğitilmiş derin öğrenme modelleri, PlantVillage veri kümesi kullanılarak domates yaprak hastalığını makul doğrulukla tespit etmek için kullanılmıştır (Rangarajan ve ark., 2018; Agarwal ve ark., 2020; Trivedi ve ark., 2021). Manyok yapraklarındaki hastalığı teşhis etmek için bir derin öğrenme tekniği kullanılmıştır (Sambasivam ve Opiyo, 2021). Başka bir çalışmada, lale yapraklarındaki hastalığı tespit etmek için derin bir evrişimli ağ kullanılmıştır (Polder ve ark., 2019). Ayrıca, darı bitkisinde hastalık tespiti için bir yaklaşım önerilmiştir (Coulibaly ve ark., 2019). Tespit oranını iyileştirmek için MobileNet ile birleştirilmiş derin işlemlerli CNN kullanılarak geliştirilmiştir. Exodus bilgisine sahip gelişmiş klasik modeller kullanılarak yaprak hastalığı %92 doğrulukla tespit edilmiştir (Kamal ve ark., 2019). Pirinç yaprağı hastalıklarını tanımlamak için iki aşamalı bir CNN mimarisi kullanılmış ve önerilen yöntem %93,3'lük bir doğruluk oranına ulaşmıştır (Hossain ve ark., 2020). Bir veri seti kullanılarak, bağlamsal olmayan görüntü meta verilerini dahil etmek için üç farklı CNN önerilmiştir. 79 farklı hastalığa sahip 14 bitkiyi dikkate alan ve daha iyi doğruluk sağlayan yaprak hastalıklarını belirlemek için görüntü sınıflandırmasına dayalı bir yöntem önerilmiştir (Arnal Barbedo, 2019). Ayrıca, PlantVillage veri seti, elma kara çürüklüğü hastalığının dört önemli aşamasını saptamak için kullanılmıştır (Kovalskaya ve Hammond, 2014; Wang ve ark., 2017).

Domates tarımında hastalıkları tanımlamak için üç adet evrişimli ve max-pooling katmanıyla birleştirilmiş bir sinir ağı (CNN) geliştirilmiştir. Deneysel sonuçlar, önerilen modelin VGG16, MobileNet ve InceptionV3 gibi önceden eğitilmiş modellere kıyasla rekabetçi bir performans gösterdiğini ortaya koymuştur ve önerilen modelin ortalama doğruluğu %91.2 olmuştur. Ayrıca, pirinç yapraklarındaki hastalıkları tanımlamak için bir görüntü işleme algoritması kullanılmıştır (Sladojevic ve ark., 2016).

Yaprakların ve lezyonların boyutu, lezyonların miktarı ve tipi, lezyonların renk özellikleri ve bozulmamış kesitler girdileri elde etmek için kullanılmıştır (Fuentes ve ark., 2017). Lezyonu tanımlamak ve kategorize etmek için derin evrişim tabanlı bir CNN modeli kullanılmış ve %96.43'lük bir doğruluk elde edilmiştir (Bhagawati ve ark., 2015). Çeltik çiftçileri için görüntüleri alan ve bunları hastalıktan etkilenecek ekin alanlarını belirlemek için derin bir öğrenme modeli kullanarak işleyen bir uygulamanın bir çalışma özetini sunulmuştur (Narmadha ve Arulvadivu, 2017; Atole ve Park, 2018; Chawathe, 2020).

CNN'lerin resimleri sınıflandırmadaki etkinliği, derin öğrenme tekniklerinin temelini oluşturmuştur (Vesela ve ark., 2020). Ayrıca, pirinç hastalıklarını tespit etmede basit bir CNN modelini eğitmek için ince ayar konseptine dayalı yeni bir iki aşamalı eğitim konsepti kullanılmıştır (Masood ve ark., 2020). Bununla birlikte, farklı girdi parametrelerinin doğruluğu değiştiğinden, hastalıkları tahmin etmek için sınıflandırma algoritmalarını kullanmak zordur. Bu yöntemler son yıllarda elma (Baranwal ve ark., 2019), çay (Karmokar ve ark., 2015) ve guava (Srinivas ve ark., 2021) gibi ürünlerde lezyonları görselleştirmek için kullanılmıştır. Goluguri ve arkadaşları (Goluguri ve ark., 2021) tarafından sıcaklık, bağıl nem, yağış ve rüzgar hızı gibi meteorolojik parametreler kullanılarak çeltik blast hastalığını tahmin etmek için bir sinir ağı geliştirilmiştir.

Birçok uygulama, yüksek sonuçlar elde etmek için derin öğrenme kullanmıştır. Çeltik yaprak hastalığını tespit etmek için nöro-fuzzy tabanlı bir yaklaşım kullanılmış ve %74.21 doğruluk elde edilmiştir (Kahar ve ark., 2015). Çeltik yaprak hastalığını belirlemek için hibrit bir yaklaşım kullanılmış ve %90 doğruluk sağlanmıştır (Htun ve Htwe, 2018; Ganesan ve Chinnappan, 2022). Bir ileri beslemeli sinir ağı, %88 doğrulukla yaprak hastalığını tanımlamak için kullanılmıştır (Akila ve

Deepan, 2018). Çeltik yaprak hastalıklarını tespit etmek için optimize edilmiş bir DNN ve Jaya algoritması kullanılmış ve ortalama %93.5 doğruluk elde edilmiştir (Ramesh ve Vydeki, 2020). ESforRPD2 adlı bir uzman sistem, çeltik yaprak hastalıklarını tespit etmek için geliştirilmiş ve %87.5 sınıflandırma doğruluğu oranı elde etmiştir (Agus ve ark., 2019). Yaprak hastalıklarını tanımak için radyal fonksiyonla çıkarılan ve işlenen hibrit özellikleri kullanan başka bir yaklaşım %83.34 doğruluk oranına ulaşmıştır (Verma ve Dubey, 2018).

Birincil bileşen analizi (PCA) ve sinir ağı tabanlı bir yaklaşım önerilmiş ve %95.83 doğrulukla bakteriyel hastalıkları tanımlamada başarılı olmuştur (Xiao ve ark., 2018). Bir parçacık sürü optimizasyonu (PSO) merkezli artımlı sınıflandırıcı, pirinç yapraklarında bakteri ve mantar enfeksiyonlarını tespit etmek için (Sengupta ve Das, 2017) önerilmiş ve %84.02 doğruluk oranı elde edilmiştir. Hiperspektral veriler, pirinçte mantar enfeksiyonunu tespit etmek için kullanılmış ve %82 doğruluk sağlanmıştır (Huang ve ark., 2012). Son olarak, bakteri ve mantar enfeksiyonlarını tespit etmek için desene bağımlı gürültü tahmini (PdNP) sistemi kullanılmış ve %85 doğruluk oranı elde edilmiştir (Yang ve ark., 2013).

Öğrenme aktarımı, önceden eğitilmiş modellerin performansını geliştirmek için bir başka görevde önceden öğrenilmiş bilginin kullanımına dayanır. Öğrenme aktarımına dayalı bir derin öğrenme modeli, eğitim verilerini önceden eğitilmiş bir ağdan kullanımı ile yaprak hastalıklarını %91.50 doğrulukla tahmin etmiştir (Chen ve ark., 2020). Büyük bir pirinç veri seti, bitki yaprak hastalığını tahmin etmek için kullanılmıştır (Sharma ve ark., 2022). Zeytin yaprak hastalığını tespit etmek için öğrenme aktarımına dayalı bir derin sinir ağı kullanılmış ve %88 doğruluk elde edilmiştir (Uğuz ve Uysal, 2021). Pirinç yaprağı veri seti ile yapılan bir başka çalışmada, öğrenme aktarımına dayalı bir makine öğrenimi yaklaşımı kullanılarak, yaprak hastalığı tespiti için daha iyi bir doğruluk oranı elde edilmiştir (Sharma ve ark., 2022). Yaprak hastalığını tespit etmek için bilgisayar görüşü teknikleri arasında, incelemeli bir ağ kullanılmıştır (Szegedy ve ark., 2015; Szegedy ve ark., 2016). Öğrenme aktarımına dayalı RestNet kullanılmış ve %84.3 doğruluk elde edilmiştir (Peng ve ark., 2020).

Derin öğrenme teknolojisi, yaprak sorunlarını tanımda yüksek bir başarı oranına sahiptir. Çeltik tarlalarında çalışılan çeltik hastalıkları arasında çeltik yaprağı patlaması, yalancı is, boyun patlaması, kılıf yanıklığı, bakteriyel şerit hastalığı ve kahverengi lekeler sayılabilir. Bu çalışmanın ana katkısı, çeltik yaprak hastalıklarının erken teşhisi için derin öğrenme yöntemlerinin etkinliğini araştırmaktır. Bu amaçla çeltik yapraklarında meydana gelen hastalıkların etkili bir şekilde teşhis edilmesi ve görüntü dönüştürücü modellerinin performansının karşılaştırılması için en popüler CNN modelleri kullanılmıştır. Bu modeller arasında yaygın kullanılan VGG, ResNet, DenseNet, EfficientNet, Inception ve Xception gibi 12 CNN modeli yer almaktadır.

Bu çalışma, çeltik yaprak hastalıklarını tespit etmek ve sınıflandırmak için yapılmış en kapsamlı çalışma özelliğine sahiptir. Çeltik yapraklarındaki farklı hastalık türlerinin tanımlanması ve bu hastalıkların benzer görüntülerinin ayrıştırılması çalışmayı zorlaştırmıştır. Bununla birlikte, veri kümesinin sınırlı sayıda örneği ve yüksek çözünürlüklü görüntülerin işlenmesindeki zorluklar da çalışmanın zorlukları arasındadır.

Genel olarak, çalışmamız bitki hastalıklarının sınıflandırılması için derin öğrenme yöntemlerinin kullanımını hakkındaki artan bilgi birikimine katkıda bulunmakta ve sürdürülebilir akıllı tarım uygulamaları için doğru hastalık tanımlamasının önemini vurgulamaktadır. Bu çalışmanın arkasındaki motivasyon, çiftçilere ve tarım uzmanlarına çeltik hastalıklarının doğru teşhisi ve sınıflandırılması için pratik ve etkili bir araç sunmaktır. Bu da ürün yönetimini geliştirebilir ve ürün verimliliğini artırabilir.

MATERYAL VE METOT

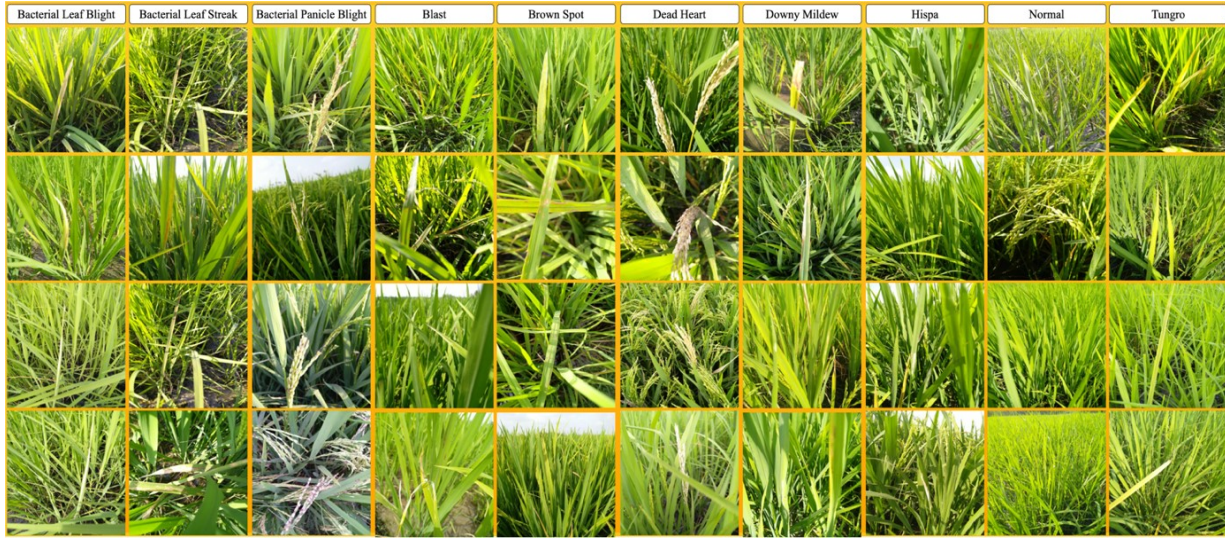
Veri Seti

Çeltik yapraklarındaki hastalıkları etkin bir şekilde tespit etmek amacıyla kullandığımız veri seti, halka açık bir veri seti olan Paddy Doctor (Kiruba ve Arjunan, 2023) veri setidir. Paddy Doctor veri seti, sağlıklı ve hastalıklı örnekler de dahil olmak üzere 10 hastalık sınıfına ait 10.407 yaprak görüntüsü içermektedir. Güncel ve yüksek çözünürlüklü Paddy Doctor veri seti: Bakteriye yaprak yanıklığı, bakteriye yaprak çizgisi, bakteriye salkım yanıklığı, blast, kahverengi benek, dead heart, tüylü küf, hispa, tungro ve normal sınıflarından oluşmaktadır ve bu sınıflara ait görüntü sayıları Tablo.1'de verilmiştir.

Tablo 1. Paddy Doctor Veri Kümesindeki Çeltik Hastalarına Ait Sınıfların İstatistiksel Verileri

Sınıf Adı (Çeltik Hastalığı)	Toplam (%100)	Eğitim (%70)	Doğrulama (%15)	Test (%15)
Bacterial Leaf Blight (BLB)	479	335	72	72
Bacterial Leaf Streak (BLS)	380	266	57	57
Bacterial Panicle Blight (BPB)	337	237	50	50
Blast	1738	1218	260	260
Brown Spot	965	675	145	145
Dead Heart	1442	1010	216	216
Downy Mildew	620	434	93	93
Hispa	1594	1114	240	240
Normal	1764	1234	265	265
Tungro	1088	762	163	163

Şekil 1, rastgele seçilmiş çeşitli Paddy Doctor veri setinden bazı çeltik geçiş örneklerini göstermektedir.



Şekil 1. Sağlıklı ve Hastalıklı Çeltik Yapraklarının Görüntüleri

Aşağıda, bu sistem için incelenen çeltik mahsulü hastalıklarının kısa bir özeti verilmiştir:

- 1. Bakteriye Yaprak Solgunluğu (Bacterial Leaf Blight (BLB)):** *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* bakterisi tarafından neden olunan ciddi bir hastalıktır. Çeltik yaprakların sararmasına ve kurummasına yol açarak büyümeyi ve verimi azaltır. BLB, enfekte tohumlar ve bitki artıkları aracılığıyla yayılır. Kontrol yöntemleri arasında dirençli çeşitlerin kullanımı, uygun tohum işlemi ve ürün rotasyonu yer alır (CM Vera Cruz, 2023).
- 2. Bakteriye Yaprak Lekesi (Bacterial Leaf Streak (BLS)):** Pirinç bitkilerinin yapraklarına ve yaprak kınına enfekte olan *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzicola* bakterisi tarafından neden olunur. Belirtiler, uzunlamasına su dolu lezyonları içerir ve sarıya dönüşür ve daha sonra kahverengiye dönüşür ve bitki ölümüne neden olabilir. BLS, enfekte tohumlar ve bitki artıkları aracılığıyla da

yayılır. Kontrol yöntemleri arasında dirençli çeşitlerin kullanımı ve bakterisit uygulaması yer alan bakır esaslıdır (Sparks, 2023a).

3. **Bakteriyel Başak Solması (Bacterial Panicle Blight (BPB)):** Pirinç bitkilerinin başaklarını etkileyen *Burkholderia glumae* bakterisi tarafından neden olunan bir bakteriyel hastalıktır. Belirtiler, başaklarda kahverengi lekelerdir ve bu da tahıl kalitesi ve veriminde azalmaya neden olur. BPB, enfekte tohumlar ve bitki artıkları aracılığıyla yayılır. Kontrol yöntemleri arasında dirençli çeşitlerin kullanımı, antibiyotikle tohum işlemi ve bakır esaslı bakterisit uygulaması yer alır (Ham ve ark., 2011).
4. **Blast:** Tüm pirinç bitkisini etkileyen *Magnaporthe oryzae* mantar hastalığıdır. Belirtiler, yapraklar, gövdeler ve başaklarda eliptik veya mızrak şeklinde lezyonları içerir ve bu da büyümeyi ve verimi azaltır. Blast, havada taşınan sporlar ve enfekte bitki artıkları aracılığıyla yayılır. Kontrol yöntemleri arasında dirençli çeşitlerin kullanımı, uygun tohum işlemi ve mantar ilacı uygulaması yer alır (Dean ve ark., 2012).
5. **Kahverengi Lekeler (Brown Spot):** Pirinç bitkilerinin yaprakları ve kılıflarını etkileyen *Cochliobolus miyabeanus* mantarı tarafından oluşturulur. Belirtileri, koyu kahverengi merkezleri ve sarı sınırları olan oval şekilli lezyonları içerir, bu da büyüme ve verimi azaltır. Kahverengi Lekeler, enfekte tohumlar ve bitki artıkları yoluyla yayılır. Kontrol önlemleri arasında dirençli çeşitlerin kullanımı, uygun tohum işlemi ve fungusit uygulaması yer alır (Zeigler ve Barclay, 2008).
6. **Ölü Kalp (Dead Heart):** Pirinç bitkilerinin büyüme noktalarını etkileyen BLB, BLS, BPB ve Blast gibi çeşitli hastalıkların belirtisidir. Genç yapraklar ve gövde öldüğünde, ölü bir kalbi andıran kahverengi, solmuş doku bırakır. Ölü Kalp, azalan büyüme ve verime neden olabilir ve çoğunlukla bakteriyel ve mantar hastalıklarından kaynaklanır. Kontrol önlemleri arasında dirençli çeşitlerin kullanımı, uygun tohum işlemi ve bitki sağlığını teşvik eden kültürel uygulamalar yer alır (Jena ve Kim, 2010).
7. **Tüylü Küf (Downy Mildew):** *Peronosclerospora oryzae* mantarı tarafından oluşturulur ve pirinç bitkilerinin yapraklarını etkiler. Belirtileri, yaprakların üst yüzeyinde sarımsı yeşil veya sarı lekeler ve alt yüzeyde beyaz veya gri lekeler içerir. Küf, azalan büyüme ve verime neden olabilir. Havada bulunan sporlar ve enfekte bitki artıkları yoluyla yayılır. Kontrol önlemleri arasında dirençli çeşitlerin kullanımı, uygun tohum işlemi ve fungusit uygulaması yer alır (Sujithra & Ukrit, 2020).
8. **Hispa:** *Diadisa armigera* böceği tarafından oluşturulan yaygın bir çeltik hastalığıdır. Bu böcekler, yapraklarda pencere benzeri delikler oluştururken, larvalar köklerde beslenerek büyümeyi ve verimi azaltır. Hispa, böcek göçleri ve enfekte bitki artıklarının hareketi yoluyla yayılır. Kontrol önlemleri arasında dirençli çeşitlerin kullanımı, zararlı böceğin doğal düşmanlarını teşvik eden kültürel uygulamalar ve insektisit uygulaması yer alır (Catindig, 2023).
9. **Tungro:** iki farklı virüs, Rice tungro bacilliform virüsü (RTBV) ve Rice tungro spherical virüsü (RTSV) tarafından neden olunan bir pirinç viral hastalığıdır. Belirtileri arasında gelişimin durması, yaprakların sararması, tahıl kalitesinde ve veriminde azalmalar bulunur. Tungro, enfekte bitkiler üzerinde beslenen yeşil yapraklı bir böcek olan yeşil yapraklı çekirge aracılığıyla yayılır ve sağlıklı bitkilere virüs bulaştırır. Kontrol önlemleri arasında dirençli çeşitlerin kullanımı, uygun tohum işlemi ve yeşil yapraklı çekirgelerin varlığını azaltan kültürel uygulamalar yer alır (Sparks, 2023b).

Derin Öğrenme Mimarileri

Derin öğrenme, doğal dil işleme, karar verme, görüntü tanıma ve konuşma tanıma gibi görevleri yerine getirmek için çok katmanlı sinir ağlarının eğitime odaklanan makine öğrenimi dallarından biridir (Karaman ve ark., 2023). Bu sinir ağları, insan beyninin bilgi işleme şeklini taklit etmeyi amaçlar ve

büyük eğitim veri setleri ve güçlü bilgisayar kaynakları kullanarak performanslarını zamanla artırmaya çalışırlar (Pacal ve ark., 2020). Yaygın derin öğrenme mimarileri arasında CNN'ler ve tekrarlayan sinir ağları (RNN'ler) yer alır ve bunlar otonom araçlar, konuşma tanıma, doğal dil işleme ve bilgisayar görüşü gibi uygulamalarda kullanılır. Derin öğrenme modelleri, büyük veri kümelerini analiz etmek için birbirine bağlı yapay sinir hücrelerini kullanır (Gündüz ve Işık, 2023). Geniş veri kümeleri üzerinde eğitilirler ve daha fazla veri eklenerek performansları sürekli olarak iyileştirilir. Popüler derin öğrenme çerçeveleri arasında TensorFlow, Keras ve PyTorch yer alır. CNN'ler, her katmanın girdi verilerinde giderek daha karmaşık desenleri tanımayı öğrendiği çok katmanlı sinir ağlarıdır. Girdi verilerini taramak ve özellikleri çıkarmak için filtreler kullanan evrişimli katmanların kullanımı, CNN'lerin ayırt edici özelliğidir. Bu katmanları takip eden özetleme katmanları, verinin mekânsal boyutunu azaltır ve tam bağlantılı katmanlar, çıkarılan özellikleri birleştirerek tahminler yapar.

Derin öğrenme modelleri

VGG mimarisi, Oxford Üniversitesi'ndeki Görsel Geometri Grubu tarafından geliştirilmiş bir CNN modelidir. Mimarisi evrişimsel, maksimum havuzlama ve birkaç tam bağlantı katmanlarından oluşan tutarlı bir yapıya sahiptir. Temel amacı görüntü tanıma ve sınıflandırmadır. VGG, ImageNet dahil olmak üzere çeşitli görüntü sınıflandırma testlerinde etkileyici sonuçlar göstermiştir ve diğer CNN'leri tasarlamak için bir temel olarak sıkça kullanılmaktadır (Simonyan ve Zisserman, 2014).

ResNet, derin ağlardaki yok olan gradyan problemiyle başa çıkmak için katmanlar arasında artık bağlantılar olarak da bilinen atlama bağlantıları kullanan bir CNN mimarisidir. Bu bağlantıların kullanımı, ağırlık fonksiyonlarını öğrenmesine olanak tanır ve ağırlık gradyanları öğrenip aktarmasını kolaylaştırır. ResNet, ImageNet veri kümesi de dahil olmak üzere çeşitli görüntü sınıflandırma işlemlerinde mükemmel sonuçlar göstermiş ve bilgisayar görüşü alanında yaygın bir mimari haline gelmiştir (He ve ark., 2016).

DenseNet, derin sinir ağlarında kaybolan gradyan problemini çözmeyi amaçlayan özel bir CNN tasarımıdır. Bu, her katmanın önceki tüm katmanlardan özellik haritalarını alması ve kendi özellik haritalarını tüm sonraki katmanlara ileterek yoğun bağlantılar oluşturmasıyla yapılır. Bu yoğun blok yapısı, güvenilir özellik iletimini sağlar ve parametrelerin verimli paylaşımına izin verir. DenseNet, çeşitli görüntü sınıflandırma kıyaslamalarında olağanüstü performans sergilemiş ve geniş bir bilgisayarlı görü denetimi uygulama yelpazesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Huang ve ark., 2017).

Xception, Inception mimarisine dayanan bir CNN tasarımı türüdür. Geleneksel evrişimli katmanlar yerine, Xception, bir standart konvolüsyonu bir derinlik bazlı konvolüsyon ve bir noktasal konvolüsyona ayıran derinlik bazlı ayrıştırılabilir konvolüsyonları kullanır. Bu yaklaşım, ağı tarafından gereken parametre ve hesaplamaların sayısını önemli ölçüde azaltırken aynı zamanda doğruluğu artırır. Xception, çeşitli görüntü sınıflandırma kriterlerinde olağanüstü sonuçlar göstermiş ve bilgisayarlı görü işleme uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Szegedy ve ark., 2015; Chollet, 2017).

VovNet veya VGG-style Oxford Visual Geometry Group Network (Oxford Görsel Geometri Grubu Ağı) genellikle derin öğrenme için kullanılan bir sinir ağı mimarisidir. İsmi, mimarisinin, 2014 yılında VGG ekibi tarafından geliştirilen VGG ağı mimarisine benzerliğinden dolayı almıştır. VovNet, CNN tabanlı bir mimariye sahiptir ve özellikle görüntü sınıflandırma, nesne tespiti ve segmentasyon gibi görsel görevler için tercih edilir. VovNet ayrıca, sınıf sayısının çok olduğu görsel sınıflandırma problemlerinde de yüksek performans gösterir (Lee ve ark., 2019).

MobileNet, derin öğrenme modeli için bir mimaridir ve özellikle mobil cihazlar gibi düşük güç tüketimine sahip cihazlarda kullanım için tasarlanmıştır. MobileNet, geleneksel derin sinir ağlarından

farklı olarak, hesaplama maliyetini azaltmak için özellik çıkarma işlemi sırasında düşük boyutlu filtreler kullanır. Bu sayede, model boyutu ve hesaplama yükü önemli ölçüde azaltılabilir ve mobil cihazlarda gerçek zamanlı uygulamalara olanak tanır. MobileNet, görüntü sınıflandırma, nesne tespiti ve yüz tanıma gibi görevlerde başarılı sonuçlar verir (Howard ve ark., 2017).

EfficientNet, Google tarafından 2019 yılında geliştirilen ve ImageNet veri kümesi üzerindeki görüntü sınıflandırma performansını büyük ölçüde artıran bir derin öğrenme modelidir. EfficientNet, önceki birçok görüntü sınıflandırma modelinin aksine, aynı anda birden fazla hiperparametreyi optimize etmek için bir ölçeklendirme yöntemi olan "Compound Scaling" kullanır. Bu, modelin hem daha az parametreye sahip hem de daha yüksek doğruluk sağlamasına olanak tanır. EfficientNet ayrıca, önceki modellere göre daha hafif bir yapıya sahip olmasına rağmen, "MobileNet" ve "ResNet" gibi diğer popüler modellere göre daha iyi bir performans gösterir. Bu nedenle, özellikle kaynak sınırlı cihazlar üzerinde görüntü sınıflandırma uygulamaları için idealdir (Tan ve Le, 2019).

Veri ön işleme ve artırma teknikleri

Görüntü ön işleme

Gerçek resim işlemeye başlamadan önce, veri kümesindeki görüntülerden toz, su damlacıkları ve gölgeler gibi gürültüleri çıkarmak, segmentasyon ve özellik çıkarma aşamalarında sorunların önüne geçmek için gereklidir (Nixon ve Aguado, 2019). Yakalanan fotoğraflar düşük kontrasta, arka plan gürültüsüne ve bulanıklığa sahip olabilir (Ebrahimi ve ark., 2017; Thomas ve Raj, 2021) ve bu nedenle görüntüler, sonraki analizler için bu aşamada ön işleme tabi tutulur.

- 1. Görüntü yeniden boyutlandırma:** Algoritmalarımıza verilen tüm görüntülerin hesaplama bellek gücünü azaltmak için standart bir boyuta sahip olması gerektiğinden, 224×224 piksel çözünürlüğe ölçeklendirilmişlerdir (Brownlee, 2019).
- 2. Görüntü filtreleme:** Görüntüler kaydedildiğinde, toz, kir ve çığ damlacıkları gibi kirleticiler içerebilirler (Brownlee, 2019). Bunu çözmek için, görüntüleri düzleştirmek ve Gauss gürültüsünü gidermek için bir Gauss filtresi kullanılır. Bu işlem, Gauss dağılımına dayanarak yakındaki piksellerin ağırlıklı ortalamasını hesaplar (Zeng ve Liu, 2013; Athiraja ve Vijayakumar, 2021). Ardından, bir düşük geçişli filtre çekirdeğiyle görüntü konvolüsyonu yapılır, bu da görüntünün bulanıklaşmasına ve gürültü ve kenar gibi yüksek frekans bileşenlerinin çıkarılmasına neden olur.
- 3. Kontrast artırma:** Farklı fotoğraf bölümleri, örneğin normal ve hastalıklı bölgeler gibi farklı kısımlar arasındaki ayrımı daha kolay hale getirmek için, fotoğrafların kontrastı kontrast artırma adı verilen bir teknik kullanılarak iyileştirildi (Athiraja ve Vijayakumar, 2021). Bu teknik, gri tonlamalı bir görüntü alınarak histogram eşitleme işlemi uygulanarak bir çıktı görüntüsü oluşturmayı içerir (Barbedo, 2016).

Veri artırma

Derin öğrenme için geniş miktarda veri gereklidir ve binlerce veya milyonlarca görüntüyü toplamak her zaman mümkün olmayabilir. Bu nedenle, aşırı öğrenmeyi önlemek için görüntü artırma kullanılır (Nagaraju ve Chawla, 2020; Pacal ve ark., 2022). Görüntü artırma, bir eğitim veri kümesinin boyutunu yapay olarak artırmak için veri kümesindeki görüntülerin değiştirilmiş versiyonlarının oluşturulmasını içeren bir tekniktir (Mikołajczyk ve Grochowski, 2018; Shorten ve Khoshgoftaar, 2019). Yeni veriler toplamak yerine, mevcut verileri değiştiririz. Görüntü artırma işlemleri arasında döndürme, kırpma, yakınlaştırma, çevirme ve parlaklık seviyesini değiştirme gibi işlemler yer alır (Khirade ve Patil, 2015; Nagaraju ve Chawla, 2020). Verilerimiz üzerinde gerçekleştirilen çeşitli artırma işlemleri aşağıdaki gibidir:

- 1. Döndürme:** Bir kaynak görüntü, nesnenin konumunu değiştirerek rastgele sayıda saat yönünde veya saat yönünün tersine döndürülür. Oluşturulan veriler, dönüş aralığı parametresi derece olarak belirtildiğinde +dönüş aralığı ile -dönüş aralığı arasındaki açıda rastgele olarak döndürülür.
- 2. Kesme:** Kesme dönüşümü uygulandığında, görüntü şekli eğik hale gelir. Bir eksen sabit tutulurken, diğer eksen kesme açısı olarak bilinen bir açıda gerilir, bu da görüntünün gerildiği görünümüne neden olur. Eğim derecesi, kesme aralığı kullanılarak belirtilebilir ve bu etki, görüntü döndürüldüğünde görünmez.
- 3. Yakınlaştırma:** Yakınlaştırma aralığını ayarlamak, görüntü üzerinde rastgele bir yakınlaştırma etkisi oluşturur. 1,0'dan küçük bir yakınlaştırma faktörü görüntünün boyutunu küçültürken, 1,0'dan büyük bir faktör boyutunu artırır.
- 4. Kırpma:** Eğitim verilerindeki nesnelere her zaman orijinal görüntüde görünür veya aynı ölçekte olmayabilir. Bu nedenle, rastgele kesme adı verilen bir veri artırma tekniği kullanılarak orijinal görüntünün rastgele bir alt kümesi oluşturulur.
- 5. Yatay ve dikey döndürme:** Bir görüntü yatay veya dikey olarak çevrildiğinde, yönü değişir. Dikey bir çevirme, görüntünün yatay olarak çevrilmeden önce 180 derece döndürülmesine eşdeğerdir.
- 6. Parlaklık seviyesini değiştirme:** Bir görüntünün parlaklığı rastgele olarak artırılarak veya azaltılarak veya her ikisi birden artırılarak geliştirilebilir. Parlaklık aralığı, parlaklık değişimi için rastgele seçilecek bir değerin aralığını belirtir. Bu, modelin farklı aydınlatma seviyelerine sahip görüntüler arasında daha iyi genelleme yapmasına yardımcı olur.

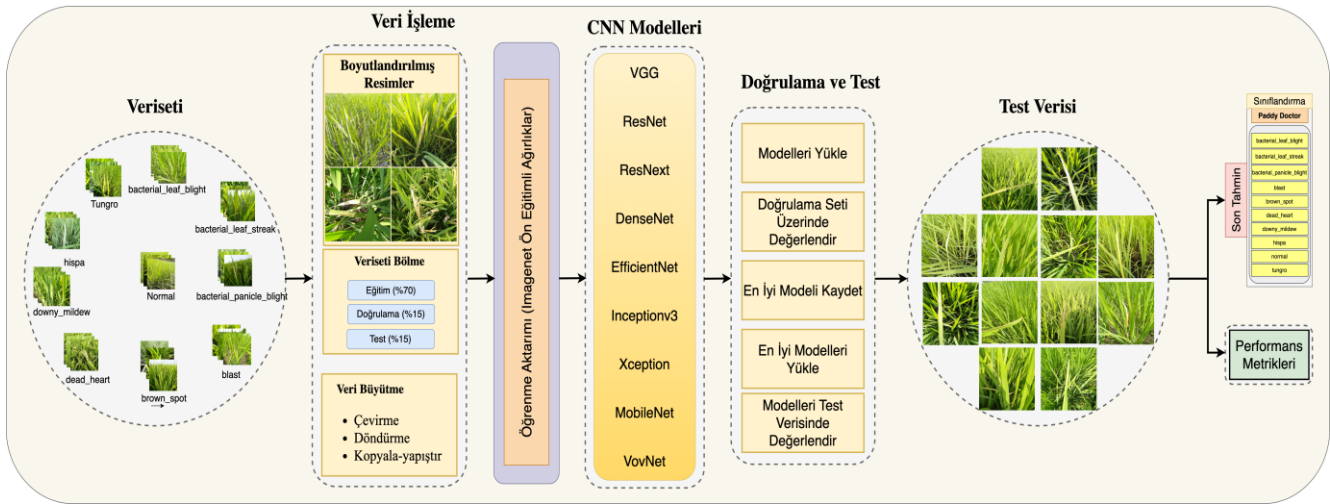
Öğrenme aktarımı

Öğrenme aktarımı, bir önceki eğitilmiş modelin performansını geliştirmek için kullanılan bir makine öğrenmesi tekniğidir (Pacal, 2022). Geleneksel olarak, makine öğrenmesi modelleri bağımsız olarak çalışacak şekilde tasarlanır ve yeni özellikler ve veriler sunulduğunda yeniden oluşturmak için büyük çaba gerektirir. Öğrenme aktarımı, edinilen bilgi ve modellerin yeniden kullanımıyla bu çabayı azaltmayı ve böylece geliştirme süresini dramatik olarak kısaltmayı ve performansı artırmayı hedefler. Öğrenme aktarımı, yazılım hata tahmini (Nam ve Kim, 2015), duygu sınıflandırması (Wang ve Mahadevan, 2011) ve aktivite tanıma (Cook ve ark., 2013) gibi çeşitli alanlarda uygulanmaktadır. Öğrenme aktarımının yaygın bir uygulaması, bilgisayar görüşü görevleri için önceden eğitilmiş ImageNet veri kümesindeki modellerin kullanılmasıdır (Karaman ve ark., 2023). ImageNet, görsel nesne tanıma araştırmaları için kullanılan geniş bir resim koleksiyonudur ve birçok derin öğrenme modeli, ImageNet'te eğitildikten sonra görüntü sınıflandırma alanında en iyi sonuçları elde etmiştir. Araştırmacılar, benzer görsel özelliklere sahip küçük veri kümeleri için önceden eğitilmiş ImageNet modellerini kullanarak zaman ve kaynak tasarrufu yaparken daha iyi sonuçlar elde edebilirler (BAYAT ve Gültekin, 2022; KILIÇARSLAN, 2022). Önceden eğitilmiş ImageNet modellerini kullanmak için araştırmacılar, modeli yeni bir veri kümesinde ince ayarlayabilir veya özellik çıkarıcısı olarak kullanabilirler. Genel olarak, önceden eğitilmiş ImageNet modellerini kullanarak öğrenme aktarımı, bilgisayar görüşü alanında etkili bir yaklaşımdır (Karaman ve ark., 2022). Bu çalışmada mevcut derin öğrenme modellerine ImageNet ön eğitilmiş ağırlıklar kullanılarak öğrenme aktarımı gerçekleştirilmiş ve bu modellerin performansları değerlendirilmiştir.

Önerilen yaklaşım

Çeltik yaprak hastalıklarının tespit edilmesi ve sınıflandırılması için yapılan çalışmanın temel bileşenleri Şekil 2'de gösterilmektedir. Derin öğrenme tabanlı bu çalışmanın ilk aşamasını Veri Seti birimi oluşturmaktadır. 10.407 görüntüden oluşan veri seti, derin öğrenme yaklaşımları için ideal bir

veri setidir. Veri setinden sonraki aşama ise Veri İşleme aşamasıdır. Bu aşamada temel amaç, veri setindeki görüntülerin aynı boyuta indirgenmesi, bölünmesi ve bazı temel veri artırma tekniklerinin uygulanmasıdır. Çeltik yaprak hastalıklarına ait 10.407 görüntüden oluşan veri seti, derin öğrenme yaklaşımlarında kullanılmak üzere rastgele eğitim (%70), doğrulama (%15) ve test (%15) verileri olarak üç kısma ayrılmıştır. Daha sonra sınıf dağılımlarını dengelemek için veri setine eğitim esnasında çevirme, döndürme ve kaydırma gibi temel veri artırma teknikleri uygulanmıştır. Büyük ölçekli veri setlerinde veri artırma çok etkili olmasa da küçük ölçekli ve çeşitliliğin az olduğu veri setlerinde veri artırma oldukça etkilidir. Üçüncü aşama öğrenme yaklaşımlarının olduğu birimdir. Bu birimde öğrenme aktarımı ve sınıflandırma için CNN modelleri yer almaktadır. Transfer öğrenme ya da öğrenme aktarımı bir alanda eğitilen bir modelin ağırlıklarının farklı bir alan için kullanılması yani ağırlıkların aktarılması işlemidir. Bu çalışmada, ImageNet (Russakovsky ve ark., 2015) veri seti üzerinde eğitilen CNN model ağırlıkları Paddy Doctor veri seti için kullanılmıştır. Öğrenme aktarımı özellikle küçük ölçekli veri setlerinde çok ciddi performans sağlar. Bu veri setinde öğrenme aktarımı ile hem performansın hem de yakınsamanın sıfırdan eğitime göre daha hızlı olması sağlanmıştır. Öğrenme aktarımından sonra sınıflandırma işlemi için 12 CNN modeli, doğrulama ve test işlemine tabi tutulmuştur. Modeller, Test Verisi üzerinde test edilerek her modelin performans metrikleri belirlenmiştir. Son olarak sınıflandırma işlemi için bu modellerin çıktıları gözlemlenmiştir.



Şekil 2. Çeltik Yaprığı Hastalığı Tespiti İçin Genel Yaklaşım

BULGULAR VE TARTIŞMA

Uygulama Detayları

Bu araştırma, Ubuntu 22.04 işletim sistemiyle çalışan bir Linux bilgisayarında gerçekleştirilmiştir. Derin öğrenme modellerinin eğitildiği ve test edildiği bilgisayar, Intel Core i9 9900X 10 çekirdekli 3,50 GHz işlemci, 19,25 MB Intel Smart Cache bellek, 16GB DDR4 RAM ve tek bir NVIDIA RTX 3090 (24 GB GDDR6X, 10496 CUDA çekirdeği ve 328 tensör çekirdeği) özelliklerine sahiptir. Deneyler, NVIDIA CUDA ile PyTorch framework'ünün en son kararlı sürümü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tüm mimariler için eğitim ve test için aynı ortamlar kullanılmış ve tüm modeller aynı parametrelerle eğitilmiştir.

Değerlendirme metrikleri

Derin öğrenme modellerinin etkililiğini değerlendirmede ve bilinçli kararlar vermede performans metrikleri kritik bir rol oynamaktadır. Bu metrikler, modellerin performansını değerlendirmek, optimizasyon sürecini yönlendirmek, sonuçları raporlamak, hataları ve önyargıları belirlemek, referans noktaları oluşturmak ve aşırı uyum tespit etmek gibi görevler için önemlidir. Bu çalışmada, özellikle

çeltik hastalıklarının tanımlanmasında etkili olan ve yaygın olarak kullanılan metrikler kullanılmıştır. Derin öğrenmede yaygın olarak kullanılan metrikler arasında doğruluk, kesinlik, duyarlılık ve F1 skoru bulunur. Doğruluk, tüm tahminlerin doğru yapılan tahminlere oranını temsil eder ve genel bir model performansı gösterir. Kesinlik, modelin tüm pozitif tahminlerine oranla başarılı tahminlerin oranını belirtir. Duyarlılık, tüm pozitif örneklerin doğru pozitif tahminlerine oranını ölçer ve modelin kaç gerçek pozitif örneğin doğru bir şekilde tanımlandığını gösterir. F1 skoru, kesinlik ve duyarlılık arasında bir denge kurmak için kullanılan harmonik ortalamadır. Tüm metrikler aşağıdaki denklemlerle verilen matematiksel formüllere sahiptirler:

$$\text{Doğruluk} = \frac{\text{Doğru tahmin sayısı}}{\text{Toplam tahmin sayısı}} \quad (1)$$

$$\text{Kesinlik} = \frac{\text{Doğru pozitif}}{\text{Doğru pozitif} + \text{Yanlış pozitif}} \quad (2)$$

$$\text{Duyarlılık} = \frac{\text{Doğru pozitif}}{\text{Doğru pozitif} + \text{Yanlış negatif}} \quad (3)$$

$$\text{F1 - skor} = \frac{2 * \text{Kesinlik} * \text{Duyarlılık}}{\text{Kesinlik} + \text{Duyarlılık}} \quad (4)$$

Deneysel sonuçlar

Yapılan çalışmada, her bir modelin başlangıç değerleri kullanılarak eğitim ve değerlendirme gerçekleştirilmiştir. Tek bir klasöründe bulunan veri setindeki tüm sınıflar, eğitilmiş modellerde genelleme gözlemlenmesi için %70'i eğitim verisi, %15'i doğrulama ve kalan %15'i test verisi olarak rastgele atanmıştır. Derin öğrenme modellerinin hızını ve doğruluğunu artırmak için kullanılacak çeşitli teknikler ve parametreler vardır. Öğrenme aktarımı ve veri artırma en etkili tekniklerden ilk ikisidir. Ayrıca, giriş görüntüsü boyutu, küme boyutu, epok sayısı, optimizasyon algoritması, öğrenme oranı, momentum gibi bazı temel parametreler kullanılarak modelin performansını artırılabilir. Tutarlılığı korumak ve performansı artırmak için, ölçeklendirme, yumuşatma, karıştırma, renk değiştirme ve yansıtma gibi temel veri artırma teknikleri tüm modellere uygulanmıştır. ImageNet veri kümesi ağırlıkları da öğrenme aktarımı için kullanılmış ve yakınsama sürecini hızlandırmak ve doğruluğu artırmak için entegre edilmiştir. Çoğu modelde, eğitim ve doğrulama verileri için varsayılan giriş çözünürlük değeri olan 224x224 kullanılmıştır. Bazı diğer önemli parametreler, lr: 0.0001, momentum: 0.9, optimizasyon algoritması: SGD değerleri seçilirken, bu parametrelerle beraber diğer parametreler bütün derin öğrenme modelleri için sabit tutularak modellerin birbiri ile daha nesnel bir karşılaştırılması sağlanmıştır.

Bulgular

Bu bölüm, CNN'nin deneysel sonuçlarına ilişkin performans ölçütleri ve karışıklık matrisinin sonuçlarını ve tartışmasını kapsar. Ayrıca bu modellerin veri kümesi üzerinde nasıl performans gösterdiğini ve hangi modelin diğerinden üstün olduğunu inceler.

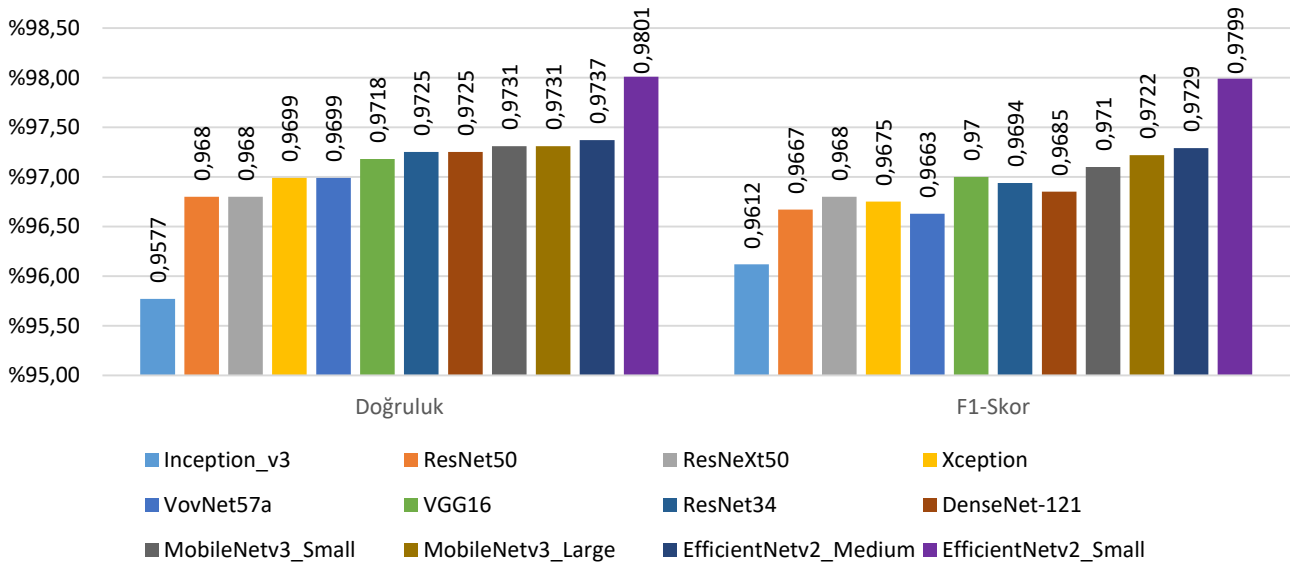
Paddy Doctor, bitki hastalıklarını teşhis etmek için kullanılan yeni veri kümesidir. Son zamanlarda CNN, bilgisayarlı görü alanında giderek daha popüler hale geldi ve daha yüksek doğruluğu ve daha az parametresi nedeniyle özellikle tarımsal görüntü analizinde yüksek performans gösterdi. Bu çalışmada, literatürde nesne sınıflandırması için yaygın olarak kullanılan CNN modelleri, Paddy Doctor veri setinde çeltik hastalıkları üzerinde eğitilmiş ve değerlendirilmiştir. Modellerin performansları CNN'in parametre değerleri ve hiperparametreleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Birçok bitki hastalığının erken teşhisi, üretim için önemlidir ve çeltik yaprağı hastalıklarının erken tespiti, çiftçilerin hastalığın yayılmasını kontrol altına almak ve ürün kaybını en aza indirmek için hızlı

harekete geçmesine yardımcı olabilir. Tablo 2, çeltik yaprağı görüntülerinden elde edilen Paddy Doctor veri setinde çeltik yaprağı hastalıklarının sınıflandırılmasının deneysel sonuçlarını göstermektedir.

Tablo 2. Paddy Doctor Veri Kümesindeki Derin Öğrenme Modellerinin Sonuçları

Model	Doğruluk	Keskinlik	Duyarlılık	F1-skor
ResNet34	0.9725	0.9714	0.9677	0.9694
ResNet50	0.968	0.9683	0.9651	0.9667
VGG16	0.9718	0.9718	0.9683	0.9700
DenseNet-121	0.9725	0.9713	0.9657	0.9685
Xception	0.9699	0.9702	0.9649	0.9675
Inception_v3	0.9577	0.9627	0.9597	0.9612
ResNeXt50	0.968	0.9712	0.9649	0.9680
VovNet57a	0.9699	0.9694	0.9632	0.9663
MobileNetv3_Small	0.9731	0.9744	0.9676	0.9710
MobileNetv3_Large	0.9731	0.9752	0.9698	0.9722
EfficientNetv2_Small	0.9801	0.9800	0.9799	0.9799
EfficientNetv2_Medium	0.9737	0.9735	0.9724	0.9729

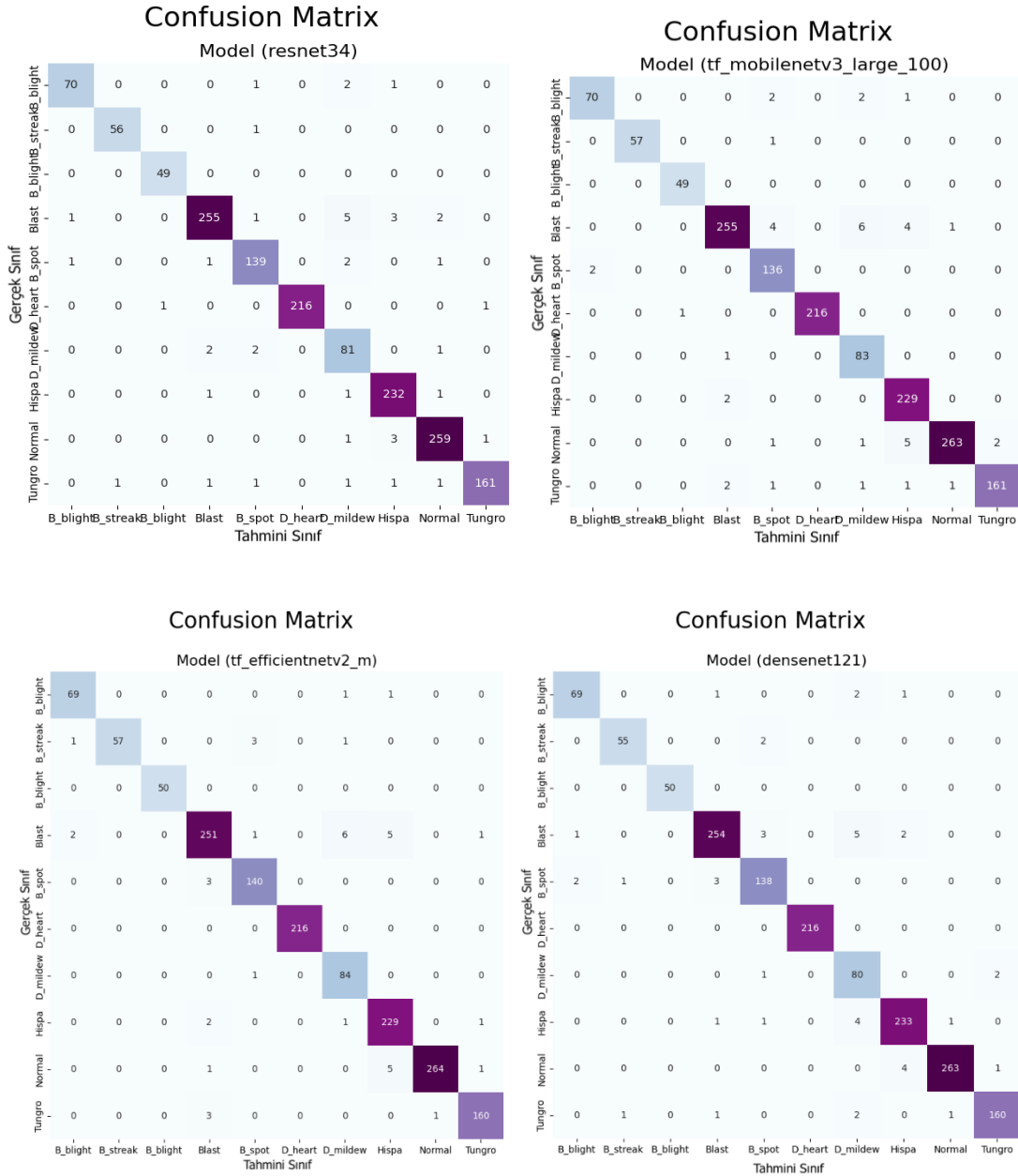
Tablo 2 incelendiğinde, tüm derin öğrenme modellerinin %95'in üzerinde bir doğruluğa sahip olduğu görülmektedir. CNN tabanlı modellerde, aynı doğruluk değerlerine sahip ResNet34 ve DenseNet-121 modelleri, ResNet-50, VGG16 ve Xception modellerine kıyasla önemli ölçüde daha yüksek metrik değerlere sahiptir. EfficientNetv2_Small modeli %98.01 doğruluk ve %97.99 F1 puanına sahipken, Inception_v3 modeli %95.77 doğruluk ve %96.12 F1 puanına sahiptir. Genel olarak, EfficientNetv2_Small modeli en yüksek doğruluğa sahipken, Inception_v3 modeli en düşük doğruluk değerlerine sahiptir. Modellere ait performans metriklerinin karşılaştırmalı analizi için Şekil 3'te her bir modele ait doğruluk ve F1 skoru görselleştirilmiştir.



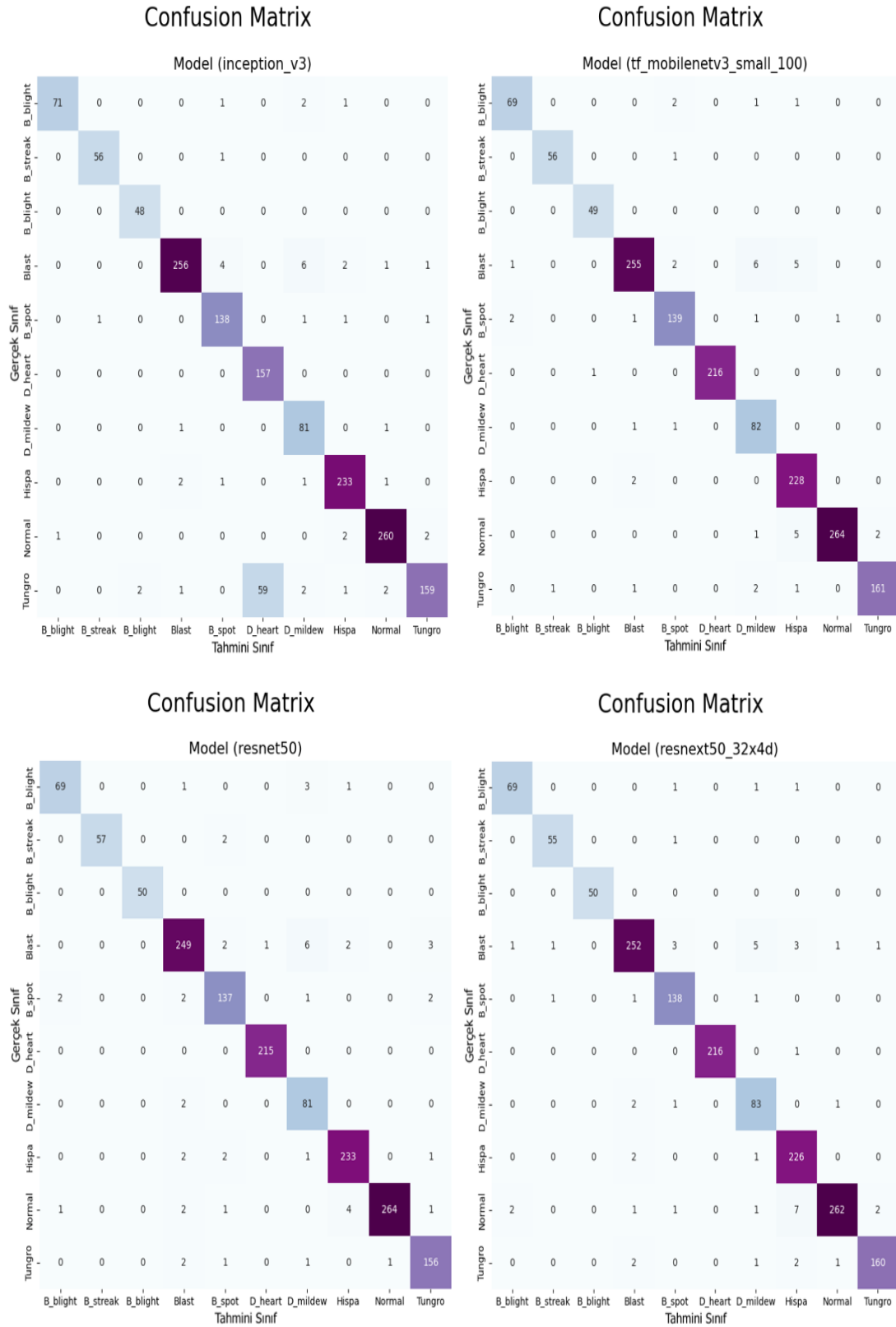
Şekil 3. Modellere Ait Doğruluk ve F1-Skoru Değerlerinin Karşılaştırmalı Analizi

Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6, çeltik yaprak hastalıklarının tespiti için kullanılan farklı CNN modellerinin karışıklık matrislerini göstermektedir. Bulgular ışığında Şekil 4'teki karışıklık matrisleri dikkate alındığında, çeltik yaprak hastalıklarının teşhisi için çeltik yaprak görüntülerinden elde edilen Paddy Doctor veri kümesinde, EfficientNetv2_Small modelinin diğer modellere göre daha iyi performans gösterdiği, Inception_v3 mimarisinin ise daha düşük bir performansa sahip olduğu görülmektedir. Karışıklık matrislerine bakıldığında, neredeyse tüm modellerin %96 ve üzeri başarı elde ettiği görülmektedir.

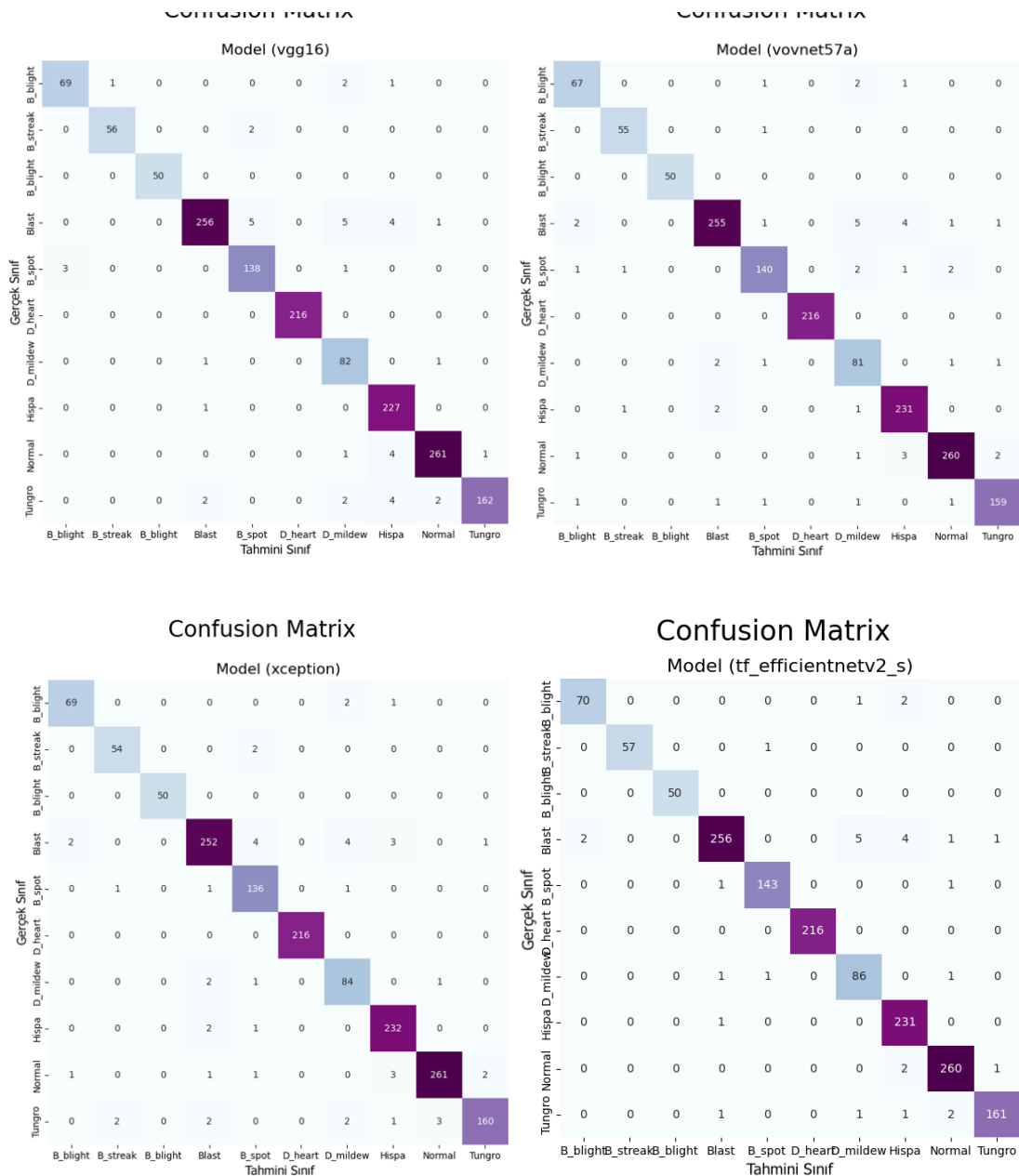
Derin öğrenme, tarım görüntü analizinde en popüler yöntemlerden biridir. Farklı ağ mimarilerine sahip algoritmaları olan derin öğrenme, özellikle tarım görüntüleri alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Derin öğrenme modelleri için yeterli veriye erişememek ve kötü matematiksel modeller gibi bazı problemler olsa da literatürde %90'ın üzerinde başarı oranına sahip birçok çalışmanın olması, derin öğrenme algoritmalarının bu alanda ne kadar umut vaat ettiğini göstermektedir. Bu çalışmada, pirinç yaprak hastalıklarının tespiti için elde edilen yaprak görüntülerine derin öğrenme yöntemleri uygulanarak çeltik yaprak hastalığının türünün belirlenmesi amaçlanmıştır. Sonuç olarak, CNN modellerinin, çeltik yaprak hastalıklarının teşhisinde yüksek bir sınıflandırma başarısı sunduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4. Modellere Ait Karışıklık Matrisleri



Şekil 5. Modellere Ait Karışıklık Matrisleri



Şekil 6. Modellere ait Karışıklık Matrisleri

Önerilen yaklaşımının diğer yaklaşımlarla karşılaştırılması

Önerilen modelin literatürde çeltik görüntülerinin kullanıldığı çalışmalara göre performans değerlendirmesi Tablo 3'te verilmiştir. Çeltik hastalıklarının doğru tespit edilmesi daha önemli olduğu için Tablo 3'te doğruluk ve F1-skör değerleri dikkate alınmıştır. Paddy Doctor (Kiruba ve Arjunan, 2023) çalışması dışındaki diğer çalışmalar farklı veri setleri kullanmıştır. Paddy Doctor (Kiruba ve Arjunan, 2023) çalışmasında öğrenme aktarımı yöntemlerini incelemiştir. İlgili çalışmada 16.225 çeltik hastalık görüntüsü kullanılmıştır. Test edilen modeller arasında en yüksek doğruluk (%97.50) ve F1-skör (%97.50) değerlerine ResNet34 modeli ulaşmıştır. Kaggle'da (Paddy Doctor: Paddy Disease Classification, 2022) düzenlenen yarışmada Paddy Doctor veri setinin sadece eğitim (10.407) görüntüleri paylaşılmıştır. Paylaşılan görüntülerden oluşan veriler, rastgele eğitim (%70), doğrulama (%15) ve test (%15) olarak bölünerek çalışmamızda çeltik hastalıklarının tespiti ve sınıflandırılması için öğrenim aktarımı ile farklı CNN modelleri üzerinde test edilmiştir. Test sonucunda EfficientNetv2_Small modeli %98.01 doğruluk ve %97.99 F1-skör değerleri ile en başarılı model

olmuştur. Önerilen modelin Paddy Doctor (2022) çalışmasında kullanılan görüntü sayılarından az olmasına rağmen literatürdeki çalışmalarda çeltik görüntüleri temel alan tüm modellerden daha yüksek performans gösterdiği görülmüştür. İlerleyen zamanlarda Paddy Doctor veri setine ait tüm görüntülerle yapılacak bir çalışmanın daha yüksek sonuçlar vereceği düşünülmektedir.

Tablo 3. Önerilen Yaklaşımın Literatürde Var Olan Diğer Çalışmalarla Karşılaştırılması

Çalışma	Yöntem	Görüntü sayısı	Veri seti	Doğruluk (%)	F1-skor (%)
Senthil Pandi ve ark. (2022)	DCNN +GAP	5.932	Mendeley	96.50	94.32
Sethy ve ark. (2020a)	Mobilenetv2	5.932	Mendeley	97.96	97.96
Gautam ve ark. (2022)	InceptionV3	1.500	Mendeley ve Kaggle	96.47	96.47
Krishnamoorthy ve ark. (2021)	InceptionResNetV2	5.200	Kaggle & Google Images	95.67	95.67
Kiruba ve Arjunan (2023)	Resnet34	16.225	Paddy Doctor	97.50	97.50
Önerilen yaklaşım	EfficientNetv2_Small	10.407	Paddy Doctor	98.01	97.99

SONUÇ

Çeltik yaprak hastalıklarının zamanında tespit edilmesi mahsulün zarar görmesini en aza indirmek için çok önemlidir. Bilgisayar destekli sistemler, bu bitki hastalıklarını erken aşamada teşhis etmek için çiftçiler ve ziraat mühendisleri tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, çeltik yaprak hastalıklarının tespiti için Paddy Doctor veri setinden alınan yaprak görüntülerini analiz etmek için yaygın derin öğrenme yaklaşımları kullanılmıştır.

Son zamanların en popüler derin öğrenme mimarilerinin birçok modelini bir araya getiren bu çalışma, literatürdeki çeltik hastalıkları üzerine yapılmış en kapsamlı çalışmadır. Deneysel sonuçlar, EfficientNetv2_Small modelinin tüm çeltik hastalıklarını %98.01 test doğruluğu ile doğru bir şekilde teşhis ettiğini göstermiştir. Bulgular, CNN tabanlı mimarilerin yüksek iyi performans gösterdiğini ve ziraat mühendislerine ve çiftçilere bu hastalığın erken teşhisinde ve ayrıca potansiyel olarak gelecekteki diğer tarımsal problemlerde yardımcı olmada etkili olduğunu göstermektedir.

Bu çalışma, çeltik yaprak hastalıklarının tespiti için derin öğrenme yaklaşımlarının kullanımının etkisini gösteren önemli bir çalışmadır. Ancak, gelecekte bu alanda daha fazla çalışma yapılabilir. Bu çalışmada sadece Paddy Doctor veri seti kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gelecekte, daha geniş veri setleri kullanılarak daha fazla çeltik hastalığı tespit edilebilir ve daha iyi sonuçlar elde edilebilir. Ayrıca Özellikle CNN tabanlı yaklaşımlar üzerine odaklanmıştır. Gelecekte, farklı derin öğrenme yöntemleri de dahil olmak üzere başka yaklaşımlar da incelenebilir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

- Agarwal, M., Singh, A., Arjaria, S., Sinha, A., ve Gupta, S. (2020). ToLeD: Tomato Leaf Disease Detection using Convolution Neural Network. *Procedia Computer Science*, 167, 293-301. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.225>
- Agus, F., Ihsan, M., Khairina, D. M., ve Candra, K. P. (2019). Expert System for Rice Plant Disease Diagnosis. In: vol.

- Akila, M., ve Deepan, P. (2018). Detection and classification of plant leaf diseases by using deep learning algorithm. *International Journal of Engineering Research ve Technology (IJERT)*, 6(7), 1-5.
- An, C., Sun, C., Li, N., Huang, B., Jiang, J., Shen, Y., Wang, C., Zhao, X., Cui, B., ve Wang, C. (2022). Nanomaterials and nanotechnology for the delivery of agrochemicals: strategies towards sustainable agriculture. *Journal of Nanobiotechnology*, 20(1), 1-19.
- Arnal Barbedo, J. G. (2019). Plant disease identification from individual lesions and spots using deep learning. *Biosystems Engineering*, 180, 96-107. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.02.002>
- Asad, M. H., ve Bais, A. (2020). Weed detection in canola fields using maximum likelihood classification and deep convolutional neural network. *Information Processing in Agriculture*, 7(4), 535-545. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.inpa.2019.12.002>
- Athiraja, A., ve Vijayakumar, P. (2021). RETRACTED ARTICLE: Banana disease diagnosis using computer vision and machine learning methods. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 12(6), 6537-6556.
- Atole, R. R., ve Park, D. (2018). A multiclass deep convolutional neural network classifier for detection of common rice plant anomalies. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 9(1).
- Baranwal, S., Khandelwal, S., ve Arora, A. (2019). Deep learning convolutional neural network for apple leaves disease detection. Proceedings of international conference on sustainable computing in science, technology and management (SUSCOM), Amity University Rajasthan, Jaipur-India,
- Barbedo, J. G. A. (2016). A review on the main challenges in automatic plant disease identification based on visible range images. *Biosystems Engineering*, 144, 52-60.
- Baresel, J. P., Rischbeck, P., Hu, Y., Kipp, S., Hu, Y., Barmeier, G., Mistele, B., ve Schmidhalter, U. (2017). Use of a digital camera as alternative method for non-destructive detection of the leaf chlorophyll content and the nitrogen nutrition status in wheat. *Computers and Electronics in Agriculture*, 140, 25-33. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.05.032>
- Bayat, S. ve Işık, G. (2022). "Aras Kuş Türlerinin Ses Özellikleri Bakımından Derin Öğrenme Yöntemleriyle Tanınması." *Journal of the Institute of Science and Technology* 12(3): 1250-1263
- Bhagawati, R., Bhagawati, K., Singh, A., Nongthombam, R., Sarmah, R., ve Bhagawati, G. (2015). Artificial neural network assisted weather based plant disease forecasting system. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, 3(6), 4168-4173.
- Brownlee, J. (2019). *Deep learning for computer vision: image classification, object detection, and face recognition in python*. Machine Learning Mastery.
- Catindig, J. (2023). *Hispa*. <http://www.knowledgebank.irri.org/training/fact-sheets/pest-management/insects/item/rice-hispa>
- Chawathe, S. S. (2020). Rice disease detection by image analysis. 2020 10th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC),
- Chen, J., Chen, J., Zhang, D., Sun, Y., ve Nanekaran, Y. A. (2020). Using deep transfer learning for image-based plant disease identification. *Computers and Electronics in Agriculture*, 173, 105393. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105393>
- Chollet, F. (2017). Xception: Deep learning with depthwise separable convolutions. Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition,

- CM Vera Cruz, I. O., NP Castilla, and R Oplencia. (2023). *Bacterial Leaf Blight* <http://www.knowledgebank.irri.org/decision-tools/rice-doctor/rice-doctor-fact-sheets/item/bacterial-blight>
- Cook, D., Feuz, K. D., ve Krishnan, N. C. (2013). Transfer learning for activity recognition: A survey. *Knowledge and information systems*, 36, 537-556.
- Coulibaly, S., Kamsu-Foguem, B., Kamissoko, D., ve Traore, D. (2019). Deep neural networks with transfer learning in millet crop images. *Computers in Industry*, 108, 115-120. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.02.003>
- Dean, R., Van Kan, J. A., Pretorius, Z. A., Hammond-Kosack, K. E., Di Pietro, A., Spanu, P. D., Rudd, J. J., Dickman, M., Kahmann, R., ve Ellis, J. (2012). The Top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology. *Molecular plant pathology*, 13(4), 414-430.
- Ebrahimi, M., Khoshtaghaza, M. H., Minaei, S., ve Jamshidi, B. (2017). Vision-based pest detection based on SVM classification method. *Computers and Electronics in Agriculture*, 137, 52-58.
- Fuentes, A., Yoon, S., Kim, S. C., ve Park, D. S. (2017). A robust deep-learning-based detector for real-time tomato plant diseases and pests recognition. *Sensors*, 17(9), 2022.
- Ganesan, G., ve Chinnappan, J. (2022). Hybridization of ResNet with YOLO classifier for automated paddy leaf disease recognition: An optimized model. *Journal of Field Robotics*, 39(7), 1085-1109.
- Gautam, V. (2020). Qualitative model to enhance quality of metadata for data warehouse. *International Journal of Information Technology*, 12, 1025-1036.
- Gautam, V., Trivedi, N. K., Singh, A., Mohamed, H. G., Noya, I. D., Kaur, P., ve Goyal, N. (2022). A Transfer Learning-Based Artificial Intelligence Model for Leaf Disease Assessment. *Sustainability*, 14(20), 13610.
- Goluguri, N. R. R., Devi, K. S., ve Srinivasan, P. (2021). Rice-net: an efficient artificial fish swarm optimization applied deep convolutional neural network model for identifying the *Oryza sativa* diseases. *Neural Computing and Applications*, 33(11), 5869-5884.
- Gunawan, P., Kencana, E., ve Sari, K. (2021). Classification of rice leaf diseases using artificial neural network. *Journal of Physics: Conference Series*,
- Gündüz, M. Ş., ve Işık, G. (2023). A new YOLO-based method for real-time crowd detection from video and performance analysis of YOLO models. *Journal of Real-Time Image Processing*, 20(1), 5.
- Ham, J. H., Melanson, R. A., ve Rush, M. C. (2011). *Burkholderia glumae*: next major pathogen of rice? *Molecular plant pathology*, 12(4), 329-339.
- He, K., Zhang, X., Ren, S., ve Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*,
- Hossain, S. M. M., Tanjil, M. M. M., Ali, M. A. B., Islam, M. Z., Islam, M. S., Mobassirin, S., Sarker, I. H., ve Islam, S. R. (2020). Rice leaf diseases recognition using convolutional neural networks. *Advanced Data Mining and Applications: 16th International Conference, ADMA 2020, Foshan, China, November 12–14, 2020, Proceedings 16*,
- Howard, A. G., Zhu, M., Chen, B., Kalenichenko, D., Wang, W., Weyand, T., Andreetto, M., ve Adam, H. (2017). Mobilenets: Efficient convolutional neural networks for mobile vision applications. *arXiv preprint arXiv:1704.04861*.
- Htun, K. W., ve Htwe, C. S. (2018). Development of Paddy Diseased Leaf Classification System Using Modified Color Conversion. *International Journal of Software ve Hardware Research in Engineering*, 6(8).

- Huang, G., Liu, Z., Van Der Maaten, L., ve Weinberger, K. Q. (2017). Densely connected convolutional networks. Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition,
- Huang, J., Liao, H., Zhu, Y., Sun, J., Sun, Q., ve Liu, X. (2012). Hyperspectral detection of rice damaged by rice leaf folder (*Cnaphalocrocis medinalis*). *Computers and Electronics in Agriculture*, 82, 100-107. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.01.002>
- Islam, T., Sah, M., Baral, S., ve Choudhury, R. R. (2018). A faster technique on rice disease detection using image processing of affected area in agro-field. 2018 Second International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies (ICICCT),
- Jena, K. K., ve Kim, S.-M. (2010). Current status of brown planthopper (BPH) resistance and genetics. *Rice*, 3(2), 161-171.
- Jiang, H., Zhang, C., Qiao, Y., Zhang, Z., Zhang, W., ve Song, C. (2020). CNN feature based graph convolutional network for weed and crop recognition in smart farming. *Computers and Electronics in Agriculture*, 174, 105450. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105450>
- Kahar, M. A. A., Mutalib, S., ve Rahman, S. A. (2015). Early Detection and Classification of Paddy Diseases with Neural Networks and Fuzzy Logic Recent Advances in Mathematical and Computational Method.
- Kamal, K., Yin, Z., Wu, M., ve Wu, Z. (2019). Depthwise separable convolution architectures for plant disease classification. *Computers and Electronics in Agriculture*, 165, 104948.
- Karaman, A., Karaboga, D., Pacal, I., Akay, B., Basturk, A., Nalbantoglu, U., Coskun, S., ve Sahin, O. (2022). Hyper-parameter optimization of deep learning architectures using artificial bee colony (ABC) algorithm for high performance real-time automatic colorectal cancer (CRC) polyp detection. *Applied Intelligence*, 1-18.
- Karaman, A., Pacal, I., Basturk, A., Akay, B., Nalbantoglu, U., Coskun, S., Sahin, O., ve Karaboga, D. (2023). Robust real-time polyp detection system design based on YOLO algorithms by optimizing activation functions and hyper-parameters with artificial bee colony (ABC). *Expert Systems with Applications*, 221, 119741. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.119741>
- Karlekar, A., ve Seal, A. (2020). SoyNet: Soybean leaf diseases classification. *Computers and Electronics in Agriculture*, 172, 105342.
- Karmokar, B. C., Ullah, M. S., Siddiquee, M. K., ve Alam, K. M. R. (2015). Tea leaf diseases recognition using neural network ensemble. *International Journal of Computer Applications*, 114(17).
- Kaur, P., ve Gautam, V. (2021). Plant biotic disease identification and classification based on leaf image: A review. Proceedings of 3rd International Conference on Computing Informatics and Networks: ICCIN 2020,
- Khirade, S. D., ve Patil, A. (2015). Plant disease detection using image processing. 2015 International conference on computing communication control and automation,
- KILIÇARSLAN, S. (2022). "Kurum Üzüm Tanelerinin Sınıflandırılması İçin Hibrit Bir Yaklaşım." *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi* 4(1): 62-71.
- Kiruba, B., ve Arjunan, P. (2023). Paddy Doctor: A Visual Image Dataset for Automated Paddy Disease Classification and Benchmarking. Proceedings of the 6th Joint International Conference on Data Science ve Management of Data (10th ACM IKDD CODS and 28th COMAD),

- Kovalskaya, N., ve Hammond, R. W. (2014). Molecular biology of viroid–host interactions and disease control strategies. *Plant Science*, 228, 48-60.
- Krishnamoorthy, N., Prasad, L. N., Kumar, C. P., Subedi, B., Abraha, H. B., ve Sathishkumar, V. (2021). Rice leaf diseases prediction using deep neural networks with transfer learning. *Environmental Research*, 198, 111275.
- Lee, Y., Hwang, J.-w., Lee, S., Bae, Y., ve Park, J. (2019). An energy and GPU-computation efficient backbone network for real-time object detection. Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition workshops,
- Li, B., Liu, Z., Huang, J., Zhang, L., Zhou, W., ve Shi, J. (2009). Hyperspectral identification of rice diseases and pests based on principal component analysis and probabilistic neural network. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 25(9), 143-147.
- Liu, B., ve Bruch, R. (2020). Weed detection for selective spraying: a review. *Current Robotics Reports*, 1, 19-26.
- Liu, H., Ma, X., Tao, M., Deng, R., Bangura, K., Deng, X., Liu, C., ve Qi, L. (2019). A Plant Leaf Geometric Parameter Measurement System Based on the Android Platform. *Sensors (Basel)*, 19(8). <https://doi.org/10.3390/s19081872>
- Malhi, G. S., Kaur, M., ve Kaushik, P. (2021). Impact of climate change on agriculture and its mitigation strategies: A review. *Sustainability*, 13(3), 1318.
- Martinelli, F., Scalenghe, R., Davino, S., Panno, S., Scuderi, G., Ruisi, P., Villa, P., Stroppiana, D., Boschetti, M., Goulart, L. R., Davis, C. E., ve Dandekar, A. M. (2015). Advanced methods of plant disease detection. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(1), 1-25. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0246-1>
- Masood, M. H., Saim, H., Taj, M., ve Awais, M. M. (2020). Early disease diagnosis for rice crop. *arXiv preprint arXiv:2004.04775*.
- Mikołajczyk, A., ve Grochowski, M. (2018). Data augmentation for improving deep learning in image classification problem. 2018 international interdisciplinary PhD workshop (IIPhDW),
- Mishra, A. M., Harnal, S., Mohiuddin, K., Gautam, V., Nasr, O. A., Goyal, N., Alwetaishi, M., ve Singh, A. (2022). A Deep Learning-Based Novel Approach for Weed Growth Estimation. *Intelligent Automation ve Soft Computing*, 31(2).
- Nagaraju, M., ve Chawla, P. (2020). Systematic review of deep learning techniques in plant disease detection. *International journal of system assurance engineering and management*, 11, 547-560.
- Nam, J., ve Kim, S. (2015). Heterogeneous defect prediction. Proceedings of the 2015 10th joint meeting on foundations of software engineering,
- Narmadha, R., ve Arulvadivu, G. (2017). Detection and measurement of paddy leaf disease symptoms using image processing. 2017 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI),
- Ngugi, L. C., Abelwahab, M., ve Abo-Zahhad, M. (2021). Recent advances in image processing techniques for automated leaf pest and disease recognition – A review. *Information Processing in Agriculture*, 8(1), 27-51. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.inpa.2020.04.004>
- Nixon, M., ve Aguado, A. (2019). *Feature extraction and image processing for computer vision*. Academic press.
- Ozguven, M. M., ve Adem, K. (2019). Automatic detection and classification of leaf spot disease in sugar beet using deep learning algorithms. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 535, 122537. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.122537>

- Pacal, I. (2022). Deep Learning Approaches for Classification of Breast Cancer in Ultrasound (US) Images. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 12(4), 1917-1927.
- Pacal, I., Karaboga, D., Basturk, A., Akay, B., ve Nalbantoglu, U. (2020). A comprehensive review of deep learning in colon cancer. *Computers in Biology and Medicine*, 126, 104003. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2020.104003>
- Pacal, I., ve ark. (2022). "An efficient real-time colonic polyp detection with YOLO algorithms trained by using negative samples and large datasets." *Computers in Biology and Medicine* 141: 105031.
- Peng, J., Kang, S., Ning, Z., Deng, H., Shen, J., Xu, Y., Zhang, J., Zhao, W., Li, X., ve Gong, W. (2020). Residual convolutional neural network for predicting response of transarterial chemoembolization in hepatocellular carcinoma from CT imaging. *European radiology*, 30, 413-424.
- Polder, G., Westeringh, N. v. d., Kool, J., Khan, H. A., Kootstra, G., ve Nieuwenhuizen, A. (2019). Automatic Detection of Tulip Breaking Virus (TBV) Using a Deep Convolutional Neural Network**This work was partially funded by the Dutch Product Board for Horticulture and the Dutch Ministry of Economic Affairs, Agriculture and Innovation. The research is part of the public private partnership BollenRevolutie 4.0 funded under the grant TKI-TU-1806. *IFAC-PapersOnLine*, 52(30), 12-17. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.482>
- Ramesh, S., ve Vydeki, D. (2020). Recognition and classification of paddy leaf diseases using Optimized Deep Neural network with Jaya algorithm. *Information Processing in Agriculture*, 7(2), 249-260. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.inpa.2019.09.002>
- Rangarajan, A. K., Purushothaman, R., ve Ramesh, A. (2018). Tomato crop disease classification using pre-trained deep learning algorithm. *Procedia Computer Science*, 133, 1040-1047. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.07.070>
- Russakovsky, O., ve ark. (2015). "Imagenet large scale visual recognition challenge." *International journal of computer vision* 115: 211-252.
- Sambasivam, G., ve Opiyo, G. D. (2021). A predictive machine learning application in agriculture: Cassava disease detection and classification with imbalanced dataset using convolutional neural networks. *Egyptian Informatics Journal*, 22(1), 27-34. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eij.2020.02.007>
- Sengupta, S., ve Das, A. K. (2017). Particle Swarm Optimization based incremental classifier design for rice disease prediction. *Computers and Electronics in Agriculture*, 140, 443-451.
- Senthil Pandi, S., Senthilselvi, A., Gitanjali, J., ArivuSelvan, K., Gopal, J., ve Vellingiri, J. (2022). Rice plant disease classification using dilated convolutional neural network with global average pooling. *Ecological Modelling*, 474, 110166. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2022.110166>
- Sethy, P. K., Barpanda, N. K., Rath, A. K., ve Behera, S. K. (2020a). Deep feature based rice leaf disease identification using support vector machine. *Computers and Electronics in Agriculture*, 175, 105527. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105527>
- Sethy, P. K., Barpanda, N. K., Rath, A. K., ve Behera, S. K. (2020b). Image Processing Techniques for Diagnosing Rice Plant Disease: A Survey. *Procedia Computer Science*, 167, 516-530. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.308>
- Sharma, M., Kumar, C. J., ve Deka, A. (2022). Early diagnosis of rice plant disease using machine learning techniques. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 55(3), 259-283.
- Shorten, C., ve Khoshgoftaar, T. M. (2019). A survey on image data augmentation for deep learning. *Journal of big data*, 6(1), 1-48.

- Simonyan, K., ve Zisserman, A. (2014). Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. *arXiv preprint arXiv:1409.1556*.
- Sladojevic, S., Arsenovic, M., Anderla, A., Culibrk, D., ve Stefanovic, D. (2016). Deep neural networks based recognition of plant diseases by leaf image classification. *Computational intelligence and neuroscience, 2016*.
- Sparks, A. (2023a). *Bacterial Leaf Streak* <http://www.knowledgebank.irri.org/training/fact-sheets/pest-management/diseases/item/bacterial-leaf-streak>
- Sparks, A. (2023b). *Tungro*. <http://www.knowledgebank.irri.org/training/fact-sheets/pest-management/diseases/item/tungro#:~:text=Rice%20tungro%20disease%20is%20caused,commonly%20found%20in%20rice%20paddies>.
- Srinivas, B., Satheesh, P., Rama Santosh Naidu, P., ve Neelima, U. (2021). Prediction of guava plant diseases using deep learning. ICCCE 2020: Proceedings of the 3rd International Conference on Communications and Cyber Physical Engineering,
- Strange, R. N., ve Scott, P. R. (2005). Plant disease: a threat to global food security. *Annu. Rev. Phytopathol.*, 43, 83-116.
- Sujithra, J., & Ukrit, M. F. (2020). A review on crop disease identification and classification through leaf images. *European Journal of Molecular & Clinical Medicine*, 7(09), 2020.
- Szegedy, C., Liu, W., Jia, Y., Sermanet, P., Reed, S., Anguelov, D., Erhan, D., Vanhoucke, V., ve Rabinovich, A. (2015). Going deeper with convolutions. Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition,
- Szegedy, C., Vanhoucke, V., Ioffe, S., Shlens, J., ve Wojna, Z. (2016). Rethinking the inception architecture for computer vision. Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition,
- Tan, M., ve Le, Q. (2019). Efficientnet: Rethinking model scaling for convolutional neural networks. International conference on machine learning,
- Tao, M., Ma, X., Huang, X., Liu, C., Deng, R., Liang, K., ve Qi, L. (2020). Smartphone-based detection of leaf color levels in rice plants. *Computers and Electronics in Agriculture*, 173, 105431. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105431>
- Thomas, J., ve Raj, E. D. (2021). Effectual single image dehazing with color correction transform and dark channel prior. Data Science and Computational Intelligence: Sixteenth International Conference on Information Processing, ICInPro 2021, Bengaluru, India, October 22–24, 2021, Proceedings 16,
- Tripathi, A. D., Mishra, R., Maurya, K. K., Singh, R. B., ve Wilson, D. W. (2019). Estimates for world population and global food availability for global health. In *The role of functional food security in global health* (pp. 3-24). Elsevier.
- Trivedi, N. K., Gautam, V., Anand, A., Aljahdali, H. M., Villar, S. G., Anand, D., Goyal, N., ve Kadry, S. (2021). Early detection and classification of tomato leaf disease using high-performance deep neural network. *Sensors*, 21(23), 7987.
- Udotalapally, V., Mohanty, S. P., Pallagani, V., ve Khandelwal, V. (2020). sCrop: A novel device for sustainable automatic disease prediction, crop selection, and irrigation in Internet-of-Agro-Things for smart agriculture. *Ieee Sensors Journal*, 21(16), 17525-17538.
- Uğuz, S., ve Uysal, N. (2021). Classification of olive leaf diseases using deep convolutional neural networks. *Neural Computing and Applications*, 33(9), 4133-4149.

- van Eeuwijk, F. A., Bustos-Korts, D., Millet, E. J., Boer, M. P., Kruijer, W., Thompson, A., Malosetti, M., Iwata, H., Quiroz, R., Kuppe, C., Muller, O., Blazakis, K. N., Yu, K., Tardieu, F., ve Chapman, S. C. (2019). Modelling strategies for assessing and increasing the effectiveness of new phenotyping techniques in plant breeding. *Plant Science*, 282, 23-39. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2018.06.018>
- Velesaca, H. O., Mira, R., Suárez, P. L., Larrea, C. X., ve Sappa, A. D. (2020). Deep learning based corn kernel classification. Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops,
- Verma, T., ve Dubey, S. (2018). Optimizing Rice Plant Diseases Recognition in Image Processing and Decision Tree Based Model. Smart and Innovative Trends in Next Generation Computing Technologies: Third International Conference, NGCT 2017, Dehradun, India, October 30-31, 2017, Revised Selected Papers, Part II 3,
- Waheed, A., Goyal, M., Gupta, D., Khanna, A., Hassanien, A. E., ve Pandey, H. M. (2020). An optimized dense convolutional neural network model for disease recognition and classification in corn leaf. *Computers and Electronics in Agriculture*, 175, 105456.
- Wang, C., ve Mahadevan, S. (2011). Heterogeneous domain adaptation using manifold alignment. IJCAI proceedings-international joint conference on artificial intelligence,
- Wang, G., Sun, Y., ve Wang, J. (2017). Automatic Image-Based Plant Disease Severity Estimation Using Deep Learning. *Comput Intell Neurosci*, 2017, 2917536. <https://doi.org/10.1155/2017/2917536>
- Xiao, M., Ma, Y., Feng, Z., Deng, Z., Hou, S., Shu, L., ve Lu, Z. (2018). Rice blast recognition based on principal component analysis and neural network. *Computers and Electronics in Agriculture*, 154, 482-490. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.08.028>
- Xu, G., Zhang, F., Shah, S. G., Ye, Y., ve Mao, H. (2011). Use of leaf color images to identify nitrogen and potassium deficient tomatoes. *Pattern Recognition Letters*, 32(11), 1584-1590. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.patrec.2011.04.020>
- Yang, W., Chen, J., Chen, G., Wang, S., ve Fu, F. (2013). The early diagnosis and fast detection of blast fungus, *Magnaporthe grisea*, in rice plant by using its chitinase as biochemical marker and a rice cDNA encoding mannose-binding lectin as recognition probe. *Biosensors and Bioelectronics*, 41, 820-826.
- Zeigler, R. S., ve Barclay, A. (2008). The relevance of rice. In (Vol. 1, pp. 3-10): Springer.
- Zeng, F., ve Liu, L. (2013). Contrast enhancement of mammographic images using guided image filtering. Advances in Image and Graphics Technologies: Chinese Conference, IGTA 2013, Beijing, China, April 2-3, 2013. Proceedings,
- Zhang, M., Qin, Z., ve Liu, X. (2005). Remote sensed spectral imagery to detect late blight in field tomatoes. *Precision Agriculture*, 6, 489-508.
- Zhu, W., Chen, H., Ciechanowska, I., ve Spaner, D. (2018). Application of infrared thermal imaging for the rapid diagnosis of crop disease. *IFAC-PapersOnLine*, 51(17), 424-430. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.184>

To Cite: Genç, E. & Turfan, N. (2023). Effects of Cd and Zn Treatments on Leaf Chemical Compounds of Japanese barberry (*Berberis thunbergii*), Boxwood (*Buxus sempervirens* var. *rotundifolia*), and Gold tassel (*Euonymus japonica* var. *aurea*) Species. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 815-829.

Effects of Cd and Zn Treatments on Leaf Chemical Compounds of Japanese barberry (*Berberis thunbergii*), Boxwood (*Buxus sempervirens* var. *rotundifolia*), and Gold tassel (*Euonymus japonica* var. *aurea*) Species

Erkan GENÇ¹, Nezahat TURFAN^{2*}

Highlights:

- Chemicals
- Metals
- Plants

Keywords:

- Chemicals
- Metals
- Nutrients
- Plants
- Stress

ABSTRACT:

In the present study, the effects of cadmium (25 µM and 50 µM) and zinc (200 µM and 400 µM) treatments on some bioactive compounds and mineral levels in leaves of japanese barberry, boxwood, and gold tassel genotypes were investigated. Given the results, it was determined that photosynthetic pigments were stimulated by 200 µM Zn and 400 µM Zn. Boxwood was found to be tolerant to the treatments in terms of chlorophyll and carotenoid. In contrast, japanese barberry was found to be tolerant in terms of chlorophyll b and total chlorophyll. The amount of anthocyanin was higher in the leaves of gold tassel, and boxwood and the total phenolic was higher level in gold tassel and japanese barberry in all treatments. Proline and nitrate levels were generally high in the treated groups of three plants, as well as RWC in japanese barberry and boxwood. Given the element results, japanese barberry had a higher accumulation capacity for P, S, Mn, Cl, Cd, Fe, Al, Si, Cu, Ba, Zn, Ti, and Cr, boxwood for K, Mn, Cl, Cd, Zn, Fe, Al, Si, and Cr, and Gold tassel for K, P, S, Mn, Cl, and Cd. As a result, boxwood showed a higher tolerance to 400 µM Zn, japanese barberry plant to 200 µM Zn, and 50 µM Cd. It can be said that boxwood and japanese barberry plants can be used in afforestation projects in urban parks, gardens, and roadside, as well as in areas with high soil pollution, to reduce the pollution damage.

¹ Erkan GENÇ ([Orcid ID: 0000-0002-8633-1251](https://orcid.org/0000-0002-8633-1251)), Kastamonu Central Secondary School, Center, Kastamonu, Türkiye

² Nezahat TURFAN ([Orcid ID: 0000-0002-5753-0390](https://orcid.org/0000-0002-5753-0390)), Kastamonu University, Science Faculty, Biology Department, Kuzeykent, Kastamonu, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Nezahat TURFAN, e-mail: nturfan@kastamonu.edu.tr

INTRODUCTION

Industrial and technological advancements, industrial wastes, increasing urbanization and consequent growth in population, excessive use of fossil fuels, traffic-related exhaust gases, nuclear wastes (Atmaca and Sevimoğlu, 2020; Bingöl, 2020), and improper use of fertilizers and pesticides in agricultural lands create a degradation in the physical, chemical, and biological structure of the soil and heavy metal pollution that suppress the plant development. Excessive metal accumulation in the soil prevents the intake of nutrients from the soil (Ashraf et al., 2016; Küçük and Karaoğlu, 2021), while influencing the other physiological processes affecting the growth and development such as photosynthesis, nitrogen, and respiration metabolisms, etc. (Asad et al., 2019). Many studies showed that heavy metals inhibited the synthesis of pigments, secondary metabolites, nitrogenous compounds, and other biomolecules due to mineral deficiency (Bernardini et al., 2016; Kapoor et al., 2019; Boudali et al., 2022). Furthermore, these reactions also affect the results of metal toxicity (Dadea et al., 2016). Besides, in addition to causing physiological drought by leading to water retention in the soil, it also creates a proportional decrease in water content in leaves by suppressing the transfer of water from the soil to the leaf. However, some species called “hyperaccumulators” can accumulate heavy metals without any cellular damage and maintain their lives (Kılıç and İpek, 2019; Isinkaralar, 2022). In such plants, metals can be accumulated in membranes and vacuoles or bound to ligands, like organic acids, amino acids, and metallothioneins, and their damage can be prevented. Hence, they are used as biomonitors in phytoremediation studies (Chadzinikolau et al., 2017; Isinkaralar, 2022). For this reason, selecting species having highly resistant species to heavy metals and using them in highly polluted areas are critical for ensuring the sustainability of the ecosystem and Japanese environmental pollution (Turkyilmaz et al., 2018; Kapoor et al., 2019).

Cadmium (Cd) and zinc (Zn) are two heavy metals that pollute the environment. Although Zn is toxic at low concentrations, Cd is toxic at high concentrations. Cadmium emerging as a result of zinc production and ranking 4th in global annual use of metals are released to the environment via industrial wastes, industries such as the paper industry, metal-steel industry, and phosphatic fertilizer industry, as well as batteries, chimney gases, and traffic gases (Jain et al., 2020; Muradolu et al., 2020). The main objectives of this study are to compare the effects of Cd and Zn on 1) some bioactive compounds 2) relative water content (RWC), 3) macronutrients, and 4) trace elements of Japanese barberry, boxwood, and gold tassel. The species used in the study are resistant to drought and low-temperature conditions and are widely used in park-garden and roadside greening initiatives, and hedge plant and landscape studies due to their lack of soil selectivity (Yucedag et al., 2019).

MATERIALS AND METHODS

Experimental Procedure

In the present study, 2-year-old individuals of Japanese barberry (*Berberis thunbergii*), Boxwood (*Buxus sempervirens* var. *rotundifolia*), and Gold tassel (*Euonymus japonica* var. *aurea*) species were used. The plants were assigned to the groups of control (0), cadmium (Cd:25 µM and 50 µM- CdSO₄H₂O), and zinc (Zn:200 µM and 400 µM- ZnCl₂). Cd and Zn elements were dissolved in Hoagland's nutrient solution at determined concentrations. The treatments were performed in accordance with the water retention capacity of the soil (300 ml) and from the soil. The plants in the control group were irrigated using only the nutrient solution. Metal treatments were performed using the using nutrient solution and metals. The treatments were conducted for eight weeks (2 treatments every week). The procedure was stopped when the areas containing chlorophyll decreased

approximately by 50% in leaves of gold tassel, and the leaf samples were harvested from these plants. Some were powdered using liquid nitrogen and then used in chemical analyses. Some samples were used in fresh form in RWC measurements, whereas others were used in elemental analyses.

Biochemical Measurements

Photosynthetic pigment level was determined by following the method of Lichtenthaler and Buschmann (2001). For this purpose, 0.5 g of fresh leaf tissue was extracted with 10 ml of 80% chilled acetone and centrifuged at 3500 g for 10 min. The absorbance values of the samples were recorded at 450, 645, and 663 nm, and the amount of pigment was given as mg/g. The amounts of total phenolics were estimated according to the Folin-Ciocalteu method (Singleton et al., 1999). Anthocyanin contents were determined by using the method of Mancinelli (1990). Plant material (0.5g) was homogenized with 0.5 N HCl and was centrifuged at 18000 g for 30 min. The absorbance values of samples were noted at 530 nm (UV-VIS Spectrophotometer). Anthocyanin contents were determined using cyanine chloride and expressed in $\mu\text{g/g}$ of fresh weight. Nitrate concentrations in the leaf samples were determined by following the method by Cataldo et al. (1975). The concentrations of proline were determined by using the method by Bates et al. (1973), and total soluble protein amounts were determined using the method by Bradford (1976). To measure PAL (phenylalanine-lyase) activities of the samples, 1g of fresh leaves were extracted in 5 ml of 0.1 M sodium borate buffer (pH 7.0) containing 0.1 g insoluble polyvinylpyrrolidone. The extract was filtered through cheesecloth and the filtrate was centrifuged at 15000 g for 25 min. The supernatant was used in the enzyme analysis. PAL activity was estimated as the conversion rate of L-phenylalanine to trans-cinnamic acid at 290 nm, as defined by Dickerson et al. (1984). Samples containing 0.4 ml of leaf extract were incubated with 0.5 ml of 0.1 M borate buffer, pH 8.8, and 0.5 ml of 12 mM L-phenylalanine in the same buffer for 30 min at 30 °C. The amount of trans-cinnamic acid synthesized was calculated using its extinction coefficient of 9630 1/M·cm. Enzyme activity was expressed proportionately to the fresh weight basis (nmol 1/min.g).

Determining the RWC (Relative Water Content) (%)

The relative water content of leaves was determined in the fully grown healthy leaf of plants. The fresh weight (FW) of the samples was recorded and the leaves were immersed in distilled water for 4 hours. After 4 hours, the turgid weights of the samples were recorded (TW). Samples were then dried in an oven at 65°C to constant weight, and their dry weight was recorded. The relative water content of leaves was calculated using the formula below (Chen et al., 2009).

$$\text{RWC} = (\text{FW} - \text{DW}) / (\text{TW} - \text{DW}) \times 100 \quad (1)$$

Preparation of the leaf samples to measure nutrients

Fresh, healthy, and fully developed leaf samples (100 g) were collected from four sides of three species. Leaf samples were collected and put into labelled paper bags. The leaves were cleaned using distilled water before dehydration on blotter papers. The cleaned and dehumidified samples were air-dried in a shaded area before being ground into powder using a laboratory blender and used in measurements of nutrients at the Central Research Laboratory of Kastamonu University.

Statistical analysis

One-way ANOVA (Analysis of variance) was applied to analyze the differences in the chemicals, and minerals in the leaf samples of three species. The statistical analysis was performed

using the SPSS program (Version 11 for Windows). Following the results of the ANOVAs, Tukey's honestly significant difference (HSD) test ($\alpha = 0.05$) was used to determine significance.

RESULTS AND DISCUSSION

Effects of Cd and Zn Treatments on Photosynthetic Pigments, Anthocyanin, and Phenolic Compound

Photosynthetic pigments, non-photosynthetic pigments, and phenolic compounds provide plants with different colours, odours, and tastes, as well as playing a role in stimulating tolerance to abiotic and biotic stress factors (Kapoor et al., 2019; Park et al., 2019). The changes in chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, chlorophyll a/chlorophyll b ratio, and total carotenoid (cart.) levels of Japanese barberry, boxwood, and gold tassel plants after the cadmium (Cd) and zinc (Zn) treatments are presented in Table 1. Table 2 shows the anthocyanin, total phenolic, and nitrate amounts, PAL activity, and RWC concentrations. As seen in Table 1 and Table 2, the effects of treatments on the examined bioactive compounds and RWC values significantly varied by plant species, metal type, and concentration ($p < 0.05$).

Table 1. Changes in Chlorophyll a, Chlorophyll b, total Chlorophyll, Chlorophyll a:Chlorophyll b ratio, and total carotenoid levels in Japanese barberry, boxwood, and gold tassel leaves under Cd and Zn stress

Species	Group	Chlorophyll a mg/g	Chlorophyll b mg/g	Total Chlorophyll mg/g	Total carotenoid. mg/g	Chlorophyll a:Chlorophyll b
Japanese barberry	Control	0.0021±0.0001 ^{e*}	0.0014±0.0001	0.0034±0.0001 ^e	1.15±0.004 ^e	1.56±0.04 ^d
	25 µM Cd	0.0017±0.0001 ^f	0.0007±0.0001	0.0024±0.0001 ^g	0.92±0.003 ^e	2.28±0.11 ^c
	50 µM Cd	0.0019±0.0001 ^f	0.0017±0.0001 ^g	0.0036±0.0001 ^e	1.02±0.004 ^e	1.13±0.04 ^e
	200 µM Zn	0.0028±0.0001 ^e	0.0014±0.0001 ^g	0.0042±0.0001 ^d	1.32±0.003 ^d	2.05±0.04 ^c
	400 µM Zn	0.0015±0.0001 ^g	0.0014±0.0001 ^g	0.0029±0.0001 ^f	1.32±0.002 ^d	1.10±0.02 ^e
Boxwood	Control	0.0942±0.0001 ^c	0.0473±0.0001 ^b	0.1415±0.0002 ^b	2.39±0.008 ^c	1.99±0.01 ^c
	25 µM Cd	0.1035±0.0001 ^b	0.0297±0.0001 ^c	0.1332±0.0002 ^c	7.95±0.005 ^b	3.48±0.01 ^a
	50 µM Cd	0.0730±0.0002 ^d	0.0238±0.0002 ^d	0.0968±0.0004 ^c	6.01±0.008 ^b	3.07±0.02 ^b
	200 µM Zn	0.1001±0.0001 ^b	0.0276±0.0001 ^c	0.1277±0.0002 ^c	7.34±0.006 ^b	3.63±0.01 ^a
	400 µM Zn	0.1550±0.0001 ^a	0.0884±0.0002 ^a	0.2434±0.0002 ^a	16.35±0.005 ^a	1.76±0.01 ^d
Gold tassel	Control	0.0675±0.0001 ^d	0.0894±0.0001 ^a	0.1569±0.0002 ^b	6.52±0.007 ^b	0.76±0.01 ^f
	25 µM Cd	0.0158±0.0001	0.0058±0.0003 ^f	0.0216±0.0003 ^h	1.41±0.004 ^d	2.73±0.15 ^b
	50 µM Cd	0.0179±0.0001 ^f	0.0063±0.0001 ^f	0.0242±0.0002 ^g	2.25±0.004 ^c	2.85±0.04 ^b
	200 µM Zn	0.0140±0.0001 ^g	0.0031±0.0001 ^g	0.0171±0.0002 ^h	1.73±0.005 ^d	4.53±0.10 ^a
	400 µM Zn	0.0228±0.0001 ^e	0.0102±0.0001 ^e	0.0330±0.000 ^e	2.84±0.005 ^c	2.24±0.02 ^c
F		420339.518	65759.889	197518.879	197518.879	729150.681
P		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

*: Data are mean ± standard error (n=3). Values within the column, followed by the same letter(s), are not significantly different according to Tukey's test ($P < 0.05$)

Chlorophyll b and total chlorophyll in japanese barberry and chlorophyll a, carotenoid, and chlorophyll a: chlorophyll b ratio, however, were generally higher in leaves of boxwood than the control. In gold tassel, however, the total carotenoid and chlorophyll a: chlorophyll b ratio were higher than the control (in all groups), but chlorophyll pigments were lower (Table 1).

Among the treatments, 200 μM Zn dose in japanese barberry and 400 μM Zn dose in boxwood stimulated the accumulation of photosynthetic pigments. The treatments that harmed plant pigment content were 25 μM Cd in japanese barberry, 50 μM Cd in boxwood, and 200 μM Zn in gold tassel (Table 1). Anthocyanin contents of boxwood and gold tassel leaves were higher than the control in all treatment groups, and it was higher than the control in japanese barberry for 50 μM Cd and 400 μM Zn doses (Table 2). Total phenolic content was found to decrease in japanese barberry for 50 Cd dose, boxwood for 50 μM Cd and 200 μM Zn doses, and gold tassel for 400 μM Zn dose than the control (Table 2). Given the data regarding photosynthetic pigments, anthocyanin, and total phenolic compound contents, japanese barberry showed tolerance to 200 μM Zn dose and boxwood to 400 μM Zn and 25 μM Cd doses. In contrast, japanese barberry showed sensitivity to 50 Cd dose and boxwood to 50 μM Cd dose. In terms of photosynthetic pigments, gold tassel was found to be sensitive to concentrations of both metals. However, considering total carotenoid, anthocyanin, and total phenolic compound contents, it was tolerant to all treatment groups (Table 1, Table 2). The results achieved regarding the pigments here are in parallel with the literature. Similar to the present study, it was determined that photosynthetic pigment, anthocyanin, and total phenolic compound contents were affected by the heavy metal stress in *Camellia* (Mukhopadhyay et al., 2013), *Berberis* (Subba et al., 2014; Chadzinikolau et al., 2017), and *Alyssum* and *Daphne* (Song et al., 2019) species. Yang et al. (2020) reported that, low-dose metal treatments stimulated the amount of pigments in *D. involucrata* plants subjected to Pb and Cd stress, whereas high doses had adverse effects. In another study, Dobrikova et al. (2021) determined that high-dose Zn treatment increased the anthocyanin and total phenolic compound, and the chlorophyll a contents in *Salvia sclarea*, and did not significantly affect the total carotenoid content. As authors reported, carotenoids, anthocyanins, and phenolic compounds chelate the metals or prevent peroxidation reactions through their functional groups (Zhang et al., 2014; Chadzinikolau et al., 2017) and, thus, suppress the synthesis of ROS and other toxic compounds that could damage the structure of photosynthetic instruments and pigment molecules (Park et al., 2019). The effects on heavy metal tolerance of anthocyanin and phenolic compounds were reported in detail for species such as *B. thunbergii* (Chadzinikolau et al., 2017), *Hibiscus sabdariffa* (Apáez-Barrios et al., 2018), *Kandelia obovata* (Chen et al., 2019), and *Euphorbia pulcherrima* (Moustaka et al., 2020). In these plants, it was determined that heavy metals such as Cd, Zn, Mn, and Al caused a decrease in pigment content by breaking the chlorophyll molecules down or preventing their synthesis. At the same time, they stimulated the accumulation of anthocyanin and phenolic compound contents, and that these compounds inhibited the damages by forming complexes with the metals. Cd and Zn concentrations negatively affected chlorophyll a molecule in japanese barberry, chlorophyll b and total chlorophyll molecules in boxwood, and all the pigments in gold tassel (Table 1). It was thought that the difference in pigments' response to metals might be because of the sensitivity differences in species and pigment molecules (Morales and Kaiser, 2020). Researchers claimed that chlorophyll b molecules were dominant in species tolerant of shadowing (Morales and Kaiser, 2020; Park et al., 2019). In their study, the authors related the decrease in chlorophyll pigments in all three plant species to the disintegration of pigments due to the structural damage to the chloroplast membrane by Cd and Zn treatments (Yang et al., 2020). Chen et al. (2019) and Per et al. (2016) reported that, by binding to -

SH groups of protein and enzymes, heavy metals impair the functions of enzymes that are responsible for the synthesis of chlorophyll molecules, as well as damaging the pigment complexes localized in chloroplast membranes.

Effects of Cd and Zn Treatments on PAL Activity

PAL is an enzyme that plays a role in the biosynthesis of phenolic compounds, anthocyanins, and membrane components (Głowacka et al., 2019). In the present study, when compared to the control samples, PAL activities remarkably decreased in Japanese barberry at high Cd (50 μ M Cd) and Zn (400 μ M Cd) doses. Compared to the control, enzyme activity in boxwood decreased only at the dose of 50 μ M Cd, whereas it decreased in gold tassel at all treatment doses (Table 2). When compared to the control, the highest PAL activity among the samples was found in boxwood (25 μ M- 0.247 EU), followed by Japanese barberry (200 μ M Zn-0.159 EU) and gold tassel (200 μ M Zn-0.126 EU) (Table 2).

Table 2. Changes in anthocyanin, total phenolic, proline, nitrate, PAL activity, and RWC levels in Japanese barberry, boxwood, and gold tassel leaves under Cd and Zn stress

Species	Group	Anthocyanin mg/g	Total phenolic mg/g	Proline Mmol/g	Nitrate mg/g	PAL EU mg/ Protein	% RWC
Japanese barberry	Control	1.841 \pm 0.0002 ^{h*}	16.35 \pm 0.03 ^b	91.89 \pm 0.14 ^f	7.02 \pm 0.06 ^c	0.142 \pm 0.001 ^g	48.40 \pm 0.13 ^b
	25 μ M Cd	2.094 \pm 0.0002 ⁱ	17.88 \pm 0.04 ^c	90.39 \pm 0.18 ^f	6.29 \pm 0.21 ^b	0.157 \pm 0.001 ^h	45.14 \pm 0.39 ^a
	50 μ M Cd	1.724 \pm 0.0001 ^g	13.96 \pm 0.03 ^a	106.67 \pm 0.09 ^h	7.04 \pm 0.29 ^b	0.115 \pm 0.001 ^e	52.42 \pm 0.08 ^b
	200 μ M Zn	2.020 \pm 0.0002 ⁱ	17.88 \pm 0.03 ^c	109.90 \pm 0.09 ⁱ	8.74 \pm 0.06 ^c	0.159 \pm 0.002 ^h	54.36 \pm 0.29
	400 μ M Zn	1.492 \pm 0.0002 ^f	16.88 \pm 0.02 ^c	100.21 \pm 0.14 ^g	7.88 \pm 0.03 ^c	0.114 \pm 0.001 ^e	67.15 \pm 0.16 ^h
Boxwood	Control	0.294 \pm 0.0001 ^c	15.20 \pm 0.14 ^b	54.50 \pm 0.07 ^c	3.71 \pm 0.19 ^b	0.146 \pm 0.001	60.53 \pm 0.10 ^d
	25 μ M Cd	0.385 \pm 0.007 ^e	18.40 \pm 0.02 ^c	60.33 \pm 0.04 ^d	4.94 \pm 0.03 ^b	0.247 \pm 0.001 ⁱ	66.76 \pm 0.56 ^g
	50 μ M Cd	0.322 \pm 0.004 ^d	14.79 \pm 0.03 ^b	54.34 \pm 0.04 ^c	4.58 \pm 0.26 ^b	0.128 \pm 0.001 ^f	56.8 \pm 0.30 ^c
	200 μ M Zn	0.324 \pm 0.0001 ^d	12.40 \pm 0.02 ^a	55.08 \pm 0.07 ^c	5.78 \pm 0.08 ^b	0.210 \pm 0.003 ⁱ	61.66 \pm 0.15 ^d
	400 μ M Zn	0.312 \pm 0.0001 ^d	16.49 \pm 0.04 ^b	63.27 \pm 0.03 ^e	7.40 \pm 0.06 ^c	0.193 \pm 0.001	65.42 \pm 0.16 ^f
Gold tassel	Control	0.205 \pm 0.0001 ^a	15.06 \pm 0.02 ^b	35.35 \pm 0.03 ^b	2.26 \pm 0.03 ^a	0.075 \pm 0.001 ^a	65.93 \pm 0.51 ^f
	25 μ M Cd	0.339 \pm 0.0002 ^d	26.44 \pm 0.05 ^d	25.84 \pm 0.03 ^a	1.94 \pm 0.03 ^a	0.108 \pm 0.001 ^d	63.51 \pm 0.26 ^e
	50 μ M Cd	0.269 \pm 0.0001 ^b	17.91 \pm 0.03 ^c	36.93 \pm 0.05 ^b	3.21 \pm 0.15 ^a	0.093 \pm 0.001 ^b	65.85 \pm 0.29 ^f
	200 μ M Zn	0.299 \pm 0.0001 ^c	18.10 \pm 0.04 ^c	36.11 \pm 0.04 ^b	3.33 \pm 0.16 ^a	0.126 \pm 0.001 ^f	62.39 \pm 0.22 ^d
	400 μ M Zn	0.338 \pm 0.0001 ^d	15.93 \pm 0.05 ^b	36.40 \pm 0.07 ^b	3.28 \pm 0.03 ^a	0.096 \pm 0.001 ^c	63.86 \pm 0.31 ^e
F		6839.1	4408.33	14985.46	240.23	3188.944	444352.26
P		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

*: Data are mean \pm standard error (n=3). Values within the column, followed by the same letter(s), are not significantly different according to Tukey's test ($P < 0.05$)

In terms of the PAL activity, the tolerance of species to treatments was found to be gold tassel > boxwood > japanese barberry (Table 2). The changes in PAL activity overlapped with the changes in anthocyanin and total phenolic content. At the doses with high PAL activity, both compound contents are generally high. PAL activities of gold tassel and boxwood were generally high and this was thought to be because these species generally have a greater cambial change and membrane activity than japanese barberry. Japanese barberry morphologically has a shrub-like form and, thus, a leaner structure in comparison to two other plants (DeGasperis and Motzkin, 2007). Hence, the changes in the phenolic compound and anthocyanin contents proved this result (Table 2). The results regarding the change in PAL activity are in parallel with the literature. The increase in PAL activity in plants subjected to heavy metal stress was proven for pepper (Koç and İşlek, 2015), Plantago (Kundu et al., 2018), and pea (Głowacka et al., 2019) plants. Similarly, Jain et al. (2020) for corn seedlings exposed to Zn stress and Chen et al. (2018) for *K. obovata* plants subjected to Cd (2.5 ppm) and Zn (100 ppm) stress determined that the biosynthesis pathway of phenolic compounds increased the PAL enzyme activities.

Effect of Cd and Zn Treatments on Proline and Total Nitrate Contents

As seen in Table 2, Cd and Zn treatments generally caused an increase in proline and total nitrate contents. Besides that, 25 µM Cd dose in japanese barberry and gold tassel and 50 µM Cd dose in boxwood resulted in a decrease in nitrate and proline content in comparison to the control. When compared to the control, the highest nitrate and proline contents were found at 200 µM Zn dose in japanese barberry and at 400 µM Zn dose in boxwood (Table 2). While the nitrate content was at its highest level in gold tassel at 200 µM Zn dose, proline content reached the highest level at 50 µM Cd dose (Table 2). Given the nitrate and proline results, plants' tolerance to Zn concentrations was found to be higher in comparison to the tolerance to Cd concentrations (Table 2). Similar to the present study, Kandzióra-Ciupa et al. (2016) examined Cd, Fe, Mn, Pb, and Zn treatments, and Modirroosta et al. (2014) examined Cd toxicity, and they reported that these treatments increased the proline content in needles of scot pine and they played an essential role in the elimination of the harmful effects of metals on -SH groups of proteinic and non-proteinic compounds. Moreover, Boudalı et al. (2022) determined that high Zn (2 mM) doses significantly increased the proline, free amino acid, total polyphenol, and flavonoid contents of *Lepidium sativum*, while Zhao et al. (2021) reported that proline content increased with increasing Cd concentration in the saffron plant. Pan et al. (2020) found that Zn accumulation stimulated the nitrate accumulation in *Arabidopsis* and that, in these plants, Zn accumulation might be related to the nitrate-dependent pathway. Zemanová et al. (2013) concluded that Cd stress increased the proline accumulation in *Noccaea caerulea* and *Arabidopsis halleri*, whereas Singh et al. (2016) reported Cd stress decreased the nitrate content in tissues by preventing the enzyme activities but stimulated the amino acid accumulation. In the present study, high nitrate content was related to high phenolic compounds, anthocyanin, and proline contents. In literature, it was stated that proline accumulation in herbal tissues under stressful conditions was a common phenomenon and that, binding the metals, proline, phenols, and anthocyanins would protect the tissues from damage by metals (Modirroosta et al., 2014; Rady et al., 2016). Chen et al. (2019), and Yoo et al. (2020), reported that proline played an essential role in the glutamate pathway and nitrate metabolism, as well as ATP synthesis. The differences in amounts of nitrate and proline might probably have arisen from species' nitrogen metabolism, differences in the mechanism of nitrate transfer from the xylem to the cytoplasm, and differences in the effects of metals on nitrogen metabolism (Hachiya and Sakakibara, 2017; Pan et al., 2020).

Effect of Cd and Zn Treatments on Relative Water Content

The water content of the leaf is an indicator of critical water level ensuring the optimal development of plants and plays a vital role in osmosis and turgor events, transpiration, and material transfer (Rucinńska-Sobkowiak, 2016). RWC content of plants ranged between 45.14% and 67.15% and it was found to be generally high in leaves of japanese barberry and boxwood and low in leaves of gold tassel in all the treatments (Table 2). Moreover, RWC content decreased by 25 μM Cd dose in Japanese barberry and 50 μM Cd dose in boxwood. RWC results were found to overlap with the literature data. Researchers reported that heavy metals affected the plant-water relationships such as water absorption from the soil, transfer of water to leaves, and turgor and osmosis processes in the leaf (Yee et al., 2005; De Silva et al., 2012) and, in case of a decrease in RWC, chlorophyll pigments disintegrated, and senescence was stimulated (Rucinńska-Sobkowiak, 2016). In the present study, low levels of RWC, and pigments in gold tassel leaves subjected to stress, well as low RWC values but high levels of chlorophyll pigments in japanese barberry and boxwood leaves prove this finding (Danquah et al., 2014). RWC values that were low in japanese barberry and boxwood species, but high in gold tassel were related to the differences between species' metal stress tolerance (Rady et al., 2016). Besides that, the fact that the proline accumulation and carotenoid content in gold tassel leaves were lower than the other two species might have affected this result (Modirroosta et al., 2014; Rady et al., 2016).

Effects of Cd and Zn Treatments on Macro-Elements and Trace Elements

Plants must take nutrient elements from the air, water, and soil in the environment, where they grow, for optimal growth and development. While the level of essential elements in the plant is high, that of trace elements is low (Kopriva et al., 2019; Küçük and Karaoğlu, 2021). The changes in Mg, P, S, K, and Ca contents (mg/kg) found in the present study are presented in Table 3. The mean Mg, P, S, K, and Ca values (mg/kg) of the species were found to be 1485-7840, 1957-7872, 2653-4126, 13530-25370, and 24600-41260, respectively (Table 3).

Table 3. Changes in Mg, P, S, K, and Ca contents of the leaves of japanese barberry, boxwood, and gold tassel under Cd and Zn stress

Species	Group	Mg	P	S	K	Ca
Japanese barberry	Control	2849 \pm 45 [*]	5009 \pm 6 ^f	2849 \pm 3 ^f	24000 \pm 30 ^c	36750 \pm 30 ^c
	25 μM Cd	7639 \pm 46 ^b	6948 \pm 8 ^b	3754 \pm 4 ^b	19790 \pm 30 ^d	36430 \pm 30 ^c
	50 μM Cd	7152 \pm 44 ^c	5982 \pm 7 ^c	3401 \pm 4 ^d	25370 \pm 30 ^b	37460 \pm 30 ^b
	200 μM Zn	7317 \pm 45 ^c	7872 \pm 8 ^a	4126 \pm 4 ^a	24030 \pm 30 ^c	38970 \pm 30 ^b
	400 μM Zn	7504 \pm 45 ^b	5675 \pm 7 ^d	3319 \pm 4 ^d	23000 \pm 30 ^c	35650 \pm 30 ^c
Boxwood	Control	3855 \pm 38 ^e	2369 \pm 5 ⁱ	2927 \pm 4 ^f	13530 \pm 20 ^h	25500 \pm 30 ^f
	25 μM Cd	4009 \pm 38 ^d	2737 \pm 5 ^h	2668 \pm 3 ^g	15460 \pm 20 ^f	25950 \pm 30 ^f
	50 μM Cd	3819 \pm 38 ^e	1957 \pm 4 ^j	3012 \pm 4 ^f	18820 \pm 20 ^e	24760 \pm 30 ^g
	200 μM Zn	3598 \pm 36 ^e	2313 \pm 4 ⁱ	2763 \pm 3 ^g	17840 \pm 20 ^e	24600 \pm 30 ^g
	400 μM Zn	3951 \pm 37 ^d	2563 \pm 4 ⁱ	2653 \pm 3 ^g	14160 \pm 20 ^g	25500 \pm 30 ^f
Gold tassel	Control	1647 \pm 21 ^h	2265 \pm 4 ⁱ	3062 \pm 3 ^f	16980 \pm 20 ^e	41260 \pm 30 ^b
	25 μM Cd	1756 \pm 23 ^g	2833 \pm 4 ^g	3243 \pm 3 ^e	23360 \pm 30 ^c	34970 \pm 30 ^d
	50 μM Cd	1580 \pm 22 ^h	2477 \pm 4 ⁱ	3559 \pm 4 ^c	21360 \pm 30 ^d	34330 \pm 30 ^d
	200 μM Zn	1787 \pm 23 ^g	2425 \pm 4 ⁱ	3493 \pm 4 ^d	20090 \pm 30 ^d	31970 \pm 30 ^e
	400 μM Zn	1485 \pm 21 ⁱ	2641 \pm 4 ^h	3356 \pm 4 ^d	19580 \pm 20 ^d	37930 \pm 30 ^b
	Soil	12950 \pm 60 ^a	5195 \pm 2.8 ^e	3074 \pm 3 ^f	27540 \pm 30 ^a	111700 \pm 100 ^a
F		9235096.537	6001092.63	327564.155	21837747.43	49502626.68
P		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

*: Data are mean \pm standar error (n=3). Values within the column, followed by the same letter(s), are not significantly different according to Tukey's test ($P < 0.05$)

Examining the effects of treatments on Mg content, it was determined that Mg content in Japanese barberry increased in all the treatment groups when compared to the control. Partial increases, however, were observed at the doses of 25 μM Cd and 400 μM Zn in boxwood and 25 μM Cd and 200 μM Zn doses in gold tassel (Table 3). Mean P contents were higher in Japanese barberry and gold tassel than in control. Nevertheless, it was found to be lower in boxwood than the control at the doses of 50 μM Cd and 200 μM Zn (Table 3). But 50 μM Cd decreased P content. This can be explained by the fact that Cd suppressed P uptake in plants (Chafei et al., 2004). Examining the mean S contents, it showed an increase in Japanese barberry and gold tassel in all the treatment groups when compared to the control but increased in boxwood only at the dose of 50 μM Cd. The treatments increased the K content in boxwood and gold tassel compared to the control but, in Japanese barberry, the doses of 25 μM Cd and 400 μM Zn decreased it (Table 3). Ca contents tended to decrease in all three species compared to the control. However, Ca contents of 200 μM Zn in Japanese barberry and at the doses of 25 μM Cd and 400 μM Zn in boxwood were higher than the control (Table 3). As seen in Table 2, the sort of macronutrient elements by the amount is $\text{Ca} > \text{K} > \text{P} > \text{Mg} > \text{S}$ (Table 3). Japanese barberry was found to be rich in P and S elements, while gold tassel was found to be rich in K, P, and S elements. On the other hand, Japanese barberry had low values in terms of Mg and Ca, while boxwood yielded low S values, and gold tassel yielded low Ca values (Table 3). Moreover, Japanese barberry was found to be tolerant to 50 μM Cd and 200 μM Zn doses, boxwood to 25 μM Cd and 400 μM Zn doses, and gold tassel to 25 μM Cd and 200 μM Zn doses. The differences between the effects of treatments on the macronutrient contents of leaves of species were related to the differences between species' accumulation capacity differences, element transfer speed differences, and also the differences in interaction with Cd and Zn metals (Maillard et al., 2015). It was reported in detail that macronutrient elements were generally found at high levels because of their biological functions in herbaceous and woody species (Kapoor et al., 2019). K plays a role in controlling the osmosis-turgor events and protein synthesis. In contrast, S plays a significant role in physiological processes such as involvement in the structure of enzymes, proteins, and vitamins, as well as stimulating the resistance to metal stress by creating S-containing phyto-gelatins (Kopriva et al., 2019). Ca participates in enzyme activation and membrane structure, whereas Mg plays an influential role in chlorophyll synthesis and enzyme activations (Zhang et al., 2018). P is an element found in many compounds, such as sugars, ATP, and DNA (Kopriva et al., 2019). Researchers reported that K, P, S, and Mg are the dominant elements in plant cells because of their high transfer speed in the phloem, that high K content suppressed Ca and Mg intake, but high P and Ca contents decreased the K intake, and that it was because of these elements competitiveness about binding to metabolites (Maillard et al., 2015).

Trace elements such as Fe, Zn, Mn, Ni, Cu, Co, and Cr are essential for the biosynthesis of chlorophyll and secondary metabolites, carbohydrates, and other growth substances (Modirroosta et al., 2014). However, they are toxic effects at high concentrations, and hence, they are called heavy metals (Asad et al., 2019; Isinkaralar, 2022). Mn concentration showed an increase in Japanese barberry compared to the control, whereas it decreased in boxwood and gold tassel at the treatment dose of 400 μM Zn. Compared to the control, the highest Mn content was found to be in Japanese barberry at 400 μM Zn doses and in boxwood and gold tassel at 50 μM Cd dose (Table 4). Fe contents of Japanese barberry and boxwood were higher than the control in all the treatment groups, whereas it was higher than the control in gold tassel only at the dose of 50 μM Cd. Compared to the control, the highest Fe content (Japanese barberry and boxwood) was achieved from the 25 μM Cd treatment. Co content of Japanese barberry was found to be higher than the control in all the treatment groups,

Effects of Cd and Zn Treatments on Leaf Chemical Compounds of Japanese barberry (*Berberis thunbergii*), Boxwood (*Buxus sempervirens* var. *rotundifolia*), and Gold tassel (*Euonymus japonica* var. *aurea*) Species

whereas it was higher than the control in boxwood in Cd treatments and in gold tassel at 200 μM Zn dose. Ni content was determined to be higher than the control in all three plants, while the highest Ni contents were observed in Cd treatments (Table 4). Treatments resulted in an increase in Cu content in japanese barberry and gold tassel. However, there was a decrease in boxwood at 200 μM Zn. Cd and Zn doses decreased the Zn content in japanese barberry and boxwood at the dose of 25 μM Cd but increased in other doses. However, Zn content of the gold tassel at 25 μM Cd was higher than the control. Given the species, Cd content was higher than the control in all the treatment groups. Especially the dose of 50 μM Cd yielded four-fold increase in japanese barberry.

Table 4. Changes in Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Cd, and Zn (ppm) contents of the leaves of japanese barberry, boxwood, and gold tassel under Cd and Zn stress

Species	Group	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Cd	Zn
Japanese barberry	Control	63.9 \pm 0.5 ^{f*}	1226 \pm 3.0 ^h	9.5 \pm 1.4 ^c	11.6 \pm 0.3 ^c	5.2 \pm 0.3 ^e	3.2 \pm 0.3 ^e	22.7 \pm 0.3 ^e
	25 μM Cd	89.7 \pm 0.6 ^b	3650 \pm 6.0 ^a	10.9 \pm 1.4 ^b	19.0 \pm 0.3 ^a	8.4 \pm 0.3 ^d	13.2 \pm 0.5 ^b	22.2 \pm 0.3 ^e
	50 μM Cd	74.4 \pm 0.5 ^d	2269 \pm 4.0 ^d	7.6 \pm 1.3 ^d	14.1 \pm 0.24	7.5 \pm 0.3 ^d	14.2 \pm 0.5 ^b	35.7 \pm 0.3 ^b
	200 μM Zn	90.1 \pm 0.6 ^b	2818 \pm 5.0 ^c	10.5 \pm 1.5 ^c	16.4 \pm 0.3 ^b	8.2 \pm 0.3 ^d	4.3 \pm 0.4 ^d	37.6 \pm 0.3 ^b
	400 μM Zn	91.5 \pm 0.6 ^b	3413 \pm 6.0 ^b	13.6 \pm 1.6 ^b	16.3 \pm 0.3 ^b	7.9 \pm 0.3 ^d	5.2 \pm 0.4 ^c	35.3 \pm 0.3 ^b
	Boxwood	Control	79.6 \pm 3 ^d	1112 \pm 0.5 ⁱ	8.8 \pm 1.4 ^d	13.8 \pm 0.3 ^c	6.7 \pm 0.3 ^e	3.0 \pm 0.3 ^e
25 μM Cd		88.8 \pm 0.6 ^b	2090 \pm 4.0 ^e	12.5 \pm 1.7 ^b	15.3 \pm 0.3 ^b	6.9 \pm 0.3 ^e	11.4 \pm 0.5 ^b	17.4 \pm 0.2 ^f
50 μM Cd		93.6 \pm 0.6 ^b	1755 \pm 4.0 ^f	10.5 \pm 1.6 ^c	15.5 \pm 0.3 ^b	8.2 \pm 0.3 ^d	30.3 \pm 0.5 ^a	26.1 \pm 0.3 ^d
200 μM Zn		85.2 \pm 0.5 ^c	1415 \pm 3.0 ^g	6.3 \pm 1.2 ^e	14.4 \pm 0.3 ^b	6.8 \pm 0.3 ^e	5.7 \pm 0.4 ^c	31.4 \pm 0.3 ^c
400 μM Zn		78.7 \pm 0.5 ^d	1385 \pm 3.0 ^g	7.1 \pm 1.3 ^d	13.9 \pm 0.3 ^c	5.6 \pm 0.3 ^e	3.8 \pm 0.4 ^d	24.7 \pm 0.3 ^d
Gold tassel		Control	53.0 \pm 0.4 ^g	605.8 \pm 2.2 ⁱ	9.6 \pm 1.5 ^c	12.3 \pm 0.3 ^c	13.8 \pm 0.3 ^b	3.0 \pm 0.3 ^e
	25 μM Cd	60.5 \pm 0.5 ^f	539.8 \pm 2.1 ^j	6.9 \pm 1.2 ^d	12.3 \pm 0.3 ^c	11.0 \pm 0.3 ^c	3.4 \pm 0.4 ^d	25.7 \pm 0.3 ^d
	50 μM Cd	68.4 \pm 0.5 ^e	608.4 \pm 2.2 ⁱ	5.9 \pm 1.1 ^e	13.1 \pm 0.3 ^c	13.2 \pm 0.3 ^b	3.9 \pm 0.4 ^d	22.9 \pm 0.3 ^e
	200 μM Zn	62.6 \pm 0.5 ^f	507 \pm 2.0 ^j	11.5 \pm 1.6 ^b	11.7 \pm 0.3 ^c	12.1 \pm 0.3 ^b	3.5 \pm 0.4 ^d	20.0 \pm 0.2 ^f
	400 μM Zn	52.7 \pm 0.4 ^g	543.6 \pm 2.1 ^j	8.7 \pm 1.4 ^d	12.5 \pm 0.3 ^c	14.6 \pm 0.3 ^b	3.1 \pm 0.3 ^e	23.3 \pm 0.3 ^e
	Soil		460.5 \pm 2.0 ^a	34960 \pm 30 ^b	33.8 \pm 3.8 ^a	19.88 \pm 0.3 ^a	36.8 \pm 0.7 ^a	3.45 \pm 0.3 ^d
F		1996904.146	2532200.378	107899.665	23531.404	230174.122	469285.63	153249.26
P		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

*Data are mean \pm standar error (n=3). Values within the column, followed by the same letter(s), are not significantly different according to Tukey's test ($P < 0.05$)

Considering the effects of Cd and Zn treatments on the Na and Cl elements, it was determined that Na content decreased in all treatment groups in comparison to the control in all plants, except for 400 μM Zn dose (japanese barberry). On the other hand, Cl content was found to increase in all the treatment groups, except for 25 μM Cd dose (japanese barberry and boxwood) (Table 5). Al, Cr, and Ti contents increased compared to the control in all the treatments in japanese barberry and boxwood (Table 4). In japanese barberry, in comparison to the control, Al and Cr were found to decrease with all treatments, whereas Ti increased by only 50 μM Cd (Table 5). The recorded values of Al, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, and Ti concentrations in the three species were agreed with the early investigation. Many studies have shown that the ten most important in atmospheric heavy metal pollution arising

Effects of Cd and Zn Treatments on Leaf Chemical Compounds of Japanese barberry (*Berberis thunbergii*), Boxwood (*Buxus sempervirens* var. *rotundifolia*), and Gold tassel (*Euonymus japonica* var. *aurea*) Species

from heavy traffic, fossil fuels, steel and iron industry, and mining are Fe, Al, Zn, Cd, Cr, Ti, Mn, Cu, V, Ni, Cr (Dobrikova et al., 2021; Turfan et al., 2021). Dadea et al. (2016) determined that Cd, Cu, Mn, and Zn concentrations in some woody plants, growing under polluted areas increased compared to the unpolluted sites. Turkyılmaz et al. (2018) similarly determined that the dominantly accumulated metals in the rings of *Acer platanoides* grown in polluted areas were Al, Fe, Mn, Zn, Ni, Cd, and Co. In another study, it has been shown that Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, and Pb concentrations were at the highest level in the leaves of the six trees grown in the polluted area (Turfan et al., 2021).

Table 5. Changes in Na, Cl, A, Cr, and Ti contents of the leaves of japanese barberry, boxwood, and gold tassel under Cd and Zn stress

Species	Group	Na	Cl	Al	Cr	Ti
Japanese barberry	Control	3480±210 ^{c*}	3629±3.0 ^g	4518±14 ^f	8.1±0.2 ^g	158.4±1.4 ^f
	25 µM Cd	3120±220 ^d	3579±3.0 ^g	9655±21 ^b	30.0±0.4 ^b	404.0±2.3 ^b
	50 µM Cd	2730±210 ^e	3945±3.0 ^f	6422±17	14.4±0.3 ^e	268.9±1.9 ^d
	200 µM Zn	1900±220 ^g	3934±3.0 ^f	6253±17	24.8±0.3 ^c	300.3±2.1 ^c
	400 µM Zn	3620±220 ^b	4333±3.0 ^e	8550±20 ^c	21.6±0.3 ^d	426.4±2.2 ^b
Boxwood	Control	2230±250 ^f	6894±5.0 ^c	3156±13 ^b	6.5±0.2 ^h	113.0±1.1 ⁱ
	25 µM Cd	1570±240 ⁱ	6594±5.0 ^d	5288±17 ^d	9.6±0.2 ^f	198.8±1.5 ^d
	50 µM Cd	1860±260 ^g	8977±6.0 ^a	4176±15 ^g	7.8±0.2 ^g	173.0±1.3 ^e
	200 µM Zn	1540±250 ⁱ	8072±5.0 ^a	4172±15 ^g	7.6±0.2 ^g	122.9±1.3 ^h
	400 µM Zn	1720±240 ^h	7563±5.0 ^b	4784±15 ^e	7.4±0.2 ^g	149.0±1.2 ^g
Gold tassel	Control	710±160 ⁱ	703.3±1.0 ^j	2179±9 ⁱ	5.9±0.2 ^h	100.3±1.1 ⁱ
	25 µM Cd	410±170 ^k	823.9±1.1 ⁱ	1892±9 ^j	5.2±0.1 ⁱ	88.9±1.0 ^j
	50 µM Cd	620±170 ^j	1068±1.0 ^h	2039±9 ⁱ	5.0±0.1 ⁱ	100.5±1.1 ⁱ
	200 µM Zn	420±170 ^k	859.9±1.2 ⁱ	2064±9 ⁱ	5.4±0.1 ^h	81.9±1.0 ^k
	400 µM Zn	390±170 ^k	783.1±1.1 ⁱ	1572±8 ^k	5.2±0.1 ⁱ	90.9±1.0 ^j
Soil		9600±200 ^a	6977±60 ^c	65180±70 ^a	127.8±1.3 ^a	3746±10 ^a
F		1955420.668	15770304.06	5229942.238	114476.203	558096.166
P		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

*Data are mean ± standar error (n=3). Values within the column, followed by the same letter(s), are not significantly different according to Tukey's test ($P < 0.05$)

It has been reported that although Fe, Zn and Cu are low mobility and Mn is an immobile element, they are essential minerals in metabolic, and physiological processes and can be found in high amounts in leaf tissue (Maillard et al., 2015; Muradolu et al., 2020). It is well documented that tolerant genotypes can accumulate more heavy metals in their tissues without any damage, and the concentrations of As, I, Sn, and Cr in trees are generally lower than that of Fe, Mn, Al, Zn, Ni, and Cu (Bernardini et a., 2016; Zhang et al., 2017).

CONCLUSION

In the present study, the effects of Cd (25-50 µM) and Zn (200-400 µM) treatments on some bioactive compounds and minerals in japanese barberry, boxwood, and gold tassel plants were examined. The sorting of species in terms of chlorophyll molecules was Japanese barberry, Boxwood, and Gold tassel. Considering the raito of chlorophyll a: chlorophyll b ratio, the same sorting was Gold tassel, Boxwood, and Japanese barberry. The sorting of species by total phenolic, anthocyanin, proline, and nitrate contents was gold tassel, boxwood, and japanese barberry. Considering all the bioactive components examined here, japanese barberry tolerated 200 µM Zn, boxwood tolerated 25 µM Cd and 400 µM Zn, and gold tassel tolerated 50 µM Cd. Given the effects of treatments on the nutrient elements in species, the macronutrient elements found in leaves at the most were Ca, K, Mg, P, and S. Mg, P, S, Al, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Cd, and Ti contents showed an increase in japanese barberry leaves in all the treatments. In contrast, K, Al, Mn, Fe, Ni, Cd, and Ti increased in boxwood leaves and P, S,

K, Cl. However, Cd contents increased in gold tassel. Among the metals used, Cd increased together with increasing concentration in all three species, but Cd accumulation in gold tassel leaves was found to be lower than in the other two species. Zn accumulation increased depending on the concentration. Besides that, compared to the control, Zn content in Japanese barberry and boxwood leaves decreased at 25 µM Cd dose, whereas it increased in gold tassel leaves at this dose but decreased at other doses. Given all the results, it can be stated that Japanese barberry was tolerant to 200 µM Zn and 50 µM Cd doses and Boxwood was tolerant to 400 µM Zn dose, and that both of these plants can be effectively used in urban parks, gardens, and roadside planting projects. Additionally, using these species in highly polluted areas might be effective in air pollution studies.

Conflict of Interest

The article authors declare that there is no conflict of interest between them.

Author's Contributions

The authors declare that they have contributed equally to the article.

REFERENCES

- Apáez-Barrio, P., Pedraza-Santos, M.E., Rodríguez-Mendoza, M.N., Raya-Montaña, Y.A., & Jaén-Contreras, D. (2018). Yield and anthocyanin concentration in *Hibiscus sabdariffa* L. with foliar application of micronutrients. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 24(2), 107-120.
- Asad, S.A., Farooq, M., Afzal, A., & West, H. (2019). Integrated phytobial heavy metals remediation strategies for a sustainable clean environment. *Chemosphere*, 217, 925-941.
- Ashraf, M.Y., Roohi, M., Iqbal, Z., Ashraf, M., Öztürk, M., & Gücel, S. (2016). Cadmium (Cd) and lead (Pb) induced changes in growth, some biochemical attributes, and mineral accumulation in two cultivars of mung bean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). *Communication in Soil Sciences and Plant Analysis*, 47(4), 405-413.
- Atmaca, Ç., & Sevimoğlu, O. (2020). Determination of city-based greenhouse gas emissions: the case study of Kocaeli Province. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10(3), 1616-1627.
- Bates L.S., Waldren R.P., & Teare I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant Soil*, 39, 205-207.
- Bernardini, A., Salvatori, E., Guerrini, V., Fusaro, L., Canepari S., & Manes, F. (2016). Effects of high Zn and Pb concentrations on *Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex. Steudel: Photosynthetic performance and metal accumulation capacity under controlled conditions. *International Journal of Phytoremediation*, 18, 16-24.
- Bingöl, Z. (2020). Dust emission from stone quarry and environmental permitting process. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10(1), 84-90.
- Boudali, G., Ghnaya, T., Ben-Aabdellah, S., Chalah A., Sebi, A., Ourghi, Z., & Chaffei-Haoari, C. (2022). Zincum metallicum, a homeopathic drug, alleviates Zn-induced toxic effects, and promotes plant growth and antioxidant capacity in *Lepidium sativum*. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(22), 33872-33884.
- Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72 (1-2), 248-254.
- Cataldo, D.A., Haroon, M., Schrader, L.E., & Youngs, V.L. (1975). Rapid colourimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 6, 71-80.
- Chadzinikolau, T., Kozłowska, M., & Mleczek, M. (2017). Induction of phytochelatin and flavonoids in Cadmium polluted *Berberis thunbergii*. *Dendrobiology*, 77, 139-146.

- Chaffei, C., Pageau, K., Suzuki, A., Gouia, H., Ghorbel, M.H., & Masclaux-Daubresse, C. (2004). Cadmium toxicity induced changes in nitrogen management in lycopersicon esculentum leading to a metabolic safeguard through an amino acid storage strategy. *Plant Cell Physiology*, 5(11),1681-1693.
- Chen, J., Shiyab, S., Han, F.X., Monts, D.L., Waggoner, A.W., & Su, Z.Y. (2009). Bioaccumulation and physiological effects of mercury in *Pteris vittata* and *Nephrolepis exaltata*. *Ecotoxicology*, 18, 110-121.
- Chen, S., Wang, Q., Lu, H., Li, J., Yang, D., Liu, J., & Yan, C. (2019). Phenolic metabolism and related heavy metal tolerance mechanism in *Kandelia obovata* under Cd and Zn stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 169, 134-143.
- Dadea, C., Bacchiocchi, S.C., Rocca, N., Mimmo, T., Russo, A., & Zerbe, S. (2016). Heavy metal accumulation in urban soils and deciduous trees in the City of Bolzano, N Italy. *Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz. Forest Ecology, Landscape Research and Nature Conservation*, 15,35-42.
- Danquah, A., de Zelicourt, A., Colcombet, J., & Hirt, H. (2014). The role of ABA and MAPK signalling pathways in plant abiotic stress responses. *Biotechnology Advances*, 32, 40-52.
- De Silva, N.D.G., Cholewa, E., & Ryser, P. (2012). Effects of combined drought and heavy metal stresses on xylem structure and hydraulic conductivity in japanese maple (*Acer rubrum* L.). *Journal of Experimental Botany*, 63(16), 5957-5966.
- DeGasperi, B.G., & Motzkin, G. (2007). Windows of opportunity: Historical and ecological controls on *Berberis thunbergii* invasions. *Ecology*, 88, 3115-3125.
- Dickerson, D.P, Pascholati, S.F., Hagerman, A.E., Butler, L.G., & Nicholson, R.L. (1984). Phenylalanine ammonia-lyase and hydroxycinnamate: CoA ligase in maize mesocotyls inoculated with *Helminthosporium maydis* or *Helminthosporium carbonum*. *Physiological Plant Pathology*, 25, 111-123.
- Dobrikova, A., Apostolova, E., Hanć, A., Yotsova, E., Borisova, P., Sperdouli, I., Adamakis, I.S., & Moustakas, M. (2021).Tolerance mechanisms of the aromatic and medicinal plant *Salvia sclarea* L. to excess zinc. *Plants*, 10 (2), 194.
- Głowacka, K., Zróbek-Sokolnik, A., Okorski, A., & Najdzion, J. (2019). The effect of cadmium on the activity of stress-related enzymes and the ultrastructure of pea roots. *Plants*, 8(10), 413.
- Hachiya, T., & Sakakibara, H. (2017). Interactions between nitrate and ammonium in their uptake, allocation, assimilation, and signaling in plants. *Journal of Experimental Botany*, 68(10), 2501-12.
- Isinkaralar, K. (2022). Some atmospheric trace metals deposition in selected trees as a possible biomonitor. *Romanian Biotechnological*, 27(1),3227-3236.
- Jain, D., Kour, R., & Bhojiya, A.A. (2020). Zinc tolerant plant growth promoting bacteria alleviates phytotoxic effects of zinc on maize through zinc immobilization. *Scientific Reports*, 10(1), 13865.
- Kandziora-Ciupa, M., Ciepał, R., Nadgońska-Socha, A., & Barczyk, G. (2016). Accumulation of heavy metals and antioxidant responses in *Pinus sylvestris* L. needles in polluted and non-polluted sites. *Ecotoxicology*, 25, 70-981.
- Kapoor, D., Singh, M.P., Kaur, S., Bhardwaj, R, Zheng, B, & Sharma, A. (2019). Modulation of the functional components of growth, photosynthesis, and anti-oxidant stress markers in cadmium exposed *Brassica juncea* L. *Plants*, 8 (8), 260.
- Kılıç, D.D., & İpek, A. (2019). Removal of lead pollution from treatment sludge by chelate supported phytoremediation method using some agricultural plant. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 9(1), 458-467.
- Koç, E., & İşlek, C. (2015). The effect of cadmium on phenylalanine ammonia lyase activity and lipid peroxidation in pepper (*Capsicum annuum* L.) seedlings. *Artvin Coruh University Journal of Forestry Faculty*, 16(1), 50-54.
- Kopriva, S., Malagoli, M., & Takahashi, H. (2019). Sulfur nutrition: impacts on plant development, metabolism, and stress responses. *Experimental Botany*,70(16), 4069-4073.

- Kundu, D., Dey, S., & Sen Raychaudhuri, S. (2018). Chromium (VI)- induced stress response in the plant *Plantago ovata* Forsk in vitro. *Genes and Environment*, 40, 21.
- Küçük C, & Karaoğlu M, 2021. Heavy metal pollution in the agricultural soils alongside highway 080 of Iğdir province. *European Journal of Science and Technology*, 25: 325-333.
- Lichtenthaler, H.K., & Buschmann, C. (2001). Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization b UV-VIS Spectroscopy. *In Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, F4.3.1-F4.3.8.
- Maillard A., Diquélou, S., Billard, V., Lainé, P., Garnica, M., Prudent, M., Garcia-Mina, J.M., Yvin, J.C., & Ourry, A. (2015). Leaf mineral nutrient remobilization during leaf senescence and modulation by nutrient deficiency. *Front Plant Science*, 6, 317.
- Mancinelli, A.L. (1990). Interaction between light quality and light quantity in the photoregulation of anthocyanin production. *Plant Physiology*, 92,1191-1195.
- Modirroosta, S., Ardalan, M.M., & Bayramzadeh, V. (2014). Impact of soil cadmium contamination on accumulation of cadmium and proline content of *Pinus sylvestris* L. seedling. *Agriculture Science Developments*, 3,167-172.
- Morales, A., & Kaiser, E. (2020). Photosynthetic acclimation to fluctuating irradiance in plants. *Frontiers in Plant Sciences*, 11, 268.
- Moustaka, J., Tanou, G., Giannakoula, A., Adamakis, I.D.S., Panteris, E., Eleftheriou, E., & Moustakas, M. (2020). Anthocyanin accumulation in poinsettia leaves and its functional role in photo-oxidative stress. *Environmental and Experimental Study*, 175, 104065.
- Mukhopadhyay, M., Das, A., Subba, P., Bantawa, P., Sarkar, B., Ghosh, P.D., & Mondal, T. (2013). Structural, physiological and biochemical profiling of tea plants (*Camellia sinensis* L.) O. Kuntze) under zinc stress. *Biologia Plantarum*, 57, 474-480.
- Muradolu, F., Baytın, R., Başak, İ., & Akkuş, G. (2020).The effect of methyl jasmonate applications on some growth parameters in strawberry (*Fragaria x ananassa* “Camarosa”) plant under cadmium stress. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10(2), 714-722.
- Pan, W., You ,Y., Weng, Y.N., Shentu, J.L., Lu, Q., Xu, Q.R., Liu, J., & TingDu A. (2020). Zn stress facilitates nitrate transporter 1.1-mediated nitrate uptake aggravating Zn accumulation in *Arabidopsis* plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 190, 110104.
- Park, S., Steen, C.J., Lyska, D., Fischer, A.L., Endelman, B., Iwai, M., Niyogi, K.K., & Fleming, G.R. (2019). Chlorophyll-carotenoid excitation energy transfer and charge transfer in *Nannochloropsis oceanica* for the regulation of photosynthesis. *Proceeding of the National Academy of Sciences USA*, 116 (9), 3385-3390.
- Per, T.S., Masood, A., & Khan, N.A. (2016). Nitric oxide improves S-assimilation and GSH production to prevent inhibitory effects of cadmium stress on photosynthesis in mustard (*Brassica juncea* L.). *Nitric Oxide*, 68, 111-124.
- Rady, M., Taha, R.S., & Mahdi, A.H. (2016). Proline enhances growth, productivity and anatomy of two varieties of *Lupinus termis* L. grown under salt stress. *South African Journal of Botany*, 102, 221-227.
- Rucińska-Sobkowiak, R. (2016). Water relations in plants subjected to heavy metal stresses. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38 (11), 57.
- Singh, S., Parihar, P., Singh, R, Singh, V.P., & Prasad, S.M. (2016). Heavy metal tolerance in plants: Role of transcriptomics, proteomics, metabolomics, and ionomics. *Frontiers in Plant Sciences*, 6, 1143.
- Singleton, V.L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventos, R.M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods Enzymology*, 299, 152-178.
- Song, Y., Jin, L., & Wang, X. (20199). Cadmium absorption and transportation pathways in plants. *International Journal of Phytoremediation*, 19,133-141.
- Subba, P., Mukhopadhyay, M., Mahato, S.K., Bhutia, K.D., Mondal, T.K., & Ghosh S.K. (2014). Zinc stress induces physiological, ultra-structural and biochemical changes in mandarin orange (*Citrus reticulata* Blanco) seedlings. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 20(4), 461-473.

- Turfan, N., Kunaz, A., & Sariyıldız, T. (2021). Effect of air pollution on element profile and radioactive compounds in six tree species. *Tree and Forest*, 2(2), 82-92.
- Turkyilmaz, A., Sevik, H., Isinkaralar, K., & Cetin, M. (2018). Using *Acer platanoides* annual rings to monitor the amount of heavy metals accumulated in air. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190 (10), 578.
- Yang Y., Zhang L., Huang X., Zhou Y., Quan Q., & Li Y. (2020). Response of photosynthesis to different concentrations of heavy metals in *Davidia involucrata*. *PLoS ONE*, 15(3), e0228563.
- Yee, Q., Muhr, J., & Steudle, E. (2005). A cohesion/tension model for the gating of aquaporins allows estimation of water channel pore volumes in Chara. *Plant Cell and Environment*, 28, 525-535.
- Yoo, H.C., Yu, Y.C., Sung, Y., & Han, J. (2020). Glutamine reliance in cell metabolism. *Experimental & Molecular Medicine*, 52, 1496-1516.
- Yucedag, C., Ozel, H.B., Cetin, M., & Sevik, H. (2019). Variability in morphological traits of seedlings from five *Euonymus japonicus* cultivars. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192 (5), 285.
- Zemanová, V., Pavlík, M., Pavlíková, D., & Tlustoš, P. (2013). The changes of contents of selected free amino acids associated with cadmium stress in *Noccaea caerulea* and *Arabidopsis halleri*. *Plant Soil Environment*, 59, 417-422.
- Zhang, Q., Zhang, M., & Ding, Y. (2018). Composition of photosynthetic pigments and photosynthetic characteristics in green and yellow sectors of the variegated, *Aucuba japonica*, 'Variegata' leaves. *Flora*, 240, 25-33.
- Zhang, T., Bai, Y., Hong, X., Sun, L., Liu, Y. (2017). Particulate matter and heavy metal deposition on the leaves of *Euonymus japonicus* during the East Asian monsoon in Beijing, China. *PLoS ONE*, 12(6), e0179840.
- Zhao, H., Guan, J., Liang, Q., Zhang, X., Hu, H, Zhang, J. (2021). Effects of cadmium stress on growth and physiological characteristics of sassafras seedlings. *Scientific Reports*, 11, 9913

To Cite: Özdemir, O., Kaya, M. O., Gök, M., Yılmaz, N. & Tuzcu, Z. (2023). Chloroform-Methanol Extraction Antimicrobial Potential of *Rheum ribes* Originating From Elazığ/Arıcak Province. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 830-838.

Chloroform-Methanol Extraction Antimicrobial Potential of *Rheum Ribes* Originating from Elazığ/Arıcak Province

Oğuzhan ÖZDEMİR^{1*}, Mustafa Oğuzhan KAYA², Mesut GÖK³, Nurten YILMAZ⁴, Zeynep TUZCU⁵

Highlights:

- *R. ribes* is known "ıskin and is found in the Middle East and Turkey.
- *R.ribes* has medicinal applications due to important biochemical compounds
- *R.ribes*,strong antimicrobial properties were detected.

Keywords:

- *R. ribes*
- Antimicrobial activity
- Minimum inhibition concentration
- Probiotic bacteria

ABSTRACT:

Rheum ribes (*R. ribes*) has a variety of medicinal applications due to the presence of anthraquinone derivatives and other compounds. It was aimed to determine the potential antimicrobial effects on some gram-negative/positive pathogens, and lactic acid bacteria by agar well diffusion test following minimum inhibition concentrations (MIC) with liquid extract samples of *R. ribes*. Growth concentrations of *R. ribes* extract doses (14.17-0,89 mg/L) were applied to indicator microorganisms. MIC method used microbial density values compared to the control group. Result of the Agar well diffusion test, the best antibacterial effects were detected on *L. monocytogenes* and *S. aureus* and following *B. subtilis* (zone diameter of 18.72 and 18.32 mm, respectively). The *R. Ribes* extract showed a higher inhibitor effect than tetracycline antibiotic against *L. monocytogenes*. Similarly, *S. aureus* and *E. faecalis.*, *S. paratyphi* A were more affected by *R. Ribes* extract than tetracycline antibiotic. The MIC test result, the highest inhibitory effects of *R. ribes* extract at a concentration of 0,89 mg/L for *S. Paratyphi* A strain, 3.54 mg/L for *K. pneumonia*, and 3.54 mg/L for *E. coli* RSSK 09036 were determined as 50.81%, 60.45%, and 60.40%, respectively. The highest inhibition effects of *R. ribes* at 14.17 mg/L (0.5 dilution concentration) concentration were determined at the rate of 80.12% for *Bacillus clausii* and 96.04% for *B. subtilis*. In the present study, it is thought that the differences between the antimicrobial effect and MIC tests seen in gram-positive, negative and probiotic bacteria may be related to the surface tension effect of the extract.

^{1*}Oğuzhan ÖZDEMİR ([Orcid ID: 0000-0002-9588-3285](https://orcid.org/0000-0002-9588-3285)), Batman University, Department of Veterinary Science, Technical Sciences Vocational School, Batman, Türkiye

² Mustafa Oğuzhan KAYA ([Orcid ID: 0000-0002-8592-1567](https://orcid.org/0000-0002-8592-1567)), Kocaeli University, Department of Chemistry, Faculty of Arts and Science, Kocaeli, Türkiye

³Mesut GÖK ([Orcid ID: 0000-0001-9217-8022](https://orcid.org/0000-0001-9217-8022)), Siirt University, Science and Technology Research and Application Center, Siirt, Türkiye

⁴Nurten YILMAZ ([Orcid ID: 0000-0003-3867-509X](https://orcid.org/0000-0003-3867-509X)), Çukurova University, Department of Crop and Animal Production, Karaisalı Vocational School, Adana, Türkiye

⁵Zeynep TUZCU ([Orcid ID: 0000-0002-5331-4893](https://orcid.org/0000-0002-5331-4893)), Fırat University, Department of Biology, Faculty of Science, Elazığ, Türkiye

*Corresponding Author: Oğuzhan ÖZDEMİR, e-mail: oguzhan.ozdemir@batman.edu.tr

INTRODUCTION

Natural products can be isolated from various plant species. Plants are important in the production of phytocomplexes, which have therapeutic characteristics that can be used to treat or prevent health issues (Kavaz et al., 2022). These products have unique structures and functions such as anti-obesity, anti-cancer, anti-diabetes, anti-hypertension, anti-inflammatory, antioxidant, antimicrobial and anti-Alzheimer's. Moreover, they can be used as a dye or cream formulation in the cosmetic industry and as a drug formulations in the pharmaceutical industry (Bati et al., 2020; Gundogdu et al., 2019). According World Health Organization (WHO) report, the number of aromatic plants applied for therapeutic purposes is around 20 000 on average, and they have also been used to add features such as taste, smell, and color to foods since human history (Reichling et al., 2009; Anand et al., 2021). Since they are used as raw materials in many fields such as the cosmetics, pharmaceutical and food industry, medicinal plants and their specific essential oils have been studied in many research areas, especially since 1940, in terms of their antimicrobial effects and important results have been achieved (Faydaoglu and Surucuoglu, 2013).

Bacterial infections and resistance to antibiotics have led to health problems with the emergence and spread of difficult, uncontrolled clinical symptoms with traditional drugs worldwide (Mayyas et al., 2021). Many infectious agents, which can be successfully treated with any of the few drugs, have gained resistance to almost all these drugs in some cases (McEwen and Collignon, 2018). It has been reported in many studies that plants have antimicrobial effects due to their ability to synthesize aromatic substances, most of which are phenols or oxygen-derived compounds (Sakkas and Papadopoulou, 2017). The investigation of medical plants used in the complementary treatment of multiple drug-resistant bacteria has recently become important as it is appropriate, accessible and acceptable by the local population. According to the WHO report, medical plants can potentially meet the needs of communities and improve access to basic health services safe, quality and culturally (WHO, 2019). This can make significant contributions to basic health services in the prevention and management of infectious diseases caused by drug-resistant bacteria (Gadisa and Tadesse, 2021).

R. ribes belongs to the Polygonaceae family. It has been widely used as a food source, medicinal and complementary medicine since ancient times in Turkey and the world (Bati et al., 2020). In many studies, The roots of *R. ribes* include compounds like s-chrysophanol, rhein, aloe emodin-8-O-glucoside, flicion, aloemodin, physcion-8-O-glucoside, sennoside A, rhaponticin, and emodin as well as traditionally treat urinary tract infections, diabetes, stomach ulcers, nausea, vomiting, haemorrhoid, measles, and expectoration (Ozturk et al., 2007; Yildirim et al., 2020; Keshavarzi et al., 2021). *R. ribes* has a variety of medicinal applications due to the presence of anthraquinone derivatives and other compounds. *R. ribes* is known in Turkey as “iskin, usgun or uckun” and is found in the Middle East and the highlands of Turkey. Many plant species grown in Turkey are used to reduce or eliminate the symptoms of various diseases (Cinar-Ayan et al., 2021). In this study, *R. ribes* samples were collected from the vicinity of Saman Village in the Arıcak district of Elazığ province. It was aimed to determine the potential antimicrobial effects on some gram-negative/positive pathogens, and lactic acid bacteria by agar well diffusion test following MIC test with liquid extract samples of *R. ribes*.

MATERIALS AND METHODS

R. ribes Plant Extraction

R. ribes plant was collected from Saman Town, Arıcak County, Elazığ/Turkey, coordinates as 38°33'08.6"N–40°05'39.8"E. The collected *R. ribes* was immediately taken to –80°C cold chain, until analysis was done. The area where the plant was collected and the images of the plant are given in

Figure 1. 150 grams of *R. ribes* samples were dried in an oven at 60 °C for 24 hours. It was then ground in an IKA brand mill. 100 grams of ground plant samples were taken and 500 mL of Methanol Chloroform mixture (1:1 v/v) was added and kept in a desiccator for three days. The extract obtained after evaporation at 35 °C was prepared with 10 ppm distilled water (Tufekci et al., 2018).



Figure 1. Turkey / Elazig / Aricak / Saman town images by *R. ribes*

Microorganisms and Media

The antimicrobial effect of *R. ribes* was investigated against indicator microorganisms were obtained biotechnology laboratory of Seafood Faculty at Cukurova University. The microorganisms were Gram-negative (*Salmonella Parathypi* A NCTC13, *E. coli* RSSK 09036, *Klebsiella pneumonia* ATCC700603) and Gram-positive (*Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Listeria monocytogenes* ATCC7677 *Enterococcus faecalis* ATCC29212, *Bacillus subtilis* B-354, MRSA (Methicillin-Resistant *S. aureus*, Honey isolate), *Lactobacillus reuteri* ATCC 55730, *Streptococcus agalactiae* (human isolate) and *Bacillus clausii* (enterogermina).

All of the indicator microorganisms were subcultured in their particular medium overnight before study. MRS Broth (*Lactobacillus* Broth acc. to De Man, Rogosa and Sharp: MRS, Merck 1.10661, MRS Agar (*Lactobacillus* Agar acc. to De Man, Rogosa and Sharpe) Merck 1.10660 were used for growth of lactic acid bacteria, Tryptic Soy Broth (TSB) Merck 1.05459) for pathogenic microorganisms, Mueller Hinton Agar Merck 1.05437 for agar test, Mueller Hinton Broth (Merck 1.10293) for MIC test.

Antibacterial Assays

Agar well diffusion assay

Agar well diffusion test, similar to the procedure used in disk-diffusion method, analyzed the antibacterial activity of *R. ribes*. Indicator bacteria were subcultured overnight in tryptic soy and MRS broth at 37 °C. 90 mm diameter of Mueller–Hinton agar plates were inoculated with a standardized inoculum of the test microorganism, corresponding to 0.5 McFarland turbidity standard, and left to dry at room temperature for 30 min. Then, in the dried plate was punctured aseptically with a sterile cork borer to create a 6 mm-diameter hole, and 100 µL of plant extract was added (18.89 mg/L) solution into the wells of each plate. The test microorganism is then placed on an appropriate agar plate, and the

incubation process is continued. The studied microbial strain's development is impeded by the antimicrobial agent dispersed in the agar medium (Magaldi et al., 2004; Valgas et al., 2007). The diameters of the inhibitory zones were measured in millimetres by a digital calliper (Mitutoyo 500-181-30, 0-150 mm). The procedure was adopted by the Clinical and Laboratory Standards Authority (CLSI, former NCCLS,) as a consensus standard (CLSI 2006, 2018a; EUCAST 2019b).

MIC test

MICs obtained with the spectrophotometric microdilution method for *R. ribes* against indicator microorganisms were measured at 600 nm in a 96-well plate reader (Multiskan™ FC Microplate Photometer thermofisher.com). 150 µL of dual-strength MHB and 150 µL of Dual-strength *R. ribes* extract were added to the first wells. The range of antimicrobial compound concentrations was performed in twofold dilution as serial dilutions. Then each prepared well was inoculated with 15 µL standardized microbial cultures adjusted to 0.5 McFarland scale. Control wells were not added *R. ribes* extract. After well-mixing, the inoculated 96-well microtitration plate was incubated (without agitation) under suitable conditions for 18-24 hours depending upon each test microorganism group then, sample density was detected by plate reader. Then, MIC results were calculated as mg/ml (CLSI, 2012). MIC was expressed as the highest dilution inhibiting growth (turbidity max in well is low) and among these MIC dilutions, those with positive detection of nonviable cells > 99% in the medium was considered as MBC (Lalitha, 2004).

RESULTS AND DISCUSSION

Agar Well Diffusion Assay

Gram-positive bacteria

The effects of *R. ribes* extracts on gram-positive bacteria are shown in Table-1. The zone diameter interpretation procedure adopted in France is used for semi-quantitative *in vitro* susceptibility testing of certain pathogenic bacteria by the agar disk-diffusion test procedure (Bauer et. al., 1966; CLSI, 2006). In table 1, Zone Diameter Control Zone Interpretive Standards (mm) for Neomycin ≤ 12 , 13 – 16, ≥ 17 and for tetracycline ≤ 14 , 15 – 18, ≥ 19 were reported as Resistant - Intermediate-Susceptible respectively. As seen in Table 1, the best antibacterial effects were detected on *L. monocytogenes* and *S. aureus* and following *B. subtilis* (zone diameter of 18.72 and 18.32 mm, respectively). The *R. Ribes* extract showed a higher inhibitory effect than tetracycline antibiotic against *L. monocytogenes*. Similarly, *S. aureus* and *E. faecalis* were more affected by *R. ribes* extract than tetracycline antibiotic. The *R. ribes* showed an inhibition zone on other positive microorganisms, MRSA and *S. agalactiae*, *B. clausii*, and *Lactobacillus reuteri* for 15.26, 9.75 mm zone diameters, respectively. *R. ribes* extract was found to have an effect on all gram-positive bacteria tested in the research group. In fact, suppression of the probiotic group is not desired, but the synergy of natural products on probiotics should be perceived positively. Table 1. Both probiotic as *B. clausii*, and *Lb. reuteri* were not affected by standard antibiotics but were affected by ribes.

Gram-negative bacteria

In this study, the antibacterial effect of *R. ribes* extract on gram-negative bacteria was determined, as shown in Table-1; the most effect on *S. Parathyphi* A (19.65 mm zone diameter) It appeared to be sensitive when compared to tetracycline, followed by *E. coli* and *K. pneumonia* (11.42 and 11.15 mm zone diameter, respectively) they appeared to be resistant to *R. ribes* extract when compared to tetracycline and neomycin antibiotics. *R. ribes* extract showed an effect on all three species of gram-negative bacteria tested in the research group.

Table 1. Antimicrobial zone diameters of *R. ribes* extract on indicator microorganisms. Agar well diffusion assay, and supplemental Tables CLSI (CLSI 2018a) procedural standards were taken as reference in the results

Microorganism	Species	Inhibitor Zone diameter (mm)		
		<i>R. ribes</i>	TE-30	NE-30
Gram-positive	<i>Staph. aureus</i> ATCC 29213	18.32	15.36	20.32
	<i>Bacillus subtilis</i> B 354	18.23	22.31	12.00
	MRSA(Methicillin Resistant Staph)	17.52	20.21	NE
	<i>Enterococcus faecalis</i> (ATCC29212	15.33	9.53	20.00
	<i>Streptococcus agalactiae</i> (human isolate	11.25	22.34	NE
	<i>Listeria monocytogenes</i> (ATCC7677)	18.72	15.76	20.12
Gram- negative	<i>Salmonella paratyphi</i> A NCTC13	19.65	21.39	NE
	<i>E.coli</i> RSSK 09036	11.42	12.63	22.00
	<i>Klebsiella pneumonia</i> (ATCC700603)	11.15	12.56	20.00
Probiotic	<i>Bacillus clausii</i> (enterogermina)	15.26	NE	NE
	<i>Lactobacillus reuteri</i> ATCC 55730	9.75	NE	NE

*NE: No Effected

MIC Test

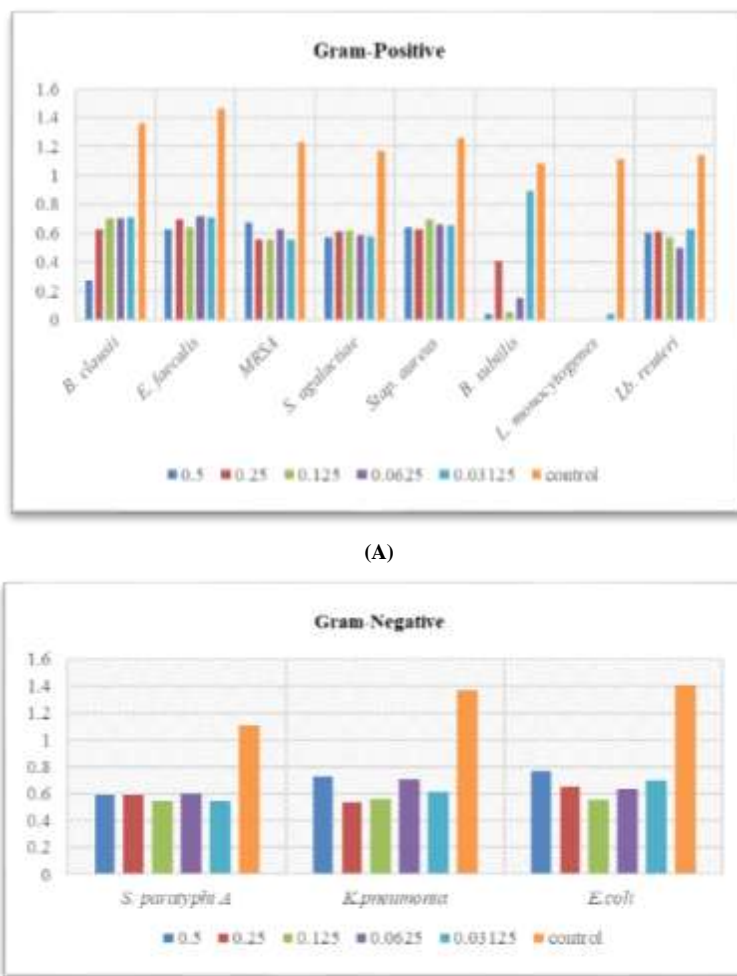
Gram-positive microroganisms

The growth concentrations of *R. ribes* doses applied to Gram-positive bacteria at 600 nm compared to the control group were given in Figure 1. The highest inhibition effects of *R. ribes* at 14.17 mg/L (0.5 dilution concentration) concentration were determined at the rate of 80.12% for *B. clausii* and 96.04% for *B. subtilis*. The inhibition effect was determined as 57.42% for *E. faecalis* strain at 14.17 mg/L concentration. MRSA had 55.05% at 3.54 mg/L concentration while *S. agalactiae* species had 51.20% at 14.17 mg/L concentration. *R. ribes* extract showed the highest inhibition effect on *S. aureus* at 7.71 mg/L concentration of 50.35%, and *L. monocytogenes* at 1.78 mg/L concentration of 99.28%. *L. reuteri* was found to have a maximum inhibitory effect of 56.40% at a concentration of 1.78 mg/L.

Gram-negative microoganisms

The growth densities of *R. ribes* doses applied to Gram-negative bacteria at 600 nm compared to the control group are given in Figure 2. The highest inhibitory effects of *R. ribes* extract at a concentration of 0.89 mg/L for *S. Paratyphi* A strain, 3.54 mg/L for *K. pneumonia* and 3.54 mg/L for *E. coli* RSSK 09036 were determined as 50.81%, 60.45% and 60.40%, respectively.

The antibacterial, antiallergenic, antioxidant, antithrombotic, and anti-inflammatory effects of phenolic chemicals on plants are significant (Al-Khayri et al., 2022). The presence of anthracene compounds in the subsurface sections of rheum species makes them important therapeutic plants. One of the most vital raw pharmaceuticals in the Middle East comes from the Polygonaceae plant *R. ribes*. It is locally known as “iskin or ugun”, is one of the most important raw drug sources, mostly grown in some of the Middle Eastern countries (e.g. Lebanon and Iran) and eastern Turkey. For example, due to the presence of anthracene derivatives occurring in the underground parts of the plant, it is also used as an antipsoriatic and oriental laxative drug in some countries (Ozturk et al., 2007). It is used in the treatment of assorted diseases such as hypertension, diabetes and ulcers, as well as traditionally consumed as a digestive and helminth preventative (Cinar-Ayan et al., 2021). However, there is little scientific or clinical evidence about the biological activity of similar herbal extracts.



(A)

(B)

Figure 2. Growth concentrations of *R. ribes* extract doses (14.17 - 0.89 mg/L) applied to indicator microorganisms by spectrophotometric (at 600 nm) method compared to the control group. 0.5, 0.25, 0.125, 0.0625, 0.03125 dilutions were 14.17, 7.71, 3.54, 1.78, 0.89 mg/L (Panel A): gram-positive microorganisms, (Panel B): gram-negative microorganisms

In this study, antimicrobial effects of the extract obtained from *R. ribes* plant collected from Elazığ/Arıcak Saman Village on pathogenic gram-positive/negative specific strains and some probiotic bacteria were investigated. The maximum inhibition concentration of bacteria showing antimicrobial activity was determined. According to the results obtained by the agar well diffusion method in our study, the highest zone spacing was seen in *L. monocytogenes* (18.72 mm) in gram-positive bacteria and *Salmonella paratyphi* (19.65 mm) in gram-negative bacteria. In addition, other gram-positive bacteria, *S. aureus*, *Bacillus subtilis*, MRSA, *E. faecalis*, *B. clausii*, *S. agalactiae* and *Lb. reuteri* strains showed antimicrobial activity in the 18.32–9.75 mm zone range, while gram-negatives showed antimicrobial activity in the zone range of 11.4–11.15 mm in *E. coli* RSSK and *K. pneumoniae*. As a result of the MIC tests, the extract on gram-positives; It was determined that *Bacillus clausii*, *Bacillus subtilis* and *E. faecalis* showed the highest inhibition rate of 80.12% and 96.04%, 57.42%, respectively. MRSA strain 55.05%, *S. agalactiae* 51.20%, *S. aureus* 50.35%, *L. monocytogenes* 99.28% showed maximum inhibition effect. The highest inhibition effect was determined in *Lb. reuteri* probiotic strain with a value of 56.40%. However, it was observed that *R. ribes* extract had a maximum inhibition effect of 50.81% for *S. Paratyphi A*, 60.45% for *Klebsiella pneumoniae*, and 60.40% for *E. coli* RSSK 09036 on gram-negatives. In this present study, it is thought that the differences between the antimicrobial effect and MIC tests seen in gram-positive/negative bacteria may be related to the

surface tension effect of the extract (concentrate-dilution). In the analysis performed on *R. ribes* extracts collected from the HajeOmaran mountains in Iraq, it showed antimicrobial effect in parallel with our study. However, while the most effective bacteria in their study was *E. coli*, when compared with the current study, it was determined that the bacteria with the most effective antimicrobial effect in our study showed the highest antimicrobial effect on *S. parathypi* and then on *L. Monocytogenes* (Alaaddin et al., 2007). It can be estimated that this is due to the growth of *R. ribes* species in different locations and indirectly from the amount of polyphenols and chemical components.

Keser et al. (2020), in their research on the antimicrobial and anticancer properties of methanol/ethanol/water *R. ribes* extracts showed antimicrobial effect on *C. albicans*, *E. coli*, *L. monocytogenes*, *K. pneumonia*, *S. aureus*, *P. vulgaris*, *B. subtilis*, *B. megaterium*, bacteria and were effective on PC-3, A2780, HCT-116 and MCF-7, cancer cell lines (Keser et al., 2020). In an article by Meydan et al. in 2022, they investigated the lipid peroxidation, DNA damage prevention activities, antimicrobial, antidiabetic and of the ZnO Nano Particles/*R. ribes* complex, which is created when the *R. ribes* plant interacts chemically with ZnO. They stated that the complex developed as a result of the study prevented DNA damage and lipid peroxidation compared to the control groups. In addition, they determined that ZnO NanoParticles/*R.ribes* complex formed zones varying between 21 ± 4.5 and 8 ± 3.0 against gram-negative and gram-positive microorganisms. They stated that the strongest antibacterial effect of the complex formed with *R. ribes* was on *B. subtilis* ATCC 6633 strain (21 ± 4.5). They also found that *B. cereus* (8 ± 4.0), *S. aureus* (14 ± 1.0), *E. faecalis* (9 ± 1.0) and *E. coli* (9 ± 2.0) had antimicrobial effects (Meydan et al., 2022).

Abelmoschus esculentus (okra) plant flower extract showed the maximum effect on *S. aureus*, similar to the results obtained in our study, and showed a strong antimicrobial effect on *E. coli* and *S. typhimurium* bacteria (Kavaz Yuksel et al., 2022). *In vitro* study examining the antimicrobial effect of *Lavandula angustifolia* plant extract, its effects on gram-positive-negative bacteria were investigated, and results similar to our study were obtained (Ozdemir et al., 2022). In yet another *in vivo* study, DNA damage, MDA levels, antioxidant, and biochemical parameters in rat brain tissues, with experimental obesity induced with a high-calorie diet, were therapeutically effected by *R. ribes* plant root extracts (Bati et al., 2020).

A study with Alzheimer's rats, hydro-alcoholic extract (obtained from *R. ribes*) improved cognitive functions by eliminating memory deficits due to bilateral NBM lesions (Zahedi et al., 2015). Raafat et al. (2021) stated in an *in vivo* study that the *R. ribes* extract they applied to alloxan-induced diabetic mice showed protective properties against diabetic neuropathy, one of the most important diabetes-related complications (Raafat et al., 2021). As a result of, due to the compounds they contain, many plants can demonstrate antimicrobial action in foods and living things. Depending on the microbial strain, polyphenols can demonstrate highly varied antibacterial activity against bacteria that cause food deterioration and foodborne pathogens. A specific strain of Gram-positive (or Gram-negative) bacteria can be affected by the same polyphenols (Kavaz Yuksel et al., 2021a,b). The data obtained show that *R. ribes* extract should be supported by many *in vivo* models and clinical studies and the possible synergistic effects of its combinations with different chemical agents or antibiotics should be investigated.

CONCLUSION

According to the results obtained from this study, it was determined that the *R. ribes* extract showed a significant antimicrobial effect on the specific gram-positive/negative bacterial strains investigated, and also gave activating properties to some probiotic bacteria. It is estimated that

consuming such foods is protective against many diseases of microbial origin, since the side effects of herbal extracts are minimal. It has been observed that *R. ribes* species can be used as a sedative, curative and/or symptomatic in the field of complementary medicine due to its many health-beneficial properties. In order to better understand the antimicrobial properties of *R. ribes*, it is thought that this study will be supported by different plant combinations and may contribute to scientific data with *in vivo* and *in vitro* studies.

Conflict of Interest

The article authors declare that there is no conflict of interest between them.

Author's Contributions

The authors declare that they have contributed equally to the article.

REFERENCES

- Alaadin AM, Al-Khateeb EH, Jager AK, (2007). Antibacterial Activity of the Iraqi *Rheum ribes* Root, *Pharmaceutical Biology*, 45:688–690.
- Al-Khayri JM, Kavaz Yuksel A, Yuksel M, Isik M, Dikici E, (2022). Phenolic profile and antioxidant, anticholinergic, and antibacterial properties of corn tassel. *Plants (Basel)*, 11: 1899.
- Bati B, Celik I, Turan A, Eray N, Alkan EE, Zirek AK, (2020). Effect of isgin (*Rheum ribes* L.) on biochemical parameters, antioxidant activity and DNA damage in rats with obesity induced with high-calorie diet. *Archives of Physiology and Biochemistry*, Sep12: 1–9.
- Bauer AW, Kirby WM, Sherris JC, Turck M. (1966). Antibiotic susceptibility testing by a standardized single disk method. *American Journal of Clinical Pathology*, 45(4): 493-496.
- CLSI, (2006). Approved standard M7-A7. Methods for dilution antimicrobial susceptibility tests for bacteria that grow aerobically, 7th ed. CLSI, Wayne, Pa.
- CLSI, (2018). Guideline M02 – Performance Standards for Antimicrobial Disk Susceptibility Tests (13th edn). Wayne, PA: CLSI.
- CLSI, (2012). Methods for Dilution Antimicrobial Susceptibility Tests for Bacteria that Grow Aerobically, Approved Standard, 9th ed., CLSI document M07-A9. Clinical and Laboratory Standards Institute, 950 West Valley Road, Suite 2500, Wayne, Pennsylvania 19087, USA.
- Cinar-Ayan I, Cetinkaya S, Dursun HG, Suntar I, (2021). Bioactive Compounds of *Rheum ribes* L. and its Anticancerogenic Effect via Induction of Apoptosis and miR-200 Family Expression in Human Colorectal Cancer Cells. *Nutrition and Cancer*, 73: 1228–1243.
- EUCAST, (2019). The European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing. Disk Diffusion Method for Antimicrobial Susceptibility Testing Version 7.0. Vaxjo, Sweden: EUCAST.
- Faydaoglu E and Surucuoglu MS, (2013). Medical and Aromatic Plants Antimicrobial, Antioxidant Activities and Use Opportunities. *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 6(2): 233-265.
- Gadisa E and Tadesse E, (2021). Antimicrobial activity of medicinal plants used for urinary tract infections in pastoralist community in Ethiopia. *BMC Complementary Medicine and Therapies*, 21(1): 74.
- Gundogdu G, Gundogdu K, Nalci KA, Demirkaya AK, Yilmaz-Tasci S, Demirkaya Miloglu F, Senol O, Hacimuftuoglu A, (2019). The Effect of Parietin Isolated from *Rheum ribes* L on *In Vitro* Wound Model Using Human Dermal Fibroblast Cells. *International Journal of Lower Extremity Wounds*. 18: 56–64.
- Kavaz A, Isik M, Dikici E, Yuksel M, (2022). Anticholinergic, antioxidant, and antibacterial properties of *Vitex Agnus-Castus* L. seed extract: assessment of its phenolic content by LC/MS/MS. *Chem Biodiversity*, 19: e202200143.
- Kavaz Yuksel A, Dikici E, Yuksel M, Isik M, (2022). Phytochemical profile, antioxidant, anticholinergic and antibacterial properties of flowers of *Abelmoschus esculentus* (Okra). *Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Agriculture and Nature*, 25: 1205-1215.

- Kavaz Yuksel A, Dikici E, Yuksel M, Isik M, Tozoglu F, Koksall E, (2021a). Phytochemical, phenolic profile, antioxidant, anticholinergic and antibacterial properties of *Epilobium angustifolium* (Onagraceae). Food Measure, 15: 4858–4867.
- Kavaz Yuksel A, Dikici E, Yuksel M, Isik M, Tozoglu F, Koksall E, (2021b). Phytochemicals Analysis and Some Bioactive Properties of *Erica manipuliflora* Salisb. (EMS); Antibacterial, Antiradical and Anti-lipid Peroxidation. Iranian Journal of Pharmaceutical Research, 20 :422-434.
- Keser S, Keser F, Karatepe M, Kaygili O, Tekin S, Turkoglu I, Demir E, Yilmaz O, Kirbag S, Sandal S, (2020). Bioactive contents, *In vitro* antiradical, antimicrobial and cytotoxic properties of rhubarb (*Rheum ribes* L.) extracts. Natural Product Research, 34: 3353–3357.
- Keshavarzi Z, Shakeri F, Maghool F, Jamialahmadi T, Johnston TP, Sahebkar A, (2021). A Review on the Phytochemistry, Pharmacology and Therapeutic Effects of *Rheum ribes*. Advances in Experimental Medicine and Biology, 1328: 447-461.
- Magaldi S, Mata-Essayag S, Hartung de Capriles C, (2004). Well diffusion for antifungal susceptibility testing. International Journal of Infectious Diseases, 8: 39–45.
- Mayyas A, Azzam H, Tayseer I, Al-Karablieh N, Aburjai T, (2021). Evaluation of the synergistic antimicrobial effect of folk medicinal plants with clindamycin against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* strains. Letters in Applied Microbiology, 73(6): 735-740.
- McEwen SA and Collignon PJ, (2018). Antimicrobial Resistance: a One Health Perspective. Microbial Spectrum, 6(2): doi:10.1128/microbiolspec.ARBA-0009-2017.
- Meydan I, Burhan H, Gur T, Seckin H, Tanhaei B, Sen F, (2022). Characterization of *Rheum ribes* with ZnO nanoparticle and its antidiabetic, antibacterial, DNA damage prevention and lipid peroxidation prevention activity of *in vitro*. Environmental Research, 204: 112363. doi: 10.1016/j.envres.2021.112363.
- Ozdemir O, Yilmaz N, Gok M, Kaya MO, (2022). Determination of antimicrobial and antioxidant activities of *Lavandula angustifolia* volatile oil. Turkish Journal of Agricultural Research, 9: 265-273.
- Ozturk M, Aydogmus-Ozturk F, Duru ME, Topcu G, (2007). Antioxidant activity of stem and root extracts of Rhubarb (*Rheum ribes*): An edible medicinal plant. Food Chemistry, 103: 623-630.
- Raafat K, Aboul-Ela M, El-Lakany M, (2021). Alloxan-induced diabetic thermal hyperalgesia, prophylaxis and phytotherapeutic effects of *Rheum ribes* L. in mouse model. Archives of Pharmacal Research, 44: 788–797.
- Reichling J, Schnitzler P, Suschke U, Saller R, (2009). Essential oils of aromatic plants with antibacterial, antifungal, antiviral, and cytotoxic properties an overview. Forsch Komplementmed, 16(2): 79-90.
- Sakkas H, Papadopoulou C, (2017). Antimicrobial Activity of Basil, Oregano, and Thyme Essential Oils. Journal of Microbiology and Biotechnology, 27(3): 429-438.
- Tufekci AR, Aksit H, Gul F, Demirtas I, (2018). Determination of Phenolic Profile of *Cirsium arvense* (L.) Scop. Subsp. *vestitum* (Wimmer et Grab.) Petrak Plant. Eurasian Journal of Biological and Chemical Sciences, 1: 33–36.
- Valgas C, De Souza SM, Smânia EFA, (2007). Screening methods to determine antibacterial activity of natural products. Brazilian Journal Microbiology, 38: 369–380.
- WHO. Global report on traditional and complementary medicine (2019). Geneva: World Health Organization, Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- Yildirim M, Degirmenci U, Akkapulu M, Comelekoglu U, Balli E, Metin Ozcan T, Berkoz M, Yalin AE, Yalin S, (2020). The effect of *Rheum ribes* on oxidative stress in diabetic rats. Journal Basic Clinical Physiology Pharmacology, 20200058: 1–10.
- Zahedia M, Hojjatib MR, Fathpoura H, Rabieic Z, Alibabaeic Z, Basim A, (2015). Effect of *Rheum Ribes* Hydro-Alcoholic Extract on Memory Impairments in Rat Model of Alzheimer's Disease. Iranian Journal of Pharmaceutical Research, 14: 1197-1206.

To Cite: İlhan, S. (2023). *In silico* Screening of the Potential Anti-SARS-CoV-2 Activities of Peptides from *Vipera ammodytes ammodytes* Venom by Molecular Docking. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 839-850.

***In silico* Screening of the Potential Anti-SARS-CoV-2 Activities of Peptides from *Vipera ammodytes ammodytes* Venom by Molecular Docking**

Süleyman İLHAN¹

Highlights:

- Anti-SARS-CoV-2 activities of VA peptides were analyzed
- Adamalysin II, Ammodytoxin A, Ammodytin L, L-amino acid oxidase were active against ACE2 and 3CLpro

Keywords:

- *Vipera ammodytes ammodytes*
- SARS-CoV-2
- ACE2
- 3CLpro
- Molecular docking
- Venom

ABSTRACT:

The coronavirus disease 2019 (COVID-19) is induced by the SARS-CoV-2 virus, which caused the global pandemic, infecting approximately 608.328.548 confirmed cases and bringing about 6.501.469 deaths worldwide, as WHO stated in September 2022. The disease is more deadly due to the lack of specific drug molecules or a treatment plan. Therefore, the development of potent pharmacological compounds is urgently required to combat COVID-19. Due to their biological actions, snake venoms constitute a source of potentially beneficial medicinal compounds. *Vipera ammodytes ammodytes* (VA) is a viper species whose venom has been shown to have anti-proliferative, anti-metastatic, anti-cancer, and anti-microbial activities. This *in silico* study was conducted to evaluate the efficacy of selected VA venom proteins (Adamalysin II, Ammodytoxin A, Ammodytin L, L-amino acid oxidase) against molecular targets; Main protease (3CLpro) and Angiotensin-Converting Enzyme 2 (ACE2) by molecular docking study. Molecular docking investigations were performed by using AutoDock Vina software. All compounds displayed negative binding energy values to 3CLpro and ACE2, suggesting that their interactions with the active sites were favourable. L-amino acid oxidase had the highest binding affinity with both 3CLpro and ACE2. This study revealed for the first time that VA venom proteins are functional inhibitors of 3CLpro and ACE2 activities, and the components of VA venom can be considered potential SARS-CoV-2 inhibitors. However, more studies are needed to validate these compounds *in vitro* and *in vivo*.

^{1*} Suleyman ILHAN ([Orcid ID: 0000-0002-6584-3979](https://orcid.org/0000-0002-6584-3979)), Manisa Celal Bayar University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Biology, Manisa, Türkiye

Corresponding Author: Suleyman ILHAN, e-mail: suleyman.ilhan@cbu.edu.tr

Ethics Committee Approval: This study does not require ethics committee permission or any special permission

INTRODUCTION

The outbreak and rapid spread of the coronavirus disease 2019 (COVID-19) epidemic caused by Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV2) have caused many deaths. The disease has become more complex with the emergence of new variants. According to the data from the World Health Organization, it has been reported that more than 600 million people in many countries were infected with SARS-CoV2, and more than 6 million people died due to this epidemic (WHO, 2022). Therefore, a worldwide struggle against this epidemic has begun. Despite many vaccines and drug treatment attempts, the COVID-19 epidemic still poses a significant threat to humanity due to the weak immune response.

The SARS-CoV2 virus binds spike protein (glycoprotein S) to angiotensin-converting enzyme (ACE2) expressed on the surface of host cells and specifically targets lung cells (Sheahan et al., 2020). Two open reading frames, ORF1a and ORF1b, found in the SARS-CoV2 genome are translated into two similar viral polyproteins, pp1a and pp1ab, by host ribosomes. Two cysteine proteases, a 3C-like protease (3CLpro) and a papain-like protease (PLpro), are encoded by ORF1a. Since autoclaving is essential for the replication of viruses, 3CLpro has been implicated as a therapeutic target for the suppression of virus replication (Zumla et al., 2016).

Studies are ongoing to search for new vaccines/drugs and new compounds that target the SARS-CoV2 receptor or that can inhibit the replication of the virus. In this context, compounds of natural origin (herbs, spices, and therapeutic substances derived from animals) are extensively studied (Ahmad et al., 2021; Jin et al., 2020; Joshi et al., 2020; Siniavin et al., 2021). In the literature, it is seen that plants from China, India, and the Mediterranean regions are investigated because of their high antioxidant and immune-enhancing effects, and animal venoms are also investigated because they contain active compounds with different mechanisms of action.

Due to their biological actions, snake venoms constitute a source of potentially beneficial medicinal compounds (El-Aziz et al., 2019). Therefore, they have great potential for the discovery of new compounds. They may include compounds suitable for drug design or development, enabling the discovery of new proteins and protein families. Venomous snakes commonly found in our country are members of the Viperidae family. *Vipera ammodytes ammodytes* (VA) is a viper species living in southern Europe, almost exclusively restricted to the Balkans (Latinović et al., 2016). Venom proteins of this species were revealed by electrophoretic methods in the literature (Gopcevic et al., 2021; Latinović et al., 2016). Metalloproteinases, disintegrins, L-amino acid oxidases, and cysteine-rich secretory proteins were the prominent protein families (Göçmen et al., 2015). Although anti-proliferative, anti-metastatic, anti-cancer, and anti-microbial activities of VA venom have been investigated previously (Gopcevic et al., 2021; Karabuva et al., 2017), the effects of venom peptides on SARS-CoV2 have not yet been investigated. Adamalysin II is a 203-amino acid metalloendopeptidase, ammodytoxin A is the subgroup IIA of the phospholipase A2 family of enzymes, ammodytin L is a Ser48 phospholipase A2-homologue and L-amino acid oxidase is a flavoenzyme that catalyzes the oxidative deamination of an L-amino acid (Gopcevic et al., 2021).

Molecular docking is a drug design method based on the receptor property and the active compound/drug-receptor interaction mode (Pinzi & Rastelli, 2019). It is a cutting-edge research technique that combines physical and chemical principles with sophisticated computational algorithms to offer a practical tool for examining the origin and mechanism of potential novel compounds (Salmaso & Moro, 2018).

In this study, the interactions of some proteins (Adamalysin II, Ammodytoxin A, Ammodytin L, L-amino acid oxidase) identified in the VA venom with 3CLpro and ACE2 were investigated to reveal the potential anti-viral molecules to target SARS-CoV2.

MATERIALS AND METHODS

Receptor preparation

The SARS-CoV-2 main protease 3CLpro (PDB ID: 6LU7) and ACE2 (PDB ID: 1R42) were chosen as receptors. The three-dimensional (3D) structures of 3CLpro and ACE2 proteins were downloaded from the protein databank in PDB format (<https://www.rcsb.org/>). Autodock Vina 4.2.5.1 software was used for water removal, hydrogenation, and load distribution adjustment.

Ligand preparation

3D structures of selected snake venom proteins (Adamalysin II; PDB ID: 1IAG, ammodytoxin A; PDB ID: 3G8G, ammodytin L; PDB ID: 3DIH, L-amino acid oxidase; PDB ID: 3KVE) were downloaded from PubChem in PDB format. Autodock Vina software was used for water removal, hydrogenation, and load distribution adjustment.

Docking

High throughput molecular docking was carried out by Autodock Vina. The grid centre for 3CLpro was set as X= 21.41, Y=3.62 and Z=21.94 with dimensions of the grid box 60 Å × 60 Å × 60 Å. The grid centre for ACE2 was set as X=19.81, Y=-5.57 and Z=14.73 with the grid box 60 Å × 60 Å × 60 Å. The same grid box size and other parameters were utilized for docking experiments of all four proteins after calibration and optimization, and the complete setup was run to produce various docked conformations. The PyMOL software was used to visualize the secondary structures of molecules.

RESULTS AND DISCUSSION

It takes many years to test the pharmacokinetic and pharmacodynamic properties of components for the discovery or design of new drugs. Existing ingredients have gone through many stages since their discovery and have well-defined profiles, so they do not require lengthy preclinical studies. These properties make them excellent candidates for use in new purposes. A new window has been opened for the theoretical investigation of SARS-CoV2, with the determination of the crystal structure of 3CLpro and ACE2 (Jin et al., 2020). A non-structural protein called 3CLpro divides two replicase polyproteins into mature proteins needed to facilitate viral transcription and replication. Inhibiting the Mpro in this way prevents viral replication, whereas inhibiting the ACE2 catalytic pocket by small molecules alters the shape of ACE2 to prevent SARS-CoV-2 entrance into host cells through ACE2. Much of this theoretical research is conducted to discover potential natural or synthetic inhibitors for COVID-19. Based on *in silico* studies, the researchers showed that drugs such as ivermectin, rutin, curcumin, quercetin, hesperidin, naringin, paritaprevir, vitexin, orientin, berberine, thymoquinone which are currently in use, inhibit ACE2 or 3CLpro (Jin et al., 2020).

Despite rapidly continuing *in vitro* and *in silico* studies, an effective antiviral drug has still not been found. In this context, natural products have gained importance as potential antiviral agents in recent years. Of the 175 drugs approved by the Food and Drug Administration (FDA), 49 are derived from natural compounds. Of these, Captopril® (Enalapril), Integrilin® (Eptifibatide) and Aggrastat® (Tirofiban) are obtained from snake venom (Waheed et al., 2017). Apart from these, preclinical and clinical studies of many therapeutic substances obtained from venoms are still in progress. According

to several studies, the antiviral properties of snake venom include action against measles, Sendai, dengue, yellow fever, and human immunodeficiency viruses (Borkow & Ovadia, 1999; Meenakshisundaram et al., 2009; Shimizu et al., 2017). The properties of snake venom proteins may create promising treatment options for breaking the defence mechanisms developed by viruses. VA venom proteins are well defined, structured, and demonstrated many biological activities, but no data are available on their potential anti-COVID activities.

Considering the urgent need for therapeutic and preventive drugs against COVID-19, in our study, the binding mechanism of natural compounds (Ammodytoxin A, Ammodytin L, Adamalysin II, L-amino acid oxidase) from VA venom with two distinct targets from COVID-19 (3CLpro and ACE2) (Figure 1) was predicted using computational docking.

Docking of ligands into 3CLPro main protease active site

The best compounds for inhibiting the target receptor were those with the lowest binding energy of docking scores because lower binding energy corresponds to increased binding affinity (Simon et al., 2017). Docking scores corresponding to the binding energies of the tested compounds with 3CLpro are presented in Table 1.

Table 1. Interaction of the SARS-CoV2 Main Protease 3CLpro with VA proteins

Compound	Docking Score (Binding Energy, Kcal/mol)	H Bond	Amino acid Residue
Ammodytoxin A	-106.3	-4.80	Asp48, Tyr27, Tyr21, Cys44, Phe5
Ammodytin L	-129.2	-10.92	Ser48, Cys44, His27, Tyr21, Gly29, His47
Adamalysin II	-129.3	-6.97	Glu35, Arg32, Asn133, Val33, Val136, Ile36, Thr31
L-amino acid oxidase	-143.9	-5.55	Glu457, Cys293, Arg71, Pro88, Gly42

All compounds displayed negative binding energy values to 3CLpro, suggesting that their interactions with the 3CLpro active sites were favourable. The most outstanding binding energy value was calculated for L-amino acid oxidase which was -143.9 kcal/mol. It formed hydrogen interactions with Glu457, Cys293, and steric interactions with Arg71, Pro88, and Gly42 (Figure 2A-B). L-amino acid oxidase is a flavoenzyme that catalyzes the production of ammonia and hydrogen peroxide and oxidatively deaminates an L-amino acid to a -keto acid. Antimicrobial and anti-viral activities have been demonstrated (Kasai et al., 2021; Sant'Ana et al., 2008). Anti-cancer and pro-inflammatory activities of L-amino acid oxidase obtained from *Bungarus fasciatus* snake venom have also been shown in the literature (Wei et al., 2009). However, there is no study on the biological activity of L-amino acid oxidase obtained from VA venom. Therefore, this *in silico* study is the first to demonstrate the potential anti-COVID-19 activity of L-amino acid oxidase.

Adamalysin II was the second molecule with the highest binding energy (-129.3 kcal/mol). When it was analyzed by docking tools it successfully docked against the inhibitor region of the main protease of SARS-CoV-2. Active site residues were Glu35, Arg32, and Asn133, and Val33, Val136, Ile36, and Thr31 participated in hydrogen bond interactions with Adamalysin II (Figure 2C-D). The results showed that the binding energy of Ammodytin L to 3CLpro was -129.2 kcal/mol. It formed hydrogen bond interactions with Ser48, Cys44, His27, Tyr21, Gly29, and steric interactions with His47 (Figure 4).

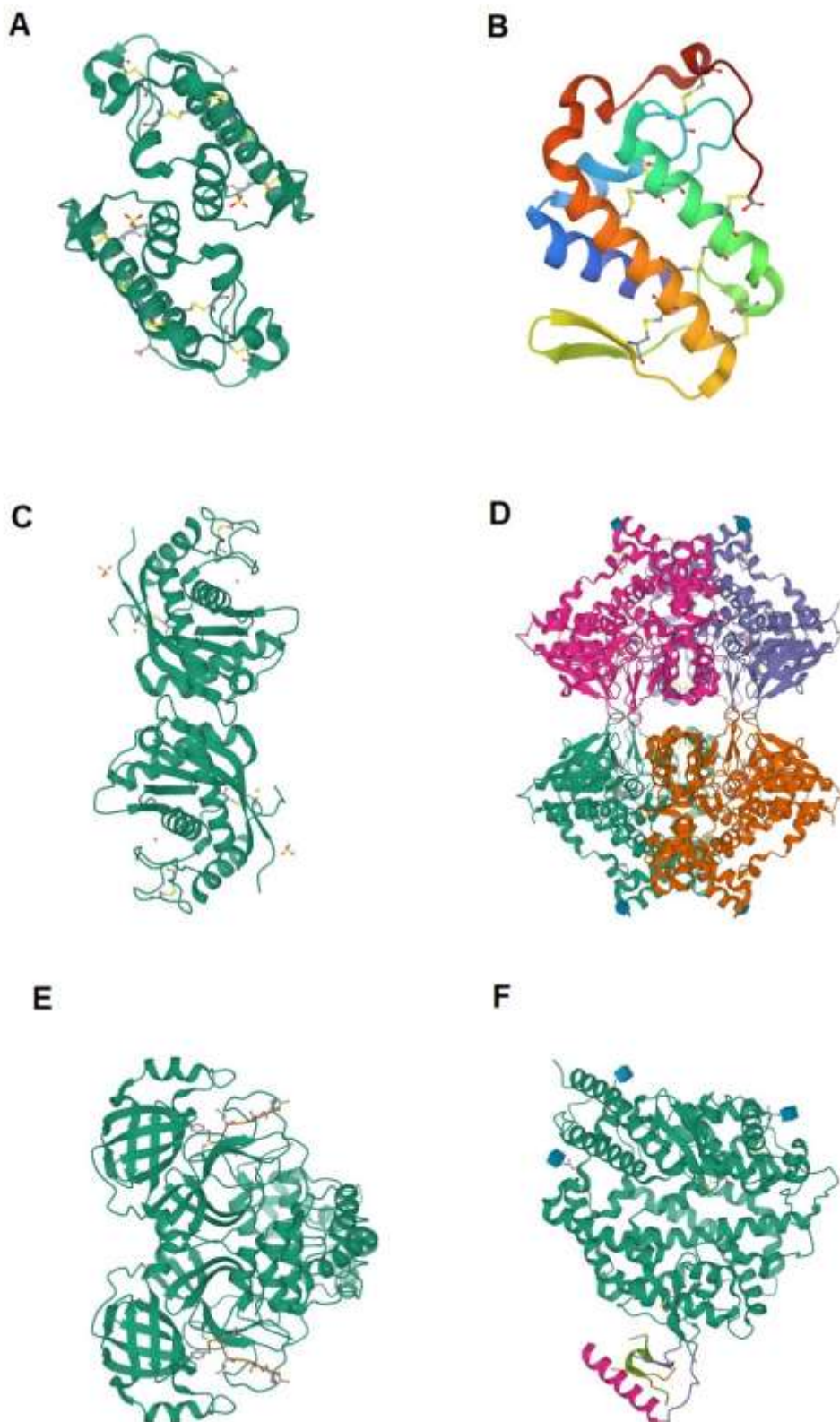


Figure.1. 3D- structures of VA venom components investigated for potential anti-covid effects. A) Ammodytoxin A, B) Ammodytin L, C) Adamalysin II, D) L-amino acid oxidase. 3D- structures of the SARS-CoV-2 main protease E) 3CLpro and F) ACE2

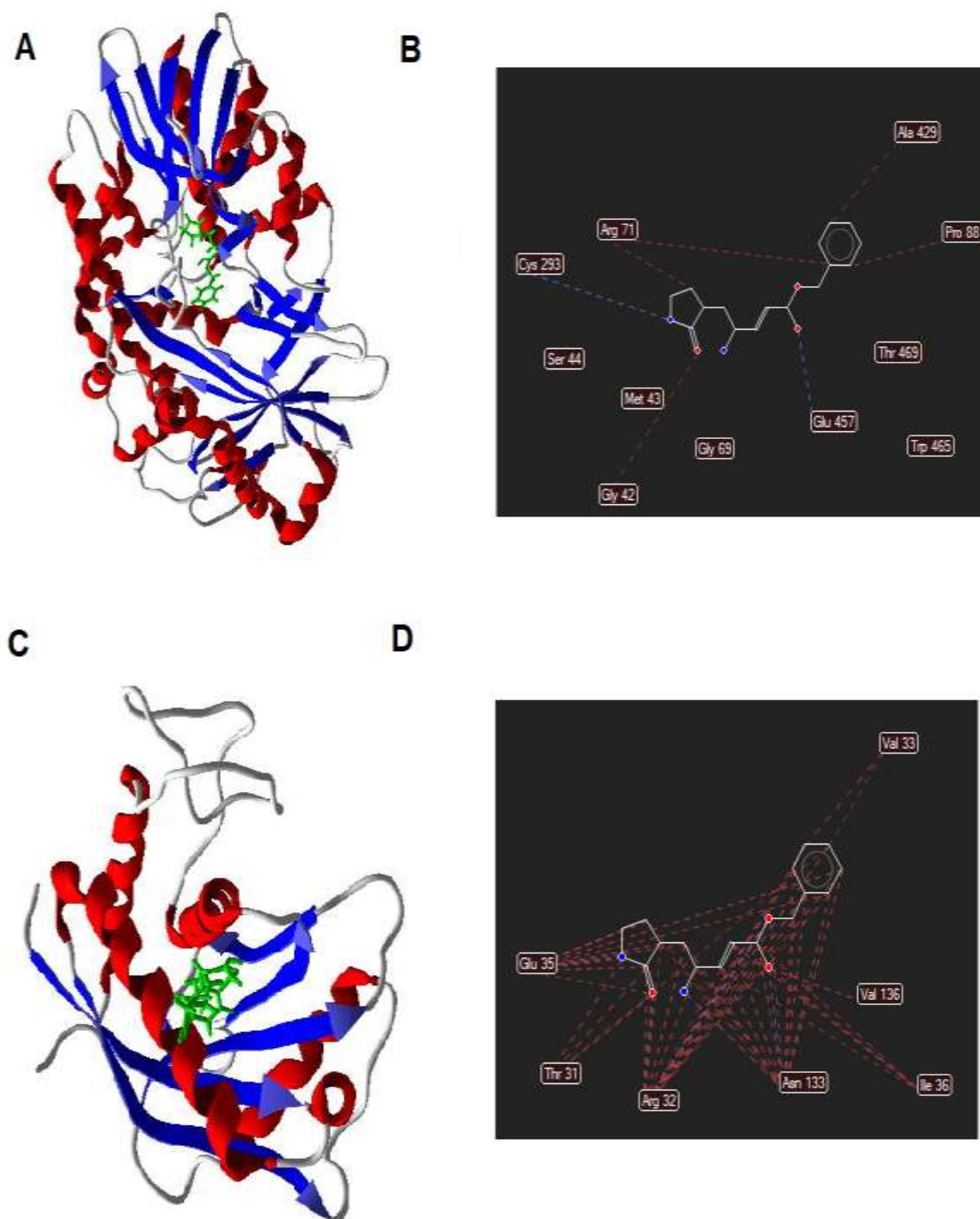


Figure.2. (A) Molecular docking of SARS CoV-2 main protease (3CLpro) and L-amino acid oxidase and (B) interactions with critical residues. (C) Molecular docking of SARS CoV-2 main protease (3CLpro) and Adamalysin II and (D) interactions with critical residues (Red dashes show steric interactions, and blue dashes show hydrogen bonds)

Adamalysin II is a 24 kDa zinc endopeptidase, a member of a large family of metalloproteinases (Gomis-Ruth et al., 1993). Adamalysins are known to play a role in inflammation and various other regulatory roles in the cell. Some metalloproteinases have been shown to exhibit broad-spectrum antiviral activities against vesicular stomatitis virus (VSV), influenza A virus (H1N1) and human herpes virus 1 (HSV-1). It is known that they show anti-viral activity by changing their place from the cytoplasm to the cell nucleus upon virus infection and influencing NF- κ B activities (Feng et al., 2022).

Another VA protein, a phospholipase-like snake venom toxin that effectively docked against both 3CLpro, was Ammodytin L. It has been reported that Ammodytin L is non-neurotoxic, weakly toxic and has low PLA2 activity (Logonder et al., 2008). Results showed that the binding energy of Ammodytin L to 3CLpro was -129.2 kcal/mol indicating a good binding affinity. It formed hydrogen bond interactions with Ser48, Cys44, His27, Tyr21, Gly29, and steric interactions with His47 (Figure 3A-B).

The binding energy of Ammodytoxin A, a neurotoxic secretory phospholipase A2, was the VA protein with the weakest binding affinity with 3CLpro (-106.3 kcal/mol). Active site residues were Asp48, Tyr27 and Tyr21. It also formed steric interactions with Cys44 and Phe5 (Figure 3C-D). Its biological activity in neuronal cells has been demonstrated. It has been shown to block the cell cycle in the G2 phase, but there is no study investigating its anti-viral effects (Pražnikar et al., 2009).

Docking of ligands into ACE2 active site

When venoms of the Viperidae family are analyzed, it has been determined that they contain proteins, including snake venom metalloproteinases (SVMPs), disintegrin, snake venom serine proteinases (SVSPs), hyaluronidases, 5'-nucleotidases, phospholipase A2 (PLA2), C-type lectin proteins (CLPs), cysteine-rich secretory proteins (CRISPs). Natriuretic peptides, bradykinin enhancing peptides (BPPs), nerve growth factors (NGFs), snake venom vascular endothelial growth factors (VEGF-Fs), Kunitz type proteinase inhibitors (Nalbantsoy et al., 2017). To investigate their anti-covid effects, we selected Ammodytoxin A, Ammodytin L, Adamalysin II and L-amino acid oxidase from VA venom proteins whose molecular structures are well defined in the literature. The docking scores (binding energies) of selected VA venom proteins with ACE2 are given in Table 2.

Table 2. Interaction of the ACE2 with selected VA proteins

Compound	Docking Score (Binding Energy, Kcal/mol)	H Bond	Amino acid Residue
Ammodytoxin A	-75.3	-7.46	Tyr2, Asp48, His47, Cys44
Ammodytin L	-84.8	-4.98	Ser22, Ile9, Cys44, Phe5
Adamalysin II	-97.4	-11.65	Thr139, Glu143, Pro168, Arg167, Ile165, Gly169, Val138, Leu170
L-amino acid oxidase	-146.6	-4.67	Ala429, Tyr372

Among the VA proteins tested, L-amino acid oxidase had the highest binding energy, with a binding energy of -146.6 kcal/mol. The active site residues were Ala429 and Tyr372 (Figure 4A-B). The binding energy of Adamalysin II was -97.4 kcal/mol, and the active site residues were Thr139, Glu143, Pro168, Arg167, and Ile165. It also established steric interactions with Gly169, Val138 and Leu170 (Figure 4C-D). The docking results revealed that the binding energy of Ammodytin L was -84.8 kcal/mol. It formed hydrogen interactions with Ser22 and steric interactions with Ile9, Cys44 and Phe5 (Figure 5A-B). The binding energy of Ammodytoxin A was -75.3 kcal/mol, and the active site residues were Tyr2, Asp48 and His47 and steric interactions with Cys44 (Figure 5C-D). Since the beginning of the pandemic, researchers have targeted the ACE2 enzyme and reported the reuse purpose of previously used drugs. The high binding energies of VA proteins with ACE2 suggest these molecules are potential anti-viral candidates.

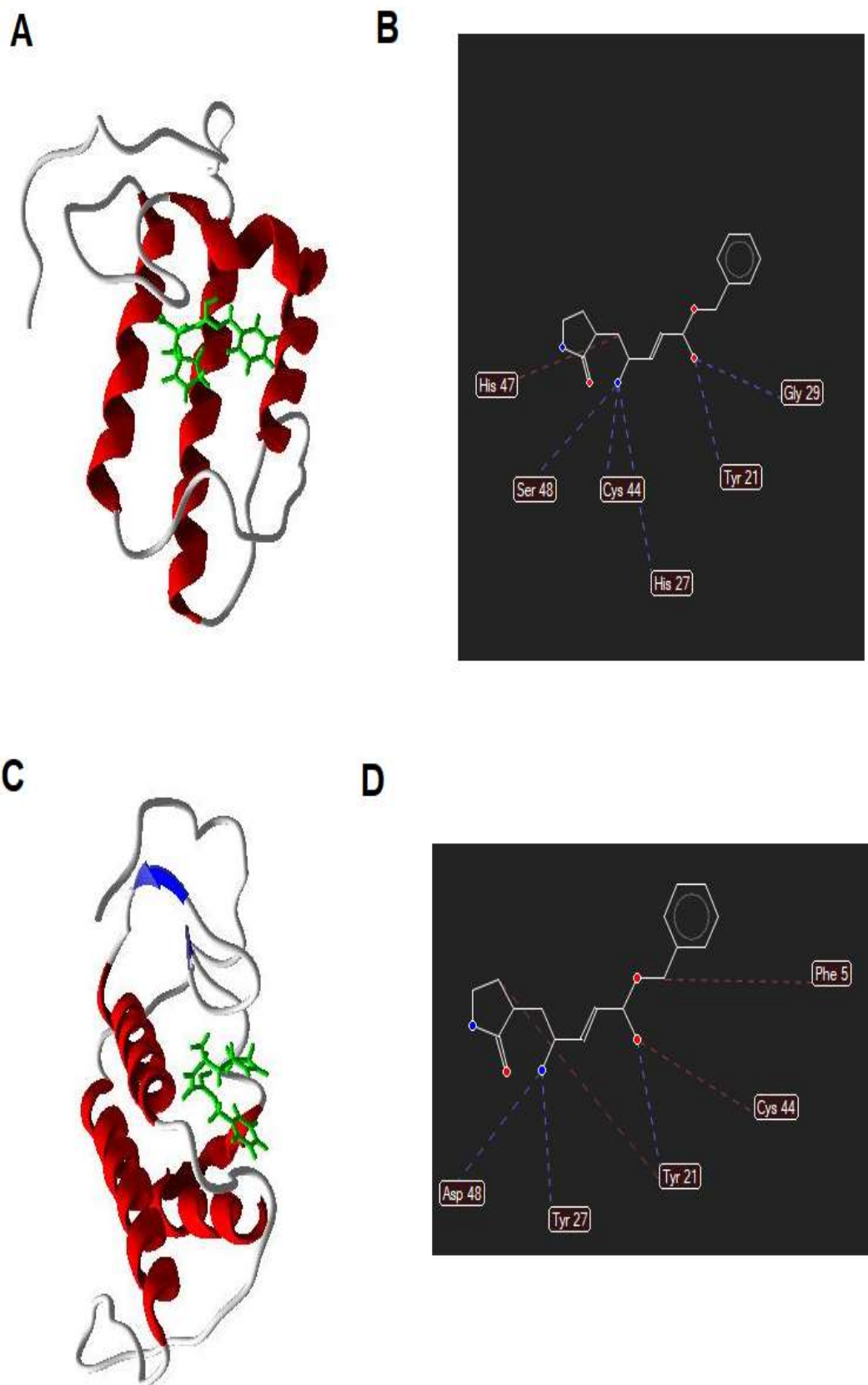


Figure.3. (A) Molecular docking of SARS CoV-2 main protease (3CLpro) and Ammodytin L and (B) interactions with critical residues. (C) Molecular docking of SARS CoV-2 main protease (3CLpro) and Ammodytoxin A and (D) interactions with critical residues. (Red dashes show steric interactions, and blue dashes show hydrogen bonds)

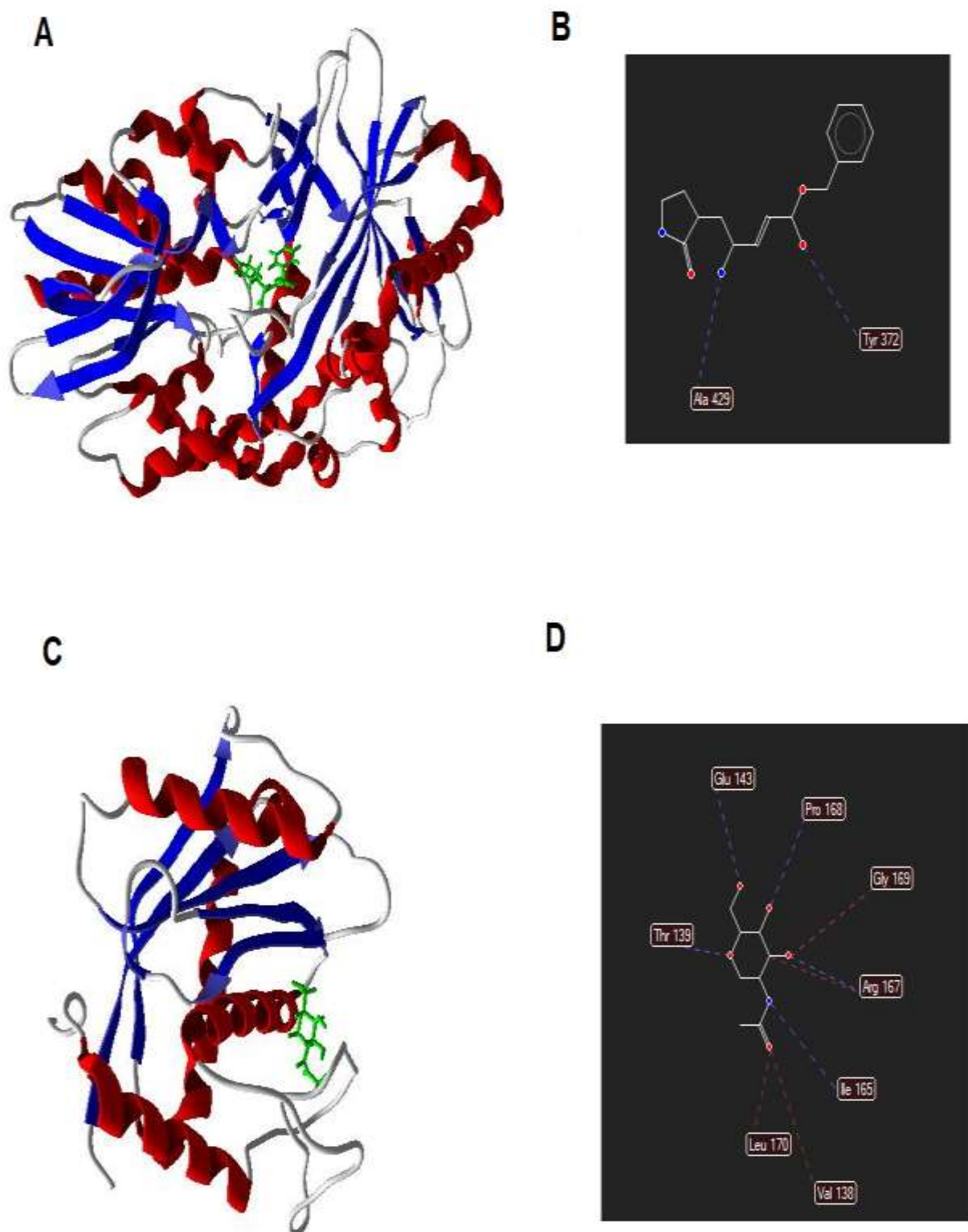


Figure.4. (A) Molecular docking of ACE2 and L-amino acid oxidase and (B) interactions with critical residues. (C) Molecular docking of ACE2 and Adamalysin II and (D) interactions with critical residues (Red dashes show steric interactions, and blue dashes show hydrogen bonds)

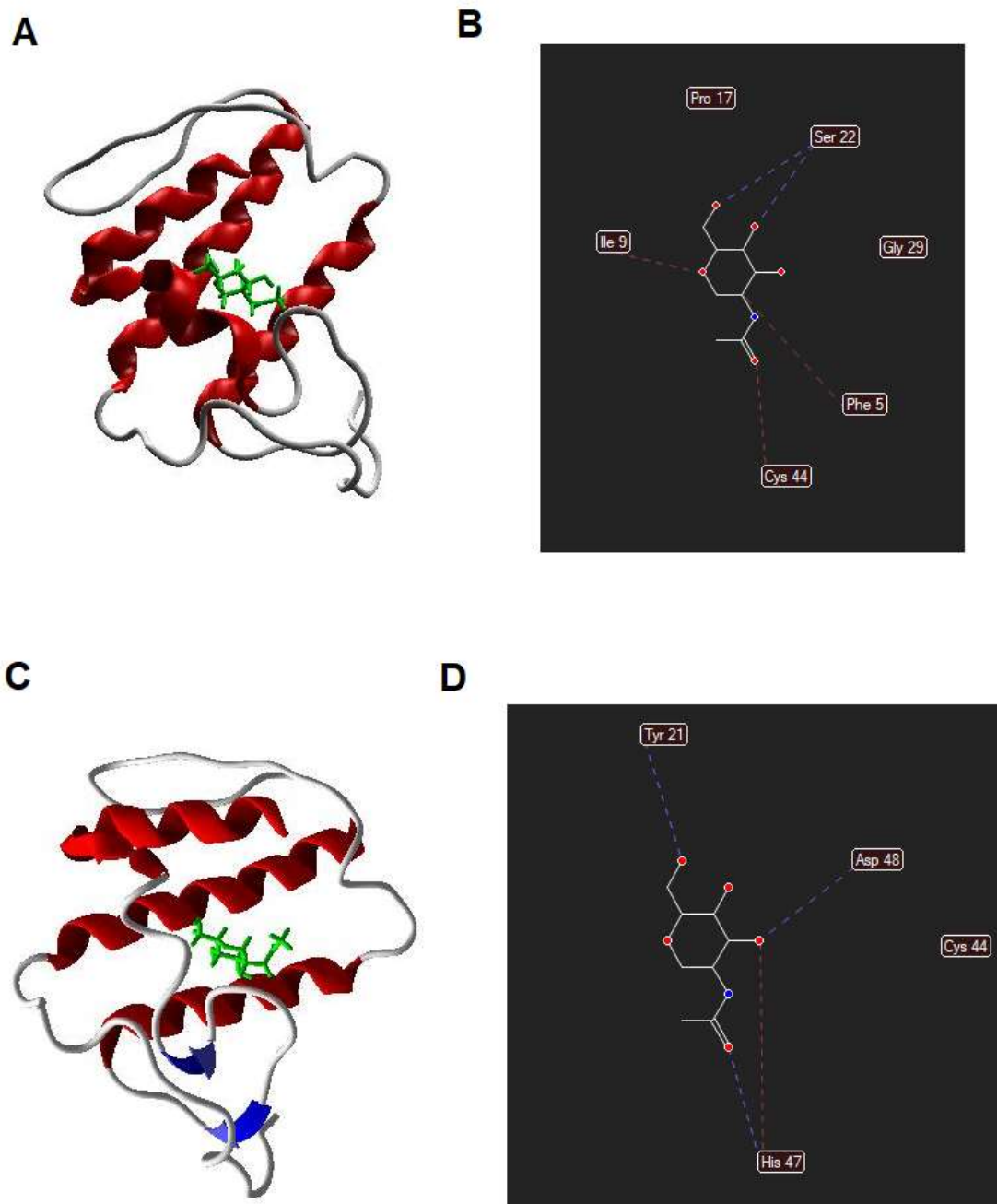


Figure.5. (A) Molecular docking of ACE2 and Ammodytin L and (B) interactions with critical residues. (C) Molecular docking of ACE2 and Ammodytoxin A and (D) interactions with critical residues (Red dashes show steric interactions, and blue dashes show hydrogen bonds)

CONCLUSION

Interspecies comparison of other snake venom enzymes showed that the toxic sites were not the same in all subsets of presynaptically active toxins (Križaj et al., 1991). Therefore, the activities of similar toxin groups in different species can be very different from each other. In this study, the potential anti-COVID activities of the elucidated proteins in the VA venom were investigated by *in silico* methods. As a result, it was revealed that the investigated VA venom proteins could be potentially active against COVID-19 by interacting with both 3CLpro and ACE2. Snake venoms may offer a valuable source of therapeutic compounds in managing the pandemic. However, more studies are needed to validate these compounds *in vitro* and *in vivo*.

Conflict of Interest

The article author declares that there is no conflict of interest between them.

Author's Contributions

The author declares that contributed solely to the article.

REFERENCES

- Ahmad, I., Pawara, R., Surana, S., & Patel, H. (2021). The Repurposed ACE2 Inhibitors: SARS-CoV-2 Entry Blockers of Covid-19. In *Topics in Current Chemistry* (Vol. 379, Issue 6). <https://doi.org/10.1007/s41061-021-00353-7>
- Borkow, G., & Ovadia, M. (1999). Selective lysis of virus-infected cells by cobra snake cytotoxins: A Sendai virus, human erythrocytes, and cytotoxin model. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 264(1). <https://doi.org/10.1006/bbrc.1999.1483>
- El-Aziz, T. M. A., Soares, A. G., & Stockand, J. D. (2019). Snake venoms in drug discovery: Valuable therapeutic tools for life-saving. In *Toxins* (Vol. 11, Issue 10). <https://doi.org/10.3390/toxins11100564>
- Feng, T., Tong, H., Ming, Z., Deng, L., Liu, J., Wu, J., Chen, Z., Yan, Y., & Dai, J. (2022). Matrix metalloproteinase 3 restricts viral infection by enhancing host antiviral immunity. *Antiviral Research*, 206, 105388. <https://doi.org/10.1016/J.ANTIVIRAL.2022.105388>
- Göçmen, B., Heiss, P., Petras, D., Nalbantsoy, A., & Süßmuth, R. D. (2015). Mass spectrometry guided venom profiling and bioactivity screening of the Anatolian Meadow Viper, *Vipera anatolica*. *Toxicon*, 107. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2015.09.013>
- Gomis-Ruth, F. X., Kress, L. F., & Bode, W. (1993). First structure of a snake venom metalloproteinase: A prototype for matrix metalloproteinases/collagenases. *EMBO Journal*, 12(11). <https://doi.org/10.1002/j.1460-2075.1993.tb06099.x>
- Gopcevic, K., Karadzic, I., Izrael-Zivkovic, L., Medic, A., Isakovic, A., Popović, M., Kekic, D., Stanojkovic, T., Hozic, A., & Cindric, M. (2021). Study of the venom proteome of *Vipera ammodytes ammodytes* (Linnaeus, 1758): A qualitative overview, biochemical and biological profiling. *Comparative Biochemistry and Physiology Part D: Genomics and Proteomics*, 37, 100776. <https://doi.org/10.1016/j.cbd.2020.100776>
- Jin, Z., Du, X., Xu, Y., Deng, Y., Liu, M., Zhao, Y., Zhang, B., Li, X., Zhang, L., Peng, C., Duan, Y., Yu, J., Wang, L., Yang, K., Liu, F., Jiang, R., Yang, X., You, T., Liu, X., ... Yang, H. (2020). Structure of Mpro from SARS-CoV-2 and discovery of its inhibitors. *Nature*, 582(7811). <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2223-y>
- Joshi, T., Joshi, T., Sharma, P., Mathpal, S., Pundir, H., Bhatt, V., & Chandra, S. (2020). In silico screening of natural compounds against COVID-19 by targeting Mpro and ACE2 using molecular docking. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, 24(8). https://doi.org/10.26355/eurrev_202004_21036
- Karabuva, S., Lukšić, B., Brizić, I., Latinović, Z., Leonardi, A., & Križaj, I. (2017). Ammodytin L is the main cardiotoxic component of the *Vipera ammodytes ammodytes* venom. *Toxicon*, 139. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2017.10.003>
- Kasai, K., Nakano, M., Ohishi, M., Nakamura, T., & Miura, T. (2021). Antimicrobial properties of L-amino acid oxidase: biochemical features and biomedical applications. In *Applied Microbiology and Biotechnology* (Vol. 105, Issue 12). <https://doi.org/10.1007/s00253-021-11381-0>
- Križaj, I., Bieber, A. L., Ritonja, A., & Gubenšek, F. (1991). The primary structure of ammodytin L, a myotoxic phospholipase A2 homologue from *Vipera ammodytes* venom. *European Journal of Biochemistry*, 202(3). <https://doi.org/10.1111/j.1432-1033.1991.tb16485.x>
- Latinović, Z., Leonardi, A., Šribar, J., Sajevec, T., Žužek, M. C., Frangež, R., Halassy, B., Trampuš-Bakija, A., Pungercar, J., & Križaj, I. (2016). Venomics of *Vipera berus berus* to explain differences in pathology elicited by *Vipera ammodytes ammodytes* envenomation: Therapeutic implications. *Journal of Proteomics*, 146. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2016.06.020>
- Logonder, U., Križaj, I., Rowan, E. G., & Harris, J. B. (2008). Neurotoxicity of ammodytoxin A in the envenoming bites of *Vipera ammodytes ammodytes*. *Journal of Neuropathology and Experimental Neurology*, 67(10). <https://doi.org/10.1097/NEN.0b013e318188c2d7>

- Meenakshisundaram, R., Sweni, S., & Thirumalaikolundusubramanian, P. (2009). Hypothesis of snake and insect venoms against Human Immunodeficiency Virus: A review. In *AIDS Research and Therapy* (Vol. 6). <https://doi.org/10.1186/1742-6405-6-25>
- Nalbantsoy, A., Hempel, B.-F., Petras, D., Heiss, P., Göçmen, B., Iğci, N., Yildiz, M. Z., & Süßmuth, R. D. (2017). Combined venom profiling and cytotoxicity screening of the Radde's mountain viper (*Montivipera raddei*) and Mount Bulgar Viper (*Montivipera bulgardaghica*) with potent cytotoxicity against human A549 lung carcinoma cells. *Toxicon*, *135*, 71–83. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2017.06.008>
- Pinzi, L., & Rastelli, G. (2019). Molecular docking: Shifting paradigms in drug discovery. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 20, Issue 18). <https://doi.org/10.3390/ijms20184331>
- Pražnikar, Z. J., Petan, T., & Pungercar, J. (2009). A neurotoxic secretory phospholipase A2 induces apoptosis in motoneuron-like cells. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1152*. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2008.03999.x>
- Salmaso, V., & Moro, S. (2018). Bridging molecular docking to molecular dynamics in exploring ligand-protein recognition process: An overview. In *Frontiers in Pharmacology* (Vol. 9, Issue AUG). <https://doi.org/10.3389/fphar.2018.00923>
- Sant'Ana, C. D., Menaldo, D. L., Costa, T. R., Godoy, H., Muller, V. D. M., Aquino, V. H., Albuquerque, S., Sampaio, S. V., Monteiro, M. C., Stábeli, R. G., & Soares, A. M. (2008). Antiviral and antiparasite properties of an l-amino acid oxidase from the Snake *Bothrops jararaca*: Cloning and identification of a complete cDNA sequence. *Biochemical Pharmacology*, *76*(2). <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2008.05.003>
- Sheahan, T. P., Sims, A. C., Zhou, S., Graham, R. L., Pruijssers, A. J., Agostini, M. L., Leist, S. R., Schafer, A., Dinnon, K. H., Stevens, L. J., Chappell, J. D., Lu, X., Hughes, T. M., George, A. S., Hill, C. S., Montgomery, S. A., Brown, A. J., Bluemling, G. R., Natchus, M. G., ... Baric, R. S. (2020). An orally bioavailable broad-spectrum antiviral inhibits SARS-CoV-2 in human airway epithelial cell cultures and multiple coronaviruses in mice. *Science Translational Medicine*, *12*(541). <https://doi.org/10.1126/SCITRANSLMED.ABB5883>
- Shimizu, J. F., Pereira, C. M., Bittar, C., Batista, M. N., Campos, G. R. F., Da Silva, S., Cintra, A. C. O., Zothner, C., Harris, M., Sampaio, S. V., Aquino, V. H., Rahal, P., & Jardim, A. C. G. (2017). Multiple effects of toxins isolated from *Crotalus durissus terrificus* on the hepatitis C virus life cycle. *PLoS ONE*, *12*(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187857>
- Simon, L., Imane, A., Srinivasan, K. K., Pathak, L., & Daoud, I. (2017). In Silico Drug-Designing Studies on Flavanoids as Anticolon Cancer Agents: Pharmacophore Mapping, Molecular Docking, and Monte Carlo Method-Based QSAR Modeling. *Interdisciplinary Sciences – Computational Life Sciences*, *9*(3). <https://doi.org/10.1007/s12539-016-0169-4>
- Siniavin, A. E., Streltsova, M. A., Nikiforova, M. A., Kudryavtsev, D. S., Grinkina, S. D., Gushchin, V. A., Mozhaeva, V. A., Starkov, V. G., Osipov, A. V., Lummis, S. C. R., Tsetlin, V. I., & Utkin, Y. N. (2021). Snake venom phospholipase A2s exhibit strong virucidal activity against SARS-CoV-2 and inhibit the viral spike glycoprotein interaction with ACE2. *Cellular and Molecular Life Sciences*, *78*(23). <https://doi.org/10.1007/s00018-021-03985-6>
- Waheed, H., Moin, S. F., & Choudhary, M. I. (2017). Snake Venom: From Deadly Toxins to Life-saving Therapeutics. *Current Medicinal Chemistry*, *24*(17). <https://doi.org/10.2174/0929867324666170605091546>
- Wei, J. F., Yang, H. W., Wei, X. L., Qiao, L. Y., Wang, W. Y., & He, S. H. (2009). Purification, characterization and biological activities of the l-amino acid oxidase from *Bungarus fasciatus* snake venom. *Toxicon*, *54*(3). <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2009.04.017>
- Zumla, A., Chan, J. F. W., Azhar, E. I., Hui, D. S. C., & Yuen, K. Y. (2016). Coronaviruses-drug discovery and therapeutic options. In *Nature Reviews Drug Discovery* (Vol. 15, Issue 5). <https://doi.org/10.1038/nrd.2015.37>

Atf İçin: Mutlu, D., Seçme, M. ve Arslan, Ş. (2023). Anticancer effects of Alpha-Lipoic Acid against A172 and U373 human glioblastoma cells. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 851-857.

To Cite: Mutlu, D., Seçme, M. & Arslan, Ş. (2023). Anticancer Effects of Alpha-lipoic Acid on A172 and U373 Human Glioblastoma Cells. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 851-857.

Anticancer Effects of Alpha-lipoic Acid on A172 and U373 Human Glioblastoma Cells

Doğukan MUTLU^{1*}, Mücahit SEÇME², Şevki ARSLAN¹

Highlights:

- The cytotoxicity of ALA on glioblastoma cells was investigated by MTT assay.
- ALA have exhibits antiproliferative, apoptotic, and anti-migrating activity in A172 and U373 cells.
- ALA was investigated by quantitative analysis of mRNA levels of apoptosis-related genes in glioblastoma cells.

ABSTRACT:

The high mortality rate of Glioblastoma multiforme (GBM) patients is partly due to the invasive behavior of the tumor cells. Given the increased resistance to conventional therapies of invasive cells after surgical operations, current treatments are ineffective. Therefore, understanding the mechanisms of GBM cell invasion is critical for the development of successful therapeutic approaches. Natural small molecules and metabolites are widely used as chemotherapeutic and adjuvant agents in cancer treatments because they have strong anticancer properties and minimal side effects. Alpha-lipoic acid (ALA) is an antioxidant that has been found to reduce the level of ROS and increase GPx activity in cancer patients. In this study, we analyzed the *in-vitro* cytotoxic potential and apoptotic effect in A172 and U373 cells in the presence of various concentrations (7.8-500 µM) of ALA. We also investigated scratch assay in both cell lines. The ALA inhibited cell viability of A172 and U373 cells at 48h. In addition, Bax mRNA expression was significantly increased in response to ALA for A172 cells. Furthermore, the BCL-2 level was decreased in A172 cells with ALA after 48h. Caspase 3 and 9 mRNA expressions were increased in ALA treated U373 cell line. In summary, we found that ALA inhibits cell growth and causes apoptosis in A172 and U373 glioblastoma cells.

Keywords:

- Alpha-lipoic acid
- Anticancer
- Glioblastoma
- Wound healing
- RT-PCR

¹ Doğukan MUTLU ([Orcid ID: 0000-0003-3259-5822](https://orcid.org/0000-0003-3259-5822)), Şevki ARSLAN ([Orcid ID: 0000-0002-4215-5006](https://orcid.org/0000-0002-4215-5006)), Pamukkale University, Faculty of Science, Department of Biology, Denizli, Türkiye

² Mücahit SEÇME ([Orcid ID: 0000-0002-2084-760X](https://orcid.org/0000-0002-2084-760X)), Ordu University, Faculty of Medicine, Department of Medical Biology, Ordu, Türkiye

Corresponding Author: Doğukan MUTLU, e-mail: dogukanmutlu@gmail.com

INTRODUCTION

Glioblastoma multiforme (GBM) is the most common type of malignant brain tumor, and it occurs in the central nervous system. GBM is a disease that is usually seen in adults, has an aggressive character and is also difficult to treat. (Ostrom et al., 2021; Wang and Wang, 2022). Although the incidence of GBM is low, the survival time is also low due to its rapid spread and invasion of vital organs. Even in those receiving chemotherapy and radiotherapy, the average survival time is between 7-15 months and the survival rate is between 0.05% and 4.7% (Li et al., 2021). GBM is a very difficult type of cancer to treat due to its aggressive nature and heterogeneity. Difficulties of treatment in GBM depend on several factors such as rapid cell turnover, limited brain self-repair capacity, and blood-brain barrier (BBB) permeability, resistance to receive desired chemotherapeutics, intratumoral heterogeneity, intrinsic GBM resistance and non-specific toxicity (Lacob and Dinca 2009; Ellis et al., 2015). Today, surgery, radiotherapy and chemotherapy with alkylating agents are still at the center of glioblastoma treatment (Liu et al., 2021; Khasraw et al., 2022). Within the scope of technological and scientific advances for GBM, studies are continuing to develop more effective treatment strategies and to find new treatment agents (Khasraw et al., 2022).

Natural compounds and bioactive molecules derived from herbal plants have been used as ethnopharmacological agents against different diseases for many years (Seçme and Dodurga, 2021). ALA is a short-chain fatty acid that contains sulfur in its structure (Attia et al., 2020). ALA is a natural antioxidant compound and is synthesized in small amounts in animals and plants. Studies showed that ALA can be used in the treatment of diabetes and hypertension and Alzheimer diseases (Barky et al., 2017; Attia et al., 2020). Studies on the antitumor effect of ALA are increasing considerably. Anticancer activities of ALA have been demonstrated in cancer types such as breast (Na et al., 2009), liver (Simbula et al., 2007), lung (Moungjaroen et al., 2006), leukemia (Alpay et al., 2016) and colon cancer (Yoo et al., 2013) by changing cell proliferation, cell cycle, apoptosis, and other cellular mechanisms. In the light of these, this study was aimed to determine the effect of ALA on cell proliferation, cell migration, and apoptosis in A172 and U373 glioblastoma cell lines under *in-vitro* conditions.

MATERIALS AND METHODS

Reagents

Fetal Bovine Serum (FBS), 0.25% Trypsin-EDTA, and DMEM (Dulbecco's Modified Eagle Medium) were purchased from Gibco (USA). 1x phosphate-buffered saline (PBS) and 100x penicillin/streptomycin were obtained from Capricorn (Germany). Alpha-lipoic acid (ALA) was purchased from Sigma (Cat#62320-5G-F). Annexin V-FITC/PI Apoptosis Detection Kit and MTT reagent were purchased from BioVision (USA). Dimethyl sulfoxide (DMSO) was obtained from Carlo Erba (USA).

Cell culture

The A172 and U373 (Human glioblastoma cell lines) were obtained from the European Collection of Authenticated Cell Cultures (ECACC). Both cells were incubated in complete culture medium (1% penicillin/streptomycin mix and 10% FBS) at 37 °C in a 5% CO₂ incubator described previously (Konus et al., 2022). The medium was refreshed 2 times a week, and at 90% confluency cells were passaged.

MTT assay

The cancer cells were seeded on 96-well plates at a concentration of 2×10^3 cells/well in DMEM. Following 24 h, the culture medium was refreshed with culture medium containing different concentrations (7.8, 15.6, 62.5, 125, 250, and 500 μ M) of ALA dissolved in 100% DMSO and the plates were cultured for 24 and 48 h. Control groups received DMSO only (not exceed 1%). Cell viability was conducted using the MTT assay (Sahin et al., 2021). The absorbance was detected at 590nm using an Epoch Microplate Spectrophotometer (BioTek Instruments, USA). The ALA was dissolved in DMSO to prepare a stock at a concentration of 50 mM and stored at -20°C before use. All experiments were performed in triplicate.

Wound stracth assay

For wound stracth assay, the cell suspension was prepared at a concentration of 3×10^4 cell/well and seeded onto a 6-well plate described previously (Mutlu et al., 2022). After 80-90% confluency, the cells were scratched with a 200 μ l tip to make a gap. Afterward, plates were washed for removing cell debris with 1x PBS. Then, EC_{50} of ALA was applied to cancer cells and scratch closure was imaged until the 48h. After incubation, photos of the control and treated wells were taken. For this purpose, 10x microscope magnification was used (Oxion Inverso Inverted Microscope, Euromex). The wound scratch assay was carried out in triplicate and analyzed by ImageJ software 1.53e (USA).

RNA isolation, cDNA synthesis, and qRT-PCR analysis

A172 and U373 cells were treated with ALA for 48 h. innuPREP RNA Mini Kit 2.0 (Analytik Jena, Germany) was used to isolate the total RNAs, and cDNAs were synthesized using OneScript® Plus cDNA Synthesis Kit (abm, USA). Applied Biosystems StepOnePlus™ system was used for qRT-PCR. Changes in mRNA levels were calculated using the $2^{-\Delta\Delta C_t}$ method. The mRNA levels of genes involved in apoptosis (Table 1) were normalized to GAPDH. The experiment was performed in triplicate.

Table 1. Sequences of the primers (R, reverse; F, forward).

Gene	Accession code	Primer sequence
GAPDH	NM_002046	F:GTCTCCTCTGACTTCAACAGCG R:ACCACCCTGTTGCTGTAGCCAA
BAX	NM_004324	F:TCAGGATGCGTCCACCAAGAAG R:TGTGTCCACGGCGGCAATCATC
BCL-2	NM_000633	F:ATCGCCCTGTGGATGACTGAGT R:GCCAGGAGAAATCAAACAGAGGC
CASP3	NM_004346	F:GGAAGCGAATCAATGGACTCTGG R:GCATCGACATCTGTACCAGACC
CASP9	NM_001229	F:GTTTGAGGACCTTCGACCAGCT R:CAACGTACCAGGAGCCACTCTT

Statistical analysis

Data are given as the mean \pm SD by Graphpad Prism 9.0 software. Student's *t*-test followed by Tukey's post-hoc test for multiple comparisons was used to compare the results. $P < 0.05$ was chosen for statistically significant difference.

RESULTS AND DISCUSSION

ALA suppresses A172 and U373 cell viability

The cell viability was performed to evaluate the effects of ALA on cultured A172 and U373 cells by MTT assay as described in methods part. The cell viability was decreased with increasing dose of

ALA in A172 and U373 cells and EC_{50} value was found as 445.90 μM and 440.83 μM , respectively (Figure 1a, b).

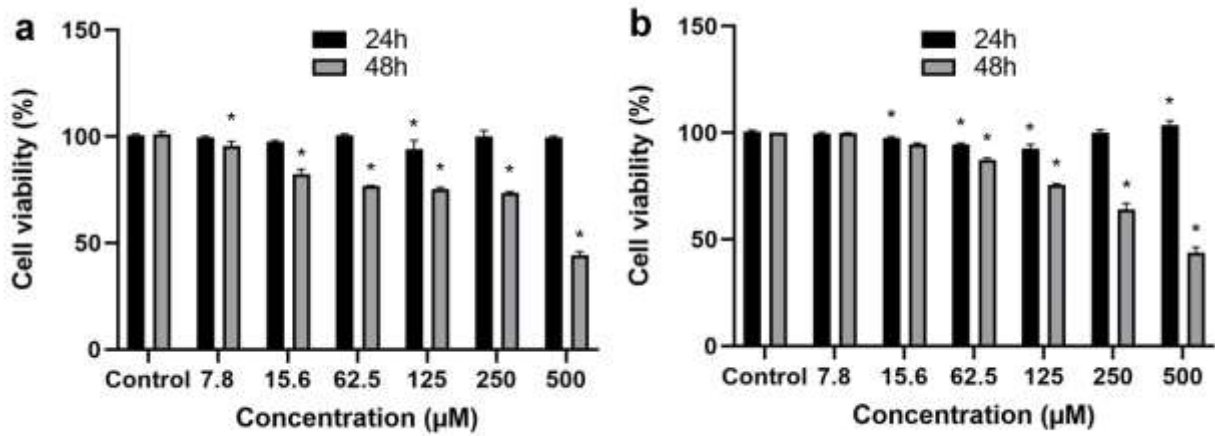


Figure 1. The cytotoxic effects of ALA after treatment for 24 and 48 h on glioblastoma cell lines (a) A172 and (b) U373. Shown are means \pm SD from three experiments * $P < 0.05$

Wound scratch assay

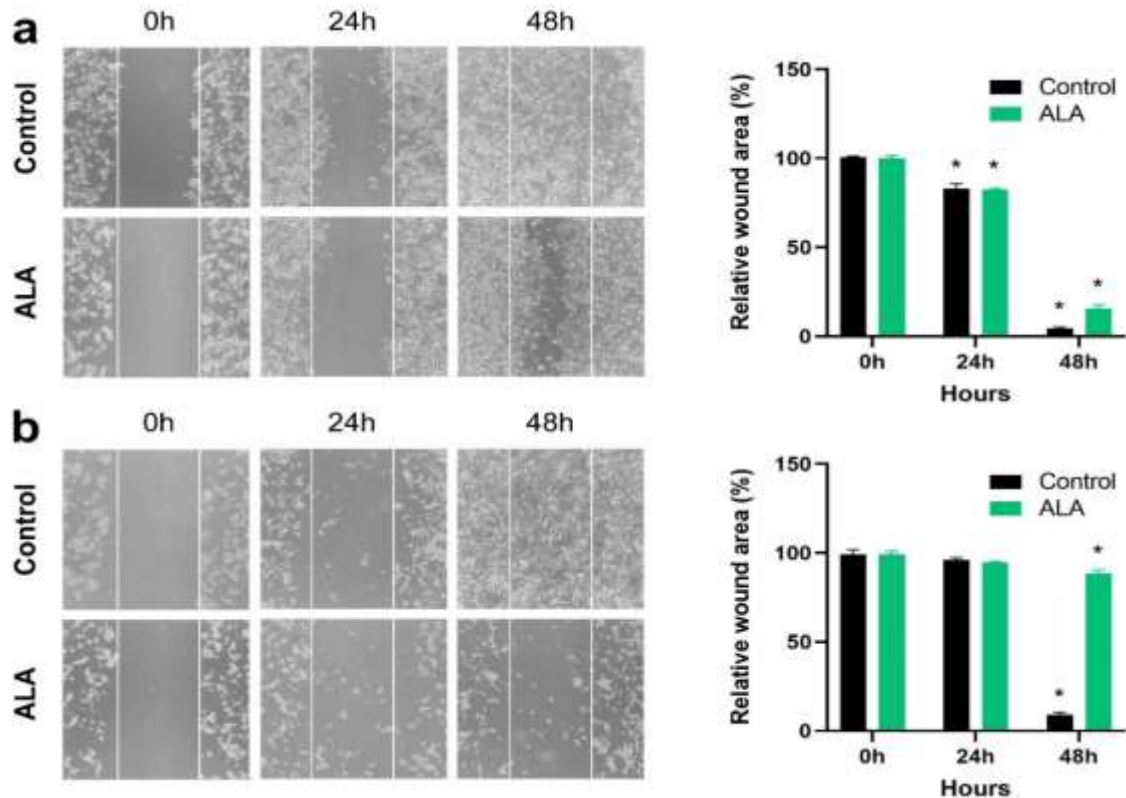


Figure 2. Representative images of *in-vitro* wound healing assays on glioblastoma cell lines (a. A172 and b. U373) and bar graphs illustrating percentage wound closure at indicated time points during the assay. Shown are means \pm SD from three experiments * $P < 0.05$

The *in-vitro* wound scratch assay was conducted to compare the migration rate of A172 and U373 cells of ALA. Figure 2 summarizes the % migration of both cells after 0, 24, and 48 h of incubation with effective concentration (445.90 μM for A172 and 440.83 μM for U373) of ALA. The inverted microscopy (Oxion Inverso, Euromex, Netherlands) images of the scratches after 0 and 48 h

are shown in Figure 2. Compared to treatment, % closure was similar for the control groups until 48 h incubation, the ALA showed the highest migration on 48 h with 86% of wound closure for A172 cells. In addition, the closure of the wound for U373 cells treatment with ALA was also observed (4%), although the cells were disrupted, and the cell morphology changed to more round-shaped (Figure 2).

Gene expression analysis

The effects of ALA on caspase 3, caspase 9, BAX and BCL-2 mRNA levels were determined in both cell lines. In our study when the related gene expressions of A172 cells were examined, it was shown that increased BAX expression (10.32-fold) and decreased the expression of BCL-2 (2.26-fold), caspase 3 (1.39-fold), and caspase 9 (1.26-fold) genes. On the other hand, the related gene expressions of U373 cells were examined, and it was shown that increased the expression of BAX, BCL-2, caspase 3, and 9 genes (1.94, 1.73, 2.08, and 2.08-fold), respectively (Table 2). The ratio of Bcl-2/Bax, which was used as the index of apoptotic efficiency, was reduced significantly ALA treated A172 cells at concentration of EC₅₀. ($P < 0.05$). In conclusion, our study showed that ALA inhibits cell proliferation and induced apoptosis in A172 and U373 glioblastoma cancer cell lines.

Table 2. The changes of mRNA expression levels after treatment with ALA. Negative fold change values indicate an decrease in expression, and positives a increase in expression

Gene	A172		U373	
	Fold change	<i>p</i> -value	Fold change	<i>p</i> -value
<i>BCL-2</i>	-2.26	0.003371	+1.73	0.052622
<i>BAX</i>	+10.32	0.000372	+1.94	0.738060
<i>caspase 3</i>	-1.39	0.358729	+2.08	0.062298
<i>caspase 9</i>	-1.26	0.003405	+2.08	0.286318

Although not using a non-cancer cell line is a limitation in this study, it has been reported in the literature that the cytotoxic activity of ALA in non-cancer cells used for control purposes occurs at higher doses than in cancer cells. In a study, it was demonstrated that the ALA dimer did not have cytotoxic activity between 6.25 and 50 μ M dose range in HT22 mouse hippocampal neuronal cells (Wang et al., 2019). In another study, it was reported that ALA had no harmful effects on astroglial cells and had no toxic effects (Bramanti et al., 2010).

The cytotoxic effects of ALA were found in several distinct cancer types such as murine melanoma (Packer, 1998), ovarian carcinoma (Vig-Varga et al., 2006), inhibition of cell proliferation, and inducing the apoptosis of colon carcinoma (Wenzel et al., 2005), inhibited cell growth, colony formation ability, and the nontoxic concentrations significantly reduced the migration of breast cancer (Tripathy et al., 2018). Cell migration and proliferation capacity of cells play an important role in metastasis and cancer progression (Yamaguchi et al., 2005). In this study, the wound stracth assay was used to evaluate cell migration. Similar effects were seen in both cell lines, with the ALA reducing the ability of wounds to heal. These findings suggest that ALA inhibits the growth of many types of cancer cells.

Apoptosis is controlled by different genes that are involved in two main apoptotic pathways, extrinsic and intrinsic. There are many mechanisms involved in apoptosis, including antiapoptotic proteins such as the Bcl-2 family and proapoptotic proteins such as Bax and caspases (Yang et al., 1995; Hitoshi et al., 1998; Hongmeii, 2012). It was previously reported that ALA increased the caspase 3 activity and decreased Bcl-XL in human colorectal carcinoma (HT-29) cell line (Wenzel et al., 2005). Choi et al. (2009) reported that ALA treatment inhibited proliferation of the lung cancer cells and caused induction of apoptosis. Similarly, Puchsaka et al. (2016) reported that ALA induced apoptosis in lung cancer cells. These results are consistent with the results of our study.

These results showed that ALA inhibited cell proliferation and induces apoptosis in glioblastoma cells (A172 and U373). In conclusion, these findings indicate that ALA has the potential as a therapeutic drug to inhibit cancer.

CONCLUSION

Our study has shown for the first time that ALA dose-dependently caused a significant inhibition of A172 and U373 cell proliferation at 48 h. The ALA decreased wound healing ability in both cell lines. Also, the ALA modulated the expression of BAX, BCL-2, caspase 3, and caspase 9. These results highlight the promising anticancer effects of ALA. Although there are various studies in the literature on the anticancer activities of ALA, further studies are needed to clarify these pathways.

Conflict of Interest

The article authors declare that there is no conflict of interest between them.

Author's Contributions

The authors declare that they have contributed equally to the article.

REFERENCES

- Alpay, M., Yurdakok-Dikmen, B., Kismali, G., Sel, T. (2016). Antileukemic Effects of Piperlongumine and Alpha Lipoic Acid Combination on Jurkat, MEC1 and NB4 Cells in vitro. *Journal of Cancer Research and Therapeutics*, 12(2), 556–560.
- Attia, M., Essa, E. A., Zaki, R. M., Elkordy, A. A. (2020). An Overview of the Antioxidant Effects of Ascorbic Acid and Alpha Lipoic Acid (in Liposomal Forms) as Adjuvant in Cancer Treatment. *Antioxidants*, 9(5), 359.
- Bramanti, V., Tomassoni, D., Bronzi, D., Grasso, S., Currò, M., Avitabile, M., Volsi L. G., Renis, M., Ientile, R., Amenta, F., Avola, R. (2010). Alpha-lipoic acid modulates GFAP, vimentin, nestin, cyclin D1 and MAP-kinase expression in astroglial cell cultures. *Neurochemical Research*, 35(12), 2070–2077.
- Choi, S. Y., Yu, J. H., Kim, H. (2009). Mechanism of Alpha-lipoic Acid-induced Apoptosis of Lung Cancer Cells. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1171, 149-55.
- Ellis, H. P., Greenslade, M., Powell, B., Spiteri, I., Sottoriva, A., Kurian, K. M. (2015). Current Challenges in Glioblastoma: Intratumour Heterogeneity, Residual Disease, and Models to Predict Disease Recurrence. *Frontiers in Oncology*, 5, 251.
- Hitoshi, Y., Lorens, J., Kitada, S. I., Fisher, J., LaBarge, M., Ring, H.Z., Francke, U., Reed, J.C., Kinoshita, S., Nolan, G. P. (1998). Toso, a Cell Surface, Specific Regulator of Fas-induced Apoptosis in T Cells. *Immunity*, 8, 461–71.
- Hongmei, Z. (2012). Extrinsic and Intrinsic Apoptosis Signal Pathway Review. In (Ed.), *Apoptosis and Medicine*. IntechOpen.
- Khasraw, M., Fujita, Y., Lee-Chang, C., Balyasnikova, I. V., Najem, H., Heimberger, A. B. (2022). New Approaches to Glioblastoma. *Annual Review of Medicine*, 73, 279–292.
- Konus, M., Cetin, D., Kızılkın, N. D., Yılmaz, C., Fidan, C., Alğso, M., Kavak, E., Kivrak, A., Kurt-Kızıldoğan, A., Otur, C., Mutlu, D., Abdelsalam, A. H., Arslan, S. (2022). Synthesis and Biological Activity of New Indole Based Derivatives as Potent Anticancer, Antioxidant and Antimicrobial Agents. *Journal of Molecular Structure*, 1263, 133168.
- Liu, J. Y., Fu, W. Q., Zheng, X. J., Li, W., Ren, L. W., Wang, J. H., Yang, C., Du, G. H. (2021). Avasimibe Exerts Anticancer Effects on Human Glioblastoma Cells via Inducing Cell Apoptosis and Cell Cycle Arrest. *Acta Pharmacologica Sinica*, 42(1), 97–107.
- Moungjaroen, J., Nimmannit, U., Callery, P. S., Wang, L., Azad, N., Lipipun, V., Chanvorachote, P., Rojanasakul, Y. (2006). Reactive Oxygen Species Mediate Caspase Activation and Apoptosis Induced by

- Lipoic Acid in Human Lung Epithelial Cancer Cells Through Bcl-2 Down-regulation. *The Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*, 319(3), 1062–1069.
- Mutlu, D., Cakir, C., Ozturk, M., Arslan, S. (2022). Anticancer and Apoptotic Effects of a Polysaccharide Extract Isolated from *Lactarius chrysorrheus* Fr. in HepG2 and PANC-1 Cell Lines. *Archives of Biological Sciences*, 74(4), 315-24.
- Na, M. H., Seo, E. Y., Kim, W. K. (2009). Effects of α -lipoic Acid on Cell Proliferation and apoptosis in MDA-MB-231 Human Breast Cells. *Nutrition Research and Practice*, 3(4), 265.
- Ostrom, Q. T., Gittleman, H., Truitt, G., Boscia, A., Kruchko, C., Barnholtz-Sloan, J. S. (2021). CBTRUS Statistical Report: Primary Brain and Other Central Nervous System Tumors Diagnosed in the United States in 2011-2015. *Neuro-Oncology*, 23, 12.
- Packer, L. (1998). Alpha-Lipoic Acid: A Metabolic Antioxidant Which Regulates NF-kappa B Signal Transduction and Protects Against Oxidative Injury. *Drug Metabolism Reviews*, 30, 245–275.
- Puchsaka, P., Chaotham, C., Chanvorachote, P. (2016). α -Lipoic Acid Sensitizes Lung Cancer Cells to Chemotherapeutic Agents and Anoikis via Integrin β 1/ β 3 Downregulation. *International Journal of Oncology*, 49, 1445-1456.
- Sahin, C., Mutlu, D., Nasirli, F., Mahmoudi, G., Zubkov, F. I., Arslan, S., Doğan, N. M. (2021). New Iridium Bis-terpyridine Complexes: Synthesis, Characterization, Antibiofilm and Anticancer potentials. *Biometals*, 34, 701–713.
- Seçme M., Dodurga Y. (2021). Usnic Acid Inhibits Cell Proliferation and Downregulates lncRNA UCA1 Expression in Ishikawa Endometrial Cancer Cells. *Natural Products and Biotechnology*. 1(1), 28-37.
- Simbula, G., Columbano, A., Ledda-Columbano, G. M., Sanna, L., Deidda, M., Diana, A., Pibiri, M. (2007). Increased ROS Generation and p53 Activation in Alpha-lipoic Acid-induced Apoptosis of Hepatoma Cells. *Apoptosis: An International Journal on Programmed Cell Death*, 12(1), 113–123.
- Tripathy, J., Tripathy, A., Thangaraju, M., Suar, M., Elangovan, S. (2018). α -Lipoic Acid Inhibits the Migration and Invasion of Breast Cancer Cells Through Inhibition of TGF β Signaling. *Life Sciences*, 207, 15-22.
- Vig-Varga, E., Benson, E. A., Limbil, T. L., Allison, B. M., Geobl, M. G., Harrington, M. A. (2006). Alpha-lipoic Acid Modulate Ovarian Surface Epithelial Cell Growth. *Gynecologic Oncology*, 103, 45–52.
- Wang, G., Wang, W. (2022). Advanced Cell Therapies for Glioblastoma. *Frontiers in Immunology*, 13, 904133.
- Wang, R., Zhang, L., Liao, R., Li, Q., Pi, R., Yang, X. (2019). N2L, a novel lipoic acid-niacin dimer protects HT22 cells against β -amyloid peptide-induced damage through attenuating apoptosis. *Metabolic Brain Disease*, 34(6), 1761-1770.
- Wenzel, U., Nickel, A., Daniel, H. (2005). Alpha-Lipoic Acid Induces Apoptosis in Human Colon Cancer Cells by Increasing Mitochondrial Respiration with a Concomitant O₂-* Generation. *Apoptosis*, 10, 359–368.
- Yamaguchi, H., Wyckoff, J., Condeelis, J. (2005). Cell Migration in Tumors. *Current Opinion in Cell Biology*, 17(5), 559-64.
- Yang, E., Zha, J., Jockel, J., Boise, L. H., Thompson, C. B., Korsmeyer, S. J. (1995). Bad, a Heterodimeric Partner for Bcl-XL and Bcl-2, Displaces Bax and Promotes Cell Death. *Cell*, 80, 285–91.
- Yoo, T. H., Lee, J. H., Chun, H. S., Chi, S. G. (2013). α -Lipoic Acid Prevents p53 Degradation in Colon Cancer cells by Blocking NF- κ B Induction of RPS6KA4. *Anticancer Drugs*, 24(6), 555–565.

Atf İçin: Kızıltepe, Ş., Akpınar, R., Akman, A., Kaya, S. ve Çelik, S. (2023). İğdir İlinde Görülen Arı Kolonisi Kayıplarında Viral ve Paraziter Etkenlerin Rolü. *İğdir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 858-871.

To Cite: Kızıltepe, Ş., Akpınar, R., Akman, A., Kaya, S. & Çelik, S. (2023). The Role Of Viral and Parasitic Factors In Bee Colony Losses İn İğdir Province. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 858-871.

İğdir İlinde Görülen Arı Kolonisi Kayıplarında Viral ve Paraziter Etkenlerin Rolü

Şemistan KIZILTEPE^{1*}, Rahşan AKPINAR², Ayhan AKMAN², Selma KAYA², Semanur ÇELİK²

Öne Çıkanlar:

- Koloni kayıpları
- Bal arıları
- Miks enfeksiyon

Anahtar Kelimeler:

- Türkiye
- İğdir
- Koloni kaybı
- Arı virüsleri
- Nosemosis

ÖZET:

Bal arılarında görülen koloni kayıplarında bakım ve beslenme hataları, pestisitler, arı hastalıkları ve zararlıları, küresel ısınma ve stres gibi birçok faktör rol oynamaktadır. Arı hastalıkları arasında yer alan viral ve paraziter enfeksiyonlar arı işletmelerinde önemli ekonomik kayıplara ve zaman zaman da kolonilerin sönmesine neden olabilmektedir.

Bu çalışmada, İğdir ilinde bulunan, koloni kaybı geçmişi olan 64 işletme belirlenmiş, bu işletmelerde görülen koloni kayıplarında viral, paraziter ve mikrosporodiyal etkenlerin rolü araştırılmıştır. Bu amaçla yedi viral etken; Akut arı felci virusu (Acute Bee Paralysis Virus-ABPV), kronik arı felci virusu (Cronic Bee Paralysis Virus-CBPV), siyah kraliçe hücre virusu (Black Queen Cell Virus-BQCV), deforme kanat virusu (Deforme Wing Virus-DWV), torba çürüklüğü virusu (SacBrood Virus-SBV), Kaşmir arı virusu (Kashmir Bee Virus-KBV), İsrail akut arı felci virusu (Israeli Acute Paralysis Virus-IAPV) ile nosemosis ve varroasis yönünden incelenmiştir. Araştırma sonunda viral etkenlerden ABPV, BQCV, CBPV, DWV, KBV, SBV ve IAPV sırasıyla %1.56, %76.56, %4.68, %50, %1.56, %81.25, %20.31 oranlarında; mikrosporodiyal hastalıklardan nosemosis % 60.93 oranında bulunmuştur. Nosemosise neden olan etken *Nosema ceranae* olarak belirlenmiştir. Ayrıca koloni kaybı gözlenen arı işletmelerinin hiçbirinde *Varroa sp.* tespit edilmemiştir. Sonuç olarak, koloni kaybı gözlenen arı işletmelerinde miks enfeksiyonların görüldüğü ve bu görülen miks enfeksiyonların koloni kayıplarında etkili olabileceği düşünülmektedir.

The Role Of Viral And Parasitic Factors In Bee Colony Losses İn İğdir Province

ABSTRACT:

Colony losses in honey bees; It is caused by many factors such as care and feeding errors, pesticides, bee diseases and pests, global warming and stress. Viral and some parasitic infections, which are among the bee diseases, can cause significant economic losses in bee holdings and, from time to time, colony extinction.

In this study, the role of viral and parasitic factors in colony losses observed in honey bee enterprises engaged in beekeeping and making their living from this activity in İğdir province was investigated. For this purpose, seven viral agents in 64 bee farms with colony loss; Acute bee paralysis virus (ABPV), Chronic bee paralysis virus (CBPV), Black queen cell virus (BQCV), Deformed wing virus (DWV), Sacbrood bee virus (SBV), Cashmere bee virus (KBV), Israel acute bee paralysis virus (IAPV) and two parasitic agents; Examined for *Nosema apis/cerana* and *Varroa*. For this purpose, samples of 64 bee farms with colony loss in the spring of 2021 were analyzed. ABPV, BQCV, CBPV, DWV, KBV, SBV and IAPV factors were found to be 1.56%, 76.56%, 4.68%, 50%, 1.56%, 81.25%, 20.31%, respectively, in honey bee enterprises with colony loss. *Nosema ceranae* was positive at a rate of 60.93%, and *N. apis* was not found. In addition, in any of the bee farms with colony loss, *Varroa sp.* not detected. As a result, it is thought that mixed infections are seen in bee holdings with colony loss and these mixed infections are thought to be effective in colony losses.

Highlights:

- Colony loses
- Honeybees
- Mixed infections

Keywords:

- Türkiye
- İğdir
- Colony loss
- Bee viruses
- Nosemosis

¹Şemistan KIZILTEPE (Orcid ID:0000-0003-3727-8893), İğdir Üniversitesi, Tuzluca Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, İğdir, Türkiye

²Rahşan AKPINAR (Orcid ID:0000-0003-0075-9247), Ayhan AKMAN (Orcid ID:0000-0003-0152-0481), Selma KAYA (Orcid ID:0000-0002-8934-3418), Semanur ÇELİK (Orcid ID:0000-0001-5657-1273), T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Samsun Veteriner Kontrol Enstitüsü, Samsun, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Şemistan KIZILTEPE, e-mail: semistan.kiziltepe@igdir.edu.tr

GİRİŞ

Farklı iklim özelliklerine sahip coğrafyası ile geniş bir biyolojik çeşitliliğin sahip olan Türkiye, *Apis mellifera* (bal arı) yetiştiriciliği için çok avantajlı bir ülkedir. Türkiye 8.733.394 koloni sayısı ve yıllık 96.344 ton bal üretimi verimi ile dünyada bal arısı yetiştiriciliğinde çok önemli bir konumdadır. Bal arıları hem doğadaki bitki türlerinin polinasyonunda hem de ürettikleri ürünler bazında çok önemli canlılardır. Arıcılık sektörünün üretimi ve sürdürülebilir olması için bal arısı kolonilerinde koloni kayıplarının sebeplerinin bilinmesi ve gerekli tedbirlerin alınması önemlidir. Son yıllarda bal arısı kolonilerinde ciddi koloni kayıpları gözlemlenmektedir. Bal arılarında görülen koloni kayıplarında bal arısı hastalıkları başta olmak üzere, koloninin bakım beslenme hataları, ana arı yetmezliği, pestisit ilaçlar ile iklim değişiklikleri gibi birçok nedenin birlikte rol oynadığı bildirilmektedir (Genersch, 2010; Ratnieks ve Carreck, 2010; Williams ve ark., 2010; Gajger ve ark., 2014; Simon-Delso ve ark., 2014). Yapılan araştırmalar sonucunda koloni kayıplarının önemli sebeplerinden biri de kolonide miks enfeksiyonların bulunması olarak değerlendirilmiştir (Cox foster ve ark., 2007).

Nosemosis ergin bal arılarının sindirim sisteminde yerleşen, hem koloni kayıplarına hem de verim düşüklüğüne sebep olan, sık rastlanan önemli mikrosporoidal entomopatojen hastalıklarından biridir (Özüoğlu ve Aydın, 2018). Günümüzde dünya genelinde *Apis mellifera*'da hastalık yaptığı bilinen *Nosema apis* ve *Nosema ceranae* olmak üzere 2 tür tanımlanmıştır (Fries ve ark., 1996; Şimşek ve ark., 2001; Chemurot ve ark., 2017).

Varroasis arı kolonilerinde önemli derecelerde kayıp ve hasarlara sebep olan paraziter bir hastalıktır. *Varroa* cinsi altında *V. jacobsoni*, *V. underwoodi*, *V. rindereri* ve *V. Destructor* olmak üzere 4 tür bulunmaktadır. Türkiye'de *Varroa* sp.'nin tür ve haplotipi üzerine yapılan çalışmalarda, ülkemizde bulunan türün *V. destructor*, haplotipin ise Kore (K) haplotipi olduğu tespit edilmiştir (Çakmak ve ark., 2003; Shen ve ark., 2005a; Aydın ve ark., 2007).

Son yıllarda yapılan çalışmalarda bal arısı patojenleri arasında yer alan arı viruslarının, koloni kayıplarında büyük bir rol oynadığı ve arıların için ciddi bir tehdit oluşturduğu görülmüştür (Chen ve Siede, 2007). Arı viruslarının bal arılarına bulaşması, arıların farklı yaşam formlarında olabilmektedir. Bal arılarında arı virusleri genellikle asemptomatik seyretmesine rağmen arıların hastalanmalarına ve ölümlerine neden olabilirler. Bazı virusler arıların sağlığını önemli ölçüde etkiler ve bazı koşullarda yaşam süresinin kısalması sonucunda tüm koloninin çökmesine sebep olur (Berenyi ve ark., 2006a; Welch ve ark., 2009). Şu ana kadar yapılan araştırmalarda bu şekilde koloni çöküşüne sebep olan 26 bal arısı virusunun varlığı bildirilmiştir (Allen ve Ball, 1996; Ellis ve Munn, 2005; Gauthier ve ark., 2007; Baker ve Schroeder, 2008; Reynaldi ve ark., 2010; Reynaldi ve ark., 2011; De Miranda ve ark., 2013; Levitt ve ark., 2013; Remnant ve ark., 2017; Galbraith ve ark., 2018). Arıcılığımızı tehdit eden hastalıklardan biri olarak karşımıza çıkan koloni çöküş hastalığı (Colonic Collapse Disease-CCD); yetişkin arıların aniden ortadan kaybolması, yetişkin arıların bir daha kovana dönmemesi, kovanda arı nüfusunun az bulunması ve/veya tüketilmemiş polen ve bal bulunması ile karakterize bir sendromdur (Cox-Foster ve ark., 2007; Ratnieks ve Carreck, 2010). Bu viruslerin çoğunluğunun RNA genomu taşıdığı, filamentöz virus ve *Apis iridescent* virusün ise DNA genomu taşıdığı belirlenmiştir (Doğanay ve Aydın, 2017; Garigliany ve ark., 2018; Levin ve ark., 2019).

Akut arı felci virüsü (ABPV), *Dicistroviridae* ailesinden *Aparavirus* cinsinden RNA virüsüdür. Ergin bal arılarında titreme, felç ve ani arı ölümleri ile karakterize olup, larva ve pupalarda da enfeksiyon oluşturmaktadır (Maramorosch ve Shatkin 2007).

Kronik arı felci virüsü (CBPV), tek iplikli RNA taşıyan yeni bir virus ailesi olarak kabul edildiğinden henüz tam olarak sınıflandırılmamıştır (Gürçay ve Kutlu 2022). Arı kolonilerinde

asemptomatik seyredebilir. Hastalık görülen kolonilerde iki farklı sendrom gösterdiği belirlenmiş; tip 1 sendromda, kanat ve vücutta titreme, abdomende şişkinlik, disloke olmuş kanatlardan dolayı uçuş yeteneğini kaybetme, tip 2 sendromda, vücut kıllarının dökülmesi sonucunda vücudun parlak-siyah renk aldığı görülür. Enfekte arılar uçamaz, uzuvlarda titremeler belirgindir (Ribiere ve ark., 2007; Olivier ve ark. 2008; Blanchard ve ark., 2009; Tuncer ve Yeşilbağ, 2009; Ribiere ve ark., 2010; Muz ve Muz, 2018).

Siyah kraliçe hücre virusu(BQCV), etken *Dicistroviridae* ailesinden *Triatovirus* cinsinden RNA virusüdür (Spurny ve ark., 2017; Muz ve Muz, 2018). Enfeksiyon, kraliçe bal arısı larvaları ve pupalarının soluk sarı renkten koyu renge dönme ve ölümüyle karakterizedir. Bulaşmada arılar beslenme yoluyla etkenleri alırlar. Ayrıca bu viral hastalığın özellikle noseimosisli kolonilerde görüldüğü bilinmektedir (Tentcheva ve ark., 2004a; Anderson, 2005; Berenyi ve ark., 2006b; Nielsen ve ark., 2008).

Deforme kanat virusu (DWV) *Iflaviridae* ailesinin *Iflavirus* cinsi tek iplikçikli RNA virusüdür (Lanzi ve ark., 2006, Berenyi ve ark., 2006a; Maramorosch ve Shatkin 2007). Hastalık ergin arılarda buruşuk kanat, abdomende küçülme, ağırlık azalması ve renksizleşme ile karakterizedir. *Varroa destructor* deforme kanat virusunun vektörüdür (Tentcheva ve ark., 2004b, Maramorosch ve Shatkin 2007).

Kaşmir Arı virusu (KBV), etken *Dicistroviridae* ailesinden *aparavirus* cinsinden tek iplikçi RNA virusüdür. KBV enfeksiyonu virülensi yüksek bir arı hastalığıdır. KBV genellikle persiste enfeksiyon olarak seyrettiği fakat *Varroa* sp. akarının istilasından sonra hastalık semptomlarının ortaya çıktığı bildirilmektedir (Allen ve Ball, 1996; De Miranda ve ark., 2004; Shen ve ark., 2005b; Aubert ve ark., 2008; Francis ve Kryger, 2012; Usta ve Yıldırım, 2020).

Torba Çürüklüğü Virusü (SBV), bal arılarını tüm yaşam evrelerinde enfekte eden *Iflaviridae* ailesinin, *Iflavirus* cinsi, tek sarmallı, zarfsız bir RNA virusüdür (Nielsen ve ark., 2008; Valles ve ark., 2017; Yıldırım ve ark., 2020). SBV arıliklarda büyük kayıplara neden olabilir (Morawetz ve ark., 2019, Kalaycı ve ark., 2019). SBV yetişkin arılarda yaşam süresinin kısalmasına sebep olurken larvalar için öldürücüdür (Uygur ve Girişgin, 2008; Reddy ve ark., 2016; Li ve ark., 2019).

İsrail Akut Arı felci Virusü (IAPV), *Dicistroviridae* ailesinde *Aparavirus* cinsinin bir üyesi olan IAPV çoğunlukla klinik belirti oluşturmada seyretmektedir (Govan ve ark., 2000; Maori ve ark., 2007; Chen ve ark., 2006; Palacios ve ark., 2008; Yan ve ark., 2009; Meeus ve ark., 2014; Mullapudi ve ark. 2016). Hasta olan arılarda felç bulguları ve kanatlarda titreme tipik klinik semptom olarak görülmektedir. Kovan dışında ve yakın çevrede ölü arılara rastlanır (Meeus ve ark., 2014; Usta ve Yıldırım, 2020). IAPV yayılmasında *Varroa destructor* rol oynar (Chen ve ark., 2007,2014; De Miranda ve ark., 2010; Di Prisco ve ark., 2011).

Bal arısı yetiştiriciliğinde herbir kovan için bal verimi önemlidir. Türkiye, kovan başına bal veriminde 11.03 kg/kovan ile dünya ortalamasının çok altındadır. Bununla birlikte, kovan başına bal verimi ülkemizde her geçen gün azalmakta olup, bunun sebeplerinin bir an önce belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışma, İğdir ilinde görülen koloni kayıpları ile Akut Arı Felci Virusü (ABPV), Kronik Arı Felci Virusü (CBPV), Deforme Kanat virusu (DWV), Siyah Kraliçe Hücre Virusü (BQCV), Torba Çürüklüğü Virusü (SBV), Kaşmir Arı virusu (KBV), İsrail Akut Arı felci Virusü(IAPV) *Varroa* akarı ve nosema varlığı arasındaki ilişkiyi araştırmak amacıyla yapılmıştır.

MATERYAL VE METOT

Materyal

Bu çalışmada, Iğdır ilinde koloni kaybı görülen işletmelerden alınan numuneler incelenmiştir. Bu amaçla 2021 yılının ilkbahar mevsiminde (Mart, Nisan ve Mayıs ayları) koloni kaybı gözlenen 64 işletmenin herbirinden 100 adet ergin arı örnekleri alınmış ve örneklerin ilçelere göre dağılımı Çizelge 1 de sunulmuştur.

Çizelge 1. Örnek Alınan İşletmelerin İl-İlçe Bazında Dağılımı

Örnek alınan ilçe	Örnek alınan işletme sayısı
Merkez	15
Aralık	15
Karakoyunlu	10
Tuzluca	24
Toplam	64

Metot

Homojenizasyon: RNA ve DNA ekstraksiyonunda kullanılacak örneklerin homojenizasyonu ayrı ayrı yapıldı. RNA ekstraksiyonundan önce aynı kovandan alınan 15 ergin arı örneği 7 ml'lik tüplere konularak üzerine 3 ml PBS eklendi. DNA ekstraksiyonu için ise yine aynı kovandan alınan 30 ergin arı abdomeni 7 ml'lik tüplere aktarıldı ve üzerlerine 3 ml PBS konuldu. Daha sonra cryo tüpler otomatik homojenizasyon cihazında (bead ruptor elite, bead mill homogenizer, sku 19-042E, omni international, USA) homojenizasyonları yapılan örnekler soğutmalı santrifüj cihazında sırasıyla RNA ekstraksiyonu için 4000 rpmde 15 dk, DNA ekstraksiyonu için 2500 rpmde 10 dk santrifüj edildi.

RNA Ekstraksiyonu: RNA ekstraksiyonu için hazırlanan homojenizattan 200 µL süpernatant alındı ve Roche High Pure Viral Nucleic Acid Kit (Lot: 53059300) test protokolüne uygun olarak ekstraksiyonu yapıldı. PCR işlemine kadar -80 °C'de muhafaza edildi. Kullanılan Qiagen Onestep RT-PCR kit (Kat. No. / ID: 210212) içeriğinde reverse transkriptaz enzimi bulunduğu için ayrıca bir DNA işlemi yapılmadı.

DNA Ekstraksiyonu: Nosema teşhisi amacıyla DNA ekstraksiyonu için hazırlanan homojenizattan 100 µL süpernatant alındı ve Invitrogen Purelink Genomic DNA Mini Kit (Lot: 2392135) protokolüne uygun olarak ekstraksiyonu yapıldı. PCR işlemine kadar -20 °C'de muhafaza edildi.

Viral etkenlerin varlığının onestep RT-PCR ile araştırılması

ABPV, CBPV ve BQCV etkenlerinin RT-PCR işlemi Qiagen Onestep RT-PCR kit (Kat. No. / ID: 210212) kullanılarak gerçekleştirildi. Üretici firmanın protokolüne göre 5X Onestep RT-PCR buffer 10 µl, dNTPs mix 2 µl, 5 pmol'luk reverse primer 6 µl, 5 pmol'luk forward primer 6 µl, enzim mix 2 µl, RNase inhibitör 0.5 µl, DEPC su 18,5 µl ve RNA 5 µl kullanılarak toplam hacim 50 µl olacak şekilde hazırlandı (Chen ve ark., 2006).

DWV, KBV, SBV ve IAPV etkenlerinin de RT-PCR işlemi Qiagen Onestep RT-PCR kit (Kat. No. / ID: 210212) kullanılarak gerçekleştirildi. Üretici firmanın protokolüne göre 5X Onestep RT-PCR buffer 10 µl, dNTPs mix 1 µl, 10 pmol'luk reverse primer 5 µl, 10 pmol'luk forward primer 5 µl, enzim mix 2 µl, RNase inhibitör 0.5 µl, DEPC su 21.5 µl ve RNA 5 µl kullanılarak toplam hacim 50 µl olacak şekilde hazırlandı (Chen ve ark., 2006).

Tüm virusler için kullanılan PCR koşulları aynı olup; 48°C'de 45 dakika ve 95°C'de 2 dakika olan ısı koşullarında tek tekrar yaptırılarak cDNA ve enzim denatürasyonu yapıldıktan sonra 95°C'de 30 saniye, 55°C'de 1 dakika ve 68°C'de 2 dakikadan oluşan ısı koşulları 40 defa tekrarlandı. Son olarak

68°C’de 7 dakika final ekstansiyonu ile PCR aşaması sonlandırıldı (Chen ve ark., 2006). Örnekler 0.5 µg/ml ethidium içeren %1.5’lik agaroz jel içinde yürütüldü ve UV transmülatörde görüntüledi (Şekil 1). Sonuçlar Çizelge 2’de yer alan amplikon büyüklüklerine göre değerlendirildi.

Çizelge 2. Onestep RT-PCR’da Kullanılan Primerler

Viruslar	Primerler	Amplikon Büyüklüğü (bp)	Kaynaklar
ABPV	ABPV-F : 5'-TTATGTGTCCAGAGACTGTATCCA-3' ABPV-R : 5'-GCTCCTATTGCTCGGTTTTTCGGT-3'	900 bp	Benjeddou ve ark., 2001
BQCV	BQCV-F : CTTTATCGAGGAGGAGTTCGAGT BQCV-R : GCAATAGATAAAGTGAGCCCTCC	536 bp	Sguazza ve ark., 2013
DWV	DWV-F : 5'- TGGTCAATTACAAGCTACTTGG -3' DWV-R: 5'- TAGTTGGACCAGTAGCACTCAT -3'	269 bp	Sguazza ve ark., 2013
KBV	KBV-F : 5'- GATGAACGTCGACCTATTGA-3' KBV-R: 5 - TGTGGGTTGGCTATGAGTCA-3'	415 bp	Stoltz ve ark., 1995
SBV	SBV- F : CGTAATTGCGGAGTGGAAAAGATT SBV- R : AGATTCCTTCGAGGGTACCCTCATC	342 bp	Sguazza ve ark., 2013
IAPV_IGR_F	CGATGAACAACGGAAGGTTT	767 bp	Cox foster ve ark., 2007
IAPV_IGR_R	ATCGGCTAAGGGGTTTGTTT		
CBPV-F	AACCTGCCTCAACACAGGCAAC		Squazza ve ark., 2013
CBPV-R	ACATCTCTTCTTCGGTGTGACCC	774 bp	

Nosema sp. teşhisi

Nosema sp. teşhisi natif muayene ve moleküler analiz olmak üzere iki aşamalı olarak yapılmıştır. Önce natif muayene yapılmış, sonra tüm örnekler moleküler olarak da incelenmiştir. Bir kovandan natif ve moleküler analiz için 30 ergin arı örneği kullanılmıştır. Mikroskopik bakı sonuçları cins düzeyinde, moleküler tanı sonuçları ise tür düzeyinde belirtilmiştir.

Natif Muayene; Natif muayene amacıyla her kovandan 30 ergin arının abdomeninin üzerine 10 ml distile su eklenmiş ve steril havanda ezilmiş ve Süspansiyondan 1 damla lam-lamel arasına konarak ışık mikroskopunda 40’lık objektifte *Nosema* sporları yönünden incelenmiştir.

N. apis / *N.cerana* Multipleks-PZR; 50 µl’lik hacimde hazırlanan miks karışımına 10X Taq Buffer ile 5 µl (NH₄)₂SO₄, 6 µl 25 mM MgCl₂, 2 µl dNTPs mix, 2 µl 10 pmol’luk *N. ceranae* forward primer, 2 µl 10 pmol’luk *N. ceranae* reverse primer, 2 µl 10 pmol’luk *N. apis* forward primer, 2 µl 10 pmol’luk *N. apis* reverse primer, 0.5 µl Taq DNA Polymerase 23.5 µl DEPC su ve 5 µl template DNA ilave edildi. PCR amplifikasyonunda; 95°C’de 2 dk başlangıç denatürasyonu sonrası devamında, 95°C 1 dk, 50°C 1 dk ve 72°C 1 dk 35 döngü ve son uzama basamağı 72°C’de 5 dk uygulandı. Oluşan ürünler %1.5’lik agaroz jelde yürütülerek ethidium bromide ile boyanıp, UV transilliminatorde *N. ceranae* için 218-219 bp, *N. apis* için 321 pb pozitif olarak kabul edilmiştir (Çizelge 3).

Çizelge 3. *Nosema apis* ve *Nosema ceranae* 'da Kullanılan Primerler

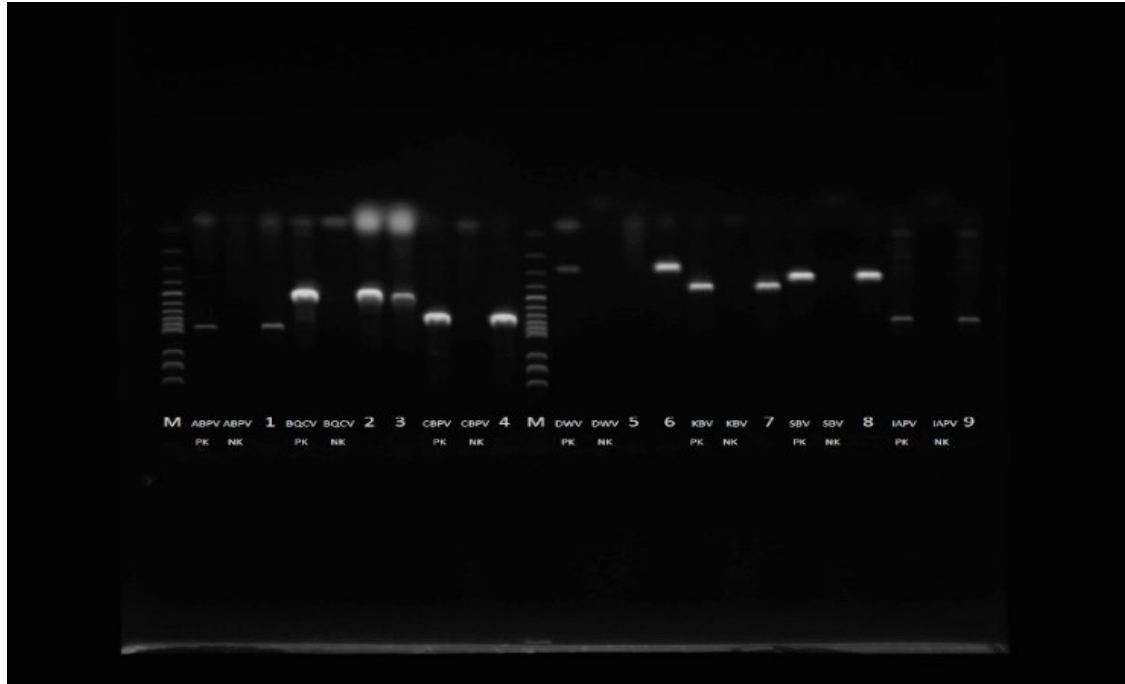
Parazitler	Primerler	Amplikon Büyüklüğü (bp)	Kaynaklar
N. ceranae	N.ceranae-F:5' - CGGCGACGATGTGATATGAAAATATTA-3'	218-219 bp	Hernández RM, ve ark., 2007,
	N. ceranae-R:5'- CCCGGTCATTCTCAAACAAAAACCG-3'		
N. apis	N. apis- F: 5'- GGGGGCATGTCTTTGACGACTATGTA-3'	321 bp	Hernández RM, ve ark., 2007,
	N. apis- R: 5'- GGGGGGCGTTTAAAATGTGAAACAACACTATG-3'		

Varroa teşhisi

Kovanlardaki varroasis varlığın araştırmak için en az 50 arı numunesi petri kaplarına konulup, stereo-mikroskop altında *Varroa* sp. varlığı bakımından muayene edilmiştir. Tüm arıların abdomen segment araları ve kanat altları özellikle kontrol edilmiştir. Mikroskopik analizi tamamlanan bu arılar diğer analizlerde kullanılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

2021 yılının ilkbahar mevsiminde koloni kaybı gözlenen 64 arı işletmesine ait örneklerin ilçelere göre dağılımı(çizelge 1), patojen sayıları ve patojen yüzdesi çizelge 4'de verilmiştir. Koloni kaybı yaşanan bal arısı işletmelerinde ABPV 1 işletmede (%1.56), BQCV 49 işletmede (%76.56), CBPV 3 işletmede (%4.68), DWV 32 işletmede (%50), KBV 1 işletmede (%1.56), SBV 52 işletmede (%81.25), ve IAPV 13 işletmede (%20.31) oranında tespit edilmiştir (Çizelge 4). Ayrıca 39 işletmede (%60.93) noseimosise rastlanırken, koloni kaybı gözlenen arı işletmelerinin hiçbirinde *Varroa* sp. tespit edilmemiştir.

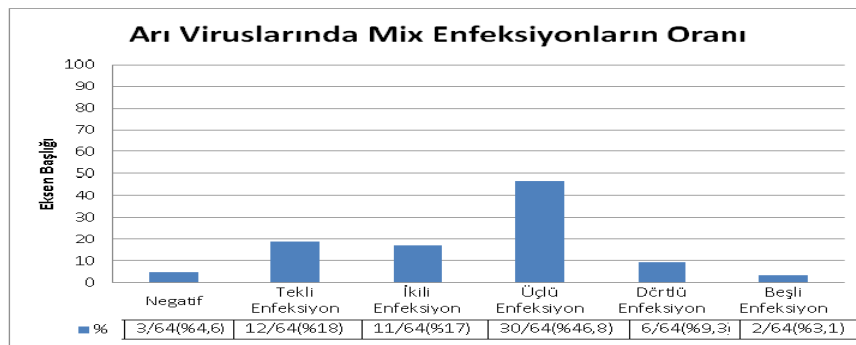


Şekil 1. Arı Virusları PCR görüntüsü; M: Merdiven, ABPV PK: ABPV (900 bp amplicon) Pozitif Kontrol, ABPV NK: ABPV Negatif Kontrol, 1: ABPV pozitif numune, BQCV PK: BQCV Pozitif Kontrol (536 bp amplicon), BQCV NK: BQCV Negatif Kontrol, 2,3: BQCV Pozitif Numuneler, CBPV PK: CBPV Pozitif Kontrol (774 bp amplicon), CBPV NK: CBPV Negatif Kontrol, 4: CBPV Pozitif numune, DWV PK: DWV Pozitif Kontrol (269 bp amplicon), DWV NK: DWV Negatif Kontrol, 5: DWV Negatif numune, 6: DWV Pozitif numune, KBV PK: KBV Pozitif Kontrol (415 bp amplicon), KBV NK: KBV Negatif Kontrol, 7: KBV Pozitif numune, SBV PK: SBV Pozitif Kontrol (342 bp amplicon), SBV NK: SBV Negatif Kontrol, 8: SBV Pozitif numune, IAPV PK: IAPV Pozitif Kontrol (767 bp amplicon), IAPV NK: IAPV Negatif Kontrol, 9: IAPV Pozitif Numune.

Çizelge 4: Örneklerin Patojen Sayıları ve Patojen Yüzdesi

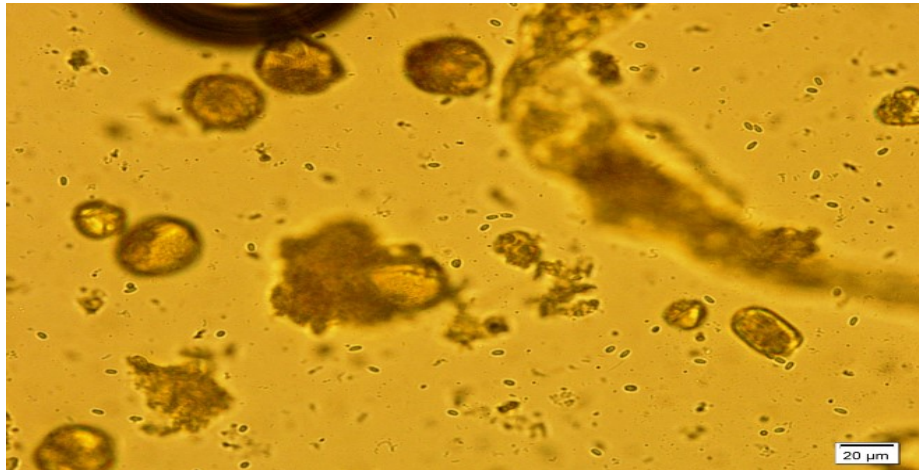
	ABPV	BQCV	CBPV	DWV	KBV	SBV	IAPV	Nosema sp	Varroa sp.
Merkez	1	11	2	3	1	14	3	5	0
Aralık	0	8	0	10	0	10	5	5	0
Karakoyunlu	0	6	0	1	0	4	1	8	0
Tuzluca	0	24	1	18	0	24	4	21	0
Toplam	1	49	3	32	1	52	13	39	0
Görülme Oranı %	1.56	76.56	4.68	50	1.56	81.25	20.31	60.93	0

Yapılan analizlerde 3 işletmede viral etkenlere rastlanmazken, bu 3 işletmelerin 2 sinde *N.cerana* bulundu. Çalışmanın yapıldığı işletmelerden sadece 1 işletmede ise her hangi bir etken tespit edilmemiştir. Diğer işletmelerde ise arı viruslerinin genelde ikili, üçlü ve dördülmiks enfeksiyonlar şeklinde seyrettiği gözlenmiştir (Şekil 2).



Şekil 2: Örneklerin İlçelere Göre Dağılımı, Patojen Sayıları ve Patojen Yüzdesi

Yapılan natif muayene sonucunda 39 işletmede *Nosema sp.* sporları (Şekil 3) tespit edilmiştir. Multipleks PCR analizinde *N. cerana* (Şekil 3) 39 işletmede bulunurken, *N.apise'e* ise rastlanmamıştır, bu sonuçlara göre mikroskopik analiz ile moleküler analiz sonuçları %100 uyumlu bulunmuştur.

Şekil 3: *Nosema sp.* Sporu

Iğdır ili bölgede mikroklima özelliği ile arı yetiştiriciliği yönünden iklim ve bitki florası çok uygun bir bölgedir. Mevcut konumundan dolayı da çevre illerden kışlatmak amacıyla gezginci arıcılığın yoğun yapıldığı bir bölge olarak karşımıza çıkmaktadır. Bölgenin avantajlarına karşılık oluşan hastalıklardan dolayı istenilen verim alınmamaktadır. Koloni kayıplarının temelinde biyotik ve abiyotik olmak üzere birçok sebep vardır. Bu verim kayıplarında ilk sırayı arı hastalıkları oluşturmaktadır.

Daha önceki yıllarda yapılan çalışmalarda bakteri, virus, mikrosporidia ve parazitlerin koloni kayıplarında başlıca rol oynadığı bildirilmiştir (Cox-Foster ve ark., 2007; Muz ve ark., 2010;

Genersch, 2010; Francis ve Nielsen, 2013; Kalaycı ve ark., 2020). Bu çalışmada, Iğdır yöresinde koloni kayıplarına sebep olan patojen etkenlerin varlığı araştırılmıştır.



Şekil 4: *N. apis* ve *N. cerana* PCR görüntüsü; M: Merdiven, *N. apis* ve *N. cerana* PK: *N. apis* (321 bp amplicon) ve *N. ceranae* (218 bp amplicon) Pozitif Kontrol, *N. apis* ve *N. cerana* NK: *N. apis* ve *N. ceranae* Negatif kontrol: 1,2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10: *N. cerana* Pozitif Numuneler, 11, 12, 13, 14 : *N. cerana* Negatif Numuneler

ABPV enfeksiyonunun Türkiye’de değişik oranlarda varlığı rapor edilmiştir. Ege bölgesindeki arı işletmelerinde ergin arılarda yapılan çalışmalarda, Gümüşova ve ark., (2010) etkene rastlamazken, Beyazıt ve ark., (2012) tarafından %1.27, Kalaycı ve ark., (2020) %35.5 etkeni tespit etmiştir. Ayrıca ABPV enfeksiyonu Hakkari’de %2.2 (Rüstemoğlu, 2015), Ege Bölgesinde %3.6 (Çağırğan, 2018), Burdur yöresinden %74.19 (Usta, 2020) oranlarında bildirilirken, Van yöresinde bu enfeksiyonun varlığına rastlanmamıştır (Karapınar ve ark., 2018). Yapılan literatür taramasında Türkiye’de daha önceki çalışmalarda bildirilen oranların %1.27 ile % 74.19 geniş yelpazeli bir aralıkta olduğu gözlenmiştir. Çalışmamızda ise ABPV %1.56 oranında tespit edilmiş olup, daha önceki çalışmalarda bildirilen çalışmalar ile uyumludur.

CBPV enfeksiyonunu için yapılan çalışmalarda, Çağırğan, (2018) % 1.8, Gümüşova ve ark., (2010) % 25, Kalaycı ve ark., (2020) %18.4 oranında etkeni tespit etmiştir. Çalışmamızda bu oran %4.68 bulunmuş, bu değer Türkiye’de daha önce yapılan çalışmalarda elde edilen değerler arasında olduğu görülmüştür.

BQCV enfeksiyonu en yaygın enfeksiyonlar arasında olup, Türkiye ve Avrupa ülkelerinde varlığı bildirilmiştir. Türkiye’de Gümüşova ve ark.(2010) %21.42, Oğuz ve ark. (2017) %88.5, Karapınar ve ark.(2018) %88.46, Aydın, (2020) %16 ve Kalaycı ve ark.(2020), %28.9 oranlarında varlığını bildirmişlerdir. Rodriguez ve ark. (2012) Şili’de % 82 oranında pozitiflik bildirmiştir. Bu çalışmada BQCV % 76.56 oranında tespit edilmiştir. Bu oran Türkiye’de daha önce yapılan çalışmalar ile uyumlu olduğu görülmüştür. Bu BQCV oranının yüksek bulunmasında nosemozisin varlığı göz önünde bulundurulmalıdır.

DWV hem ülkemiz de hem de dünya genelinde sık karşılaşılan arı viruslerinden biridir. Burdur ilinde %74.19 (Usta ve Yıldırım 2022), Van ilinde %69.23(Karapınar ve ark., 2018), Ege Bölgesinde %25.2 (Çağırğan, 2018), Hakkari ilinde %23.3 (Rüstemoğlu, 2015) oranında pozitiflik saptanmıştır. Sunulan çalışmada bu oran % 50 olarak kaydedilmiştir. Bu oran Van ve Burdur yöresinde yapılan çalışmaya göre düşük ve diğerlerine göre yüksek bulunmuştur. Bu durumun bölgedeki vektör mücadelesi ile ilgili olduğu düşünülmektedir.

Türkiye’de KBV’yi Tozkar ve ark., (2015), Rüstemoğlu ve Sipahioğlu,(2016), Çağırğan, (2018), Kalaycı ve ark., (2020) tespit edemediklerini bildirirken, Aydın, (2020) çalışmasında%1,1 oranında KBV varlığını belirlemiştir. Çalışmamızda ise benzer şekilde %1.56 oranında tespit edilmiştir.

Çalışmamızda SBV en yaygın görülen viral etken olmuştur. Etken larva ve yetişkinleri enfekte edebilmektedir, ancak larvalar yetişkin arılardan çok fazla daha etkilenmektedir. Bu hastalığın bulaşmasında işçi arılar önemli bir rol oynar. Yapılan bildirimlerde farklı ülkelerinde % 68 oranında tespit edilmiştir (Tentcheva ve ark., 2004b; Li ve ark., 2019). Türkiye’de daha önce yapılan çalışmalarda Çağırğan, (2018) % 2.7, Kalaycı ve ark. (2020) %22.3 olarak tespit etmişlerdir. Çalışmamızda ise yayılım % 81.25 gibi yüksek bir oranda tespit edilmiştir. Bulunan bu yüksek oranda, çalışmamızda zayıflamış kolonilerde arıların incelenmesinin ve örnekleminin yapıldığı mevsimsel farklılıkların rol oynadığı düşünülmektedir.

IAPV çeşitli ülkelerde yapılan çalışmalarla varlığı bildirilmiştir (Kukielka ve Rodríguez, 2010; Formato ve ark., 2011). Türkiye’de yapılan çalışmalarda Tozkar ve ark., (2015) ve Çağırğan, (2018) çalışmalarında pozitiflik bulamadıklarını raporlamışlardır. Fakat Kalaycı ve ark. (2020) %6.5, Özkırım ve Schiesser, (2013) ise 71 işletmenin 10’unda virus varlığını bildirmişlerdir. Çalışmamızda %20.31 oranında varlığı tespit edilmiştir. IAPV virusünün koloni kayıplarındaki rolü düşünüldüğünde bu oran oldukça yüksektir.

Nosemosis üzerine Türkiye’de yapılan çalışmalarda % 0-100 aralığında seyrettiği bildirilmiştir (Balkaya ve ark., 2016a). Türkiye’de genelinde 2009 -2016 yıllarında yapmış olduğu çalışmada *N. cerena* % 26.8-72.6, *N.apis* ise %8.8-29.2 ve miks enfeksiyon oranının da %18.49 oranında olduğu bildirilmiştir (Kutlu ve Kaftanoğlu,1990; Şimşek ve ark., 2001; Balkaya ve ark., 2016b). Bizim çalışmamızda ise *N.apise’e* hiç rastlanmazken *N. cerena* %60.93 olarak belirlenmiştir.

Türkiye’de yapılan çalışmalarda *Varroa sp.* etkeni %6.2 -100 oranlarda teşhisi yapılmıştır. Varroasisin oluşturduğu hasar, kendisinin oluşturduğu doğrudan etkileri ve vektörlük yaptığı viruslerin oluşturduğu hastalıklardan kaynaklanır. Çalışmamızda *Varroa sp.* etkeni tespit edilememiştir. Bunun muhtemel sebebinin ilkbahar mevsiminde paraziter mücadele sonrası numune toplanmasının olduğu düşünülmektedir. Türkiye’de ve dünyanın çeşitli yerlerinde bu akarın koloni kayıplarından sorumlu tutulduğu ve çoğu viral etkene vektörlük ettiği bilinmektedir.

SONUÇ

Son yıllarda koloni kayıplarında, arı sağlığını etkileyen birden fazla etkenin varlığı kabul edilmektedir. Bal arısı koloni sağlığını tehdit eden virusler, bakterilerin yanında parazitlerde hastalık etkenleri de önemli bir yere sahiptir. Çalışmamız İğdır yöresinde bal arılarında viral etkenlerin incelenmesi yönünde yapılan ilk çalışmadır. Arılarda görülen viral hastalıklar genel olarak tekli enfeksiyonlar olarak değil, bir koloni de çoklu enfeksiyonlar olarak karşımıza çıkabilmektedir. Bu çalışmada İğdır ilinde görülen koloni kayıplarında miks enfeksiyonlara sık rastlandığı tespit edilmiştir. Özellikle BQCV, DWV ve SBV’ün üçüne de rastlanılan kovan sayısı 30 olup, örnekleme yapılan kovanların %46.8’inde her üç hastalık ile aynı anda enfekte bulunmuştur. En dikkat çeken sonuçlardan biri ise dörtlü enfeksiyonun görüldüğü kovan sayısının (6 kovan), enfeksiyon görülmeyen kovan sayısının (3 kovan) iki katı olmasıdır. Son olarak ise kovanların %3.1’inde (2/64) beşli viral enfeksiyonların varlığı tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, koloni kayıplarında özellikle viruslerin ve miks enfeksiyonların önemli bir rol oynadığı bilinmektedir. İğdır mikroklima özelliği nedeni ile bölgenin kışlak alanlarının en önemlilerinden biridir. İğdır bölgesinde gözlenen koloni kayıplarında; viral ve paraziter enfeksiyonlar ve miks enfeksiyon görülmesinin koloni çöküşünde önemli olduğu ve bundan sonra yapılacak

çalışmaların bal arısı kolonilerinin çöküşünde rol oynayan tüm faktörleri dahil edileceği daha kapsamlı araştırma ile ortaya konulmasının bölge ekonomisine ve bilime katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

- Allen, M.F., Ball, B.V. (1996). The incidence and World distribution of honey bee viruses. *Bee World*, 77: 141–162.
- Anderson, D. (2005). Triggering virus replication in honey bees, Bee Research And Virus in Europe. In *Proceedings of the meeting in Sophia-Antipolis (France)* (Vol. 24, p. 26).
- Anonim, (2022). Hayvansal üretim istatistikleri (Erişim Linki: <https://www.tuik.gov.tr/>, <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Tarim-111>). (Erişim Tarihi: 21.09.2022).
- Aubert, M., Ball, B., Fries, I., Moritz, R., Milani N, Bernardinelli A. (2008). Virology and the Honey Bee. Belgium ,ISBN 92-79-00:586-3.
- Aydın S. 2020. *Malatya ve Elazığ illerindeki arı viruslerinin RT-PCR yöntemi ile tespiti ve Moleküler karakterizasyonlarının yapılması* (MTÖ Üniversitesi).Yüksek lisans tezi(Basılmamış). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Aydın, L., Güleğen, E., Çakmak, İ., & Girişgin, A. (2007). The occurrence of Varroa destructor Anderson and Trueman, 2000 on honey bees (Apis mellifera) in Turkey. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, 31(3), 189-191.
- Baker, A., & Schroeder, D. (2008). Occurrence and genetic analysis of picorna-like viruses infecting worker bees of Apis mellifera L. populations in Devon, South West England. *Journal of invertebrate pathology*, 98(2), 239-242.
- Balkaya İ, Kaplan H, Güven E, Avcıoğlu H, 2016.(b)Türkiye’de Görülen Bal Arısı (Apis mellifera) Hastalıkları. *Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi*, 11(3): 339-347.
- Balkaya, İ., Kaplan, H., Güven, E., Avcıoğlu, H. (2016)(a). Erzurum yöresi arıcılarının karşılaştıkları bal arısı hastalıkları. *Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi*, 11(3), 273-281.
- Benjeddou, M., Leat, N., Allsopp, M., & Davison, S. (2001). Detection of acute bee paralysis virus and black queen cell virus from honeybees by reverse transcriptase PCR. *Applied and Environmental Microbiology*, 67(5), 2384-2387.
- Berenyi, O., Bakonyi, T., Derakhshifar, I., Köglberger, H., & Nowotny, N. (2006)(b). Occurrence of six honeybee viruses in diseased Austrian apiaries. *Applied and environmental microbiology*, 72(4), 2414-2420.
- Berenyi, O., Bakonyi, T., Derakhshifar, I., Köglberger, H., Topolska, G., Ritter, W., ... & Nowotny, N. (2007)(a). Phylogenetic analysis of deformed wing virus genotypes from diverse geographic origins indicates recent global distribution of the virus. *Applied and Environmental Microbiology*, 73(11), 3605-3611.
- Beyazıt, A., Akkoca, N., Eskiizmirliler, S., Albayrak, H., Özcan, E., Özden, M., ... & Tunalıgil, S. (2012). Ege Bölgesi illerinde önemli arı hastalıklarının yaygınlığının araştırılması. *Hayvan Sağlığı Program Değerlendirme Kitapçığı*, 366.
- Blanchard, P., Schurr, F., Olivier, V., Celle, O., Antúnez, K., Bakonyi, T., ... & Ribière, M. (2009). Phylogenetic analysis of the RNA-dependent RNA polymerase (RdRp) and a predicted structural protein (pSP) of the Chronic bee paralysis virus (CBPV) isolated from various geographic regions. *Virus Research*, 144(1-2), 334-338.
- Chemurot, M., De Smet, L., Brunain, M., De Rycke, R., & de Graaf, D. C. (2017). Nosema neumannii n. sp.(Microsporidia, Nosematidae), a new microsporidian parasite of honeybees, Apis mellifera in Uganda. *European journal of protistology*, 61, 13-19.
- Chen, Y. P., & Siede, R. (2007). Honey bee viruses. *Advances in virus research*, 70, 33-80.
- Chen, Y. P., Pettis, J. S., Collins, A., & Feldlaufer, M. F. (2006). Prevalence and transmission of honeybee viruses. *Applied and environmental microbiology*, 72(1), 606-611.

- Chen, Y. P., Pettis, J. S., Corona, M., Chen, W. P., Li, C. J., Spivak, M., ... & Evans, J. D. (2014). Israeli acute paralysis virus: epidemiology, pathogenesis and implications for honey bee health. *PLoS pathogens*, *10*(7), e1004261.
- Cox-Foster, D. L., Conlan, S., Holmes, E. C., Palacios, G., Evans, J. D., Moran, N. A., ... & Lipkin, W. I. (2007). A metagenomic survey of microbes in honey bee colony collapse disorder. *Science*, *318*(5848), 283-287.
- Çağırğan, A. A., & Yazıcı, Z. (2021). The prevalence of seven crucial honeybee viruses using multiplex RT-PCR and their phylogenetic analysis. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, *45*(1), 44-55.
- Çağırğan, A. A., Yıldırım, Y., & Usta, A. (2020) (b). Phylogenetic Analysis of Deformed Wing Virus, Black Queen Cell Virus and Acute Bee Paralysis Viruses in Turkish Honeybee Colonies. *Medycyna Weterynaryjna*, *76*:8: 480-484.
- Çağırğan, A. A., Yıldırım, Y., & Usta, A. (2020)(a). The investigation of Israel acute bee paralysis virus, sacbrood virus, Kashmir bee virus and chronic bee paralysis virus in honeybees (*Apis mellifera*). *Eurasian Journal of Veterinary Sciences*, *36*(2), 96-101.
- Çağırğan, A. A. (2018). *Ege bölgesinde virus nedenli arı hastalıklarının multipleks polimeraz zincir reaksiyonu ile araştırılması*. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Veteriner Viroloji Anabilim Dalı. Doktora Tezi. (Basılmış). (Doktora tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Çakmak, İ., Aydın, L., & Güleğen, E. (2003). Güney Marmara Bölgesinde balarısı zararlı ve hastalıkları. *Uludağ Arıcılık Dergisi*, *3*(2), 33-35.
- De Miranda, J. R., Bailey, L., Ball, B. V., Blanchard, P., Budge, G. E., Chejanovsky, N., ... & Van Der Steen, J. J. (2013). Standard methods for virus research in *Apis mellifera*. *Journal of apicultural research*, *52*(4), 1-56.
- De Miranda, J. R., Cordoni, G., & Budge, G. (2010). The acute bee paralysis virus–Kashmir bee virus–Israeli acute paralysis virus complex. *Journal of invertebrate pathology*, *103*, S30-S47.
- De Miranda, J. R., Drebot, M., Tyler, S., Shen, M., Cameron, C. E., Stoltz, D. B., & Camazine, S. M. (2004). Complete nucleotide sequence of Kashmir bee virus and comparison with acute bee paralysis virus. *Journal of General Virology*, *85*(8), 2263-2270.
- Di Prisco, G., Pennacchio, F., Caprio, E., Boncristiani Jr, H. F., Evans, J. D., & Chen, Y. (2011). *Varroa destructor* is an effective vector of Israeli acute paralysis virus in the honeybee, *Apis mellifera*. *Journal of General Virology*, *92*(1), 151-155.
- Doğanay, A., Aydın, L. (2017). Bal Arısı Yetiştiriciliği Ürünleri Hastalıkları. 1. Baskı, Bursa: Dora Yayınevi, s: 21-57, 283-343.
- Ellis, J. D., & Munn, P. A. (2005). The worldwide health status of honey bees. *Bee world*, *86*(4), 88-101.
- Formato, G., Giacomelli, A., Olivia, M. A., Aubin, L., Glick, E., Paldi, N., ... & Mutinelli, F. (2011). First detection of Israeli acute paralysis virus (IAPV) in Italy. *Journal of apicultural research*, *50*(2), 176-177.
- Francis, R. M., Nielsen, S. L., & Kryger, P. (2013). *Varroa*-virus interaction in collapsing honey bee colonies. *PloS one*, *8*(3), e57540.
- Francis, R., & Kryger, P. (2012). Single assay detection of acute bee paralysis virus, Kashmir bee virus and Israeli acute paralysis virus. *Journal of Apicultural Science*, *56*(1), 137-146.
- Fries, I., Feng, F., da Silva, A., Slemenda, S. B., & Pieniazek, N. J. (1996). *Nosema ceranae* n. sp. (Microspora, Nosematidae), morphological and molecular characterization of a microsporidian parasite of the Asian honey bee *Apis cerana* (Hymenoptera, Apidae). *European Journal of Protistology*, *32*(3), 356-365.
- Gajger, T.I., Kolodziejek, J., Bakonyi, T., & Nowotny, N. (2014). Prevalence and distribution patterns of seven different honeybee viruses in diseased colonies: a case study from Croatia. *Apidologie*, *45*, 701-706.
- Galbraith, D. A., Fuller, Z. L., Ray, A. M., Brockmann, A., Frazier, M., Gikungu, M. W., ... & Grozinger, C. M. (2018). Investigating the viral ecology of global bee communities with high-throughput metagenomics. *Scientific reports*, *8*(1), 1-11.
- Garigliany, M., El Agrebi, N., Franssen, M., Hautier, L., & Saegerman, C. (2019). Moku virus detection in honey bees, Belgium, 2018. *Transboundary and emerging diseases*, *66*(1), 43-46.
- Gauthier, L., Tentcheva, D., Tournaire, M., Dainat, B., Cousserans, F., Colin, M. E., & Bergoin, M. (2007). Viral load estimation in asymptomatic honey bee colonies using the quantitative RT-PCR technique. *Apidologie*, *38*(5), 426-435.

- Genersch, E. (2010). Honey bee pathology: current threats to honey bees and beekeeping. *Applied microbiology and biotechnology*, 87, 87-97.
- Govan, V. A., Leat, N., Allsopp, M., & Davison, S. (2000). Analysis of the complete genome sequence of acute bee paralysis virus shows that it belongs to the novel group of insect-infecting RNA viruses. *Virology*, 277(2), 457-463.
- Gümüşova, O.S., Albayrak, H., Kurt, M., & Yazici, Z. (2010). Prevalence of three honey bee viruses in Turkey. *Veterinarski Arhiv*, 80(6), 779-785.
- Gürçay, M., & Kutlu, M. A. Bal Arılarının Önemli Virusları. *Uluslararası Gıda Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi*, 2(2), 29-41.
- Kalaycı, G., Çağırğan, A. A., Pekmez, K., Özkan, B., & Kaplan, M. (2019). Molecular detection and phylogenetic analysis of the honeybee (*Apis mellifera*) sacbrood virus in Turkey. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, 43(4), 551-554.
- Kalaycı, G., Çağırğan, A. A., Kaplan, M., Pekmez, K., Beyazıt, A., Özkan, B., ... & Arslan, F. (2020). The role of viral and parasitic pathogens affected by colony losses in Turkish apiaries. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 26(5).
- Karapınar, Z., Oğuz, B., Dinçer, E., & Öztürk, C. (2018). Phylogenetic analysis of black queen cell virus and deformed wing virus in honeybee colonies infected by mites in Van, Eastern Turkey. 74 (7): 460-465.
- Kukielka, Z.D., & Rodríguez, J. M. S. V. (2010). First detection of Israeli acute paralysis virus (IAPV) in Spanish honeybees. *Spanish Journal of Agricultural Research*, (2), 308-311.
- Kutlu, M.A., Kaftanoğlu, O. (1990). Ergin bal arısı (*Apis mellifera* L.) hastalığı Nosema apis'in dağılımı ve enfeksiyon oranı üzerine bir araştırma. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4(2)41-53
- Lanzi, G., De Miranda, J. R., Boniotti, M. B., Cameron, C. E., Lavazza, A., Capucci, L., ... & Rossi, C. (2006). Molecular and biological characterization of deformed wing virus of honeybees (*Apis mellifera* L.). *Journal of virology*, 80(10), 4998-5009.
- Levin, S., Sela, N., Erez, T., Nestel, D., Pettis, J., Neumann, P., & Chejanovsky, N. (2019). New viruses from the ectoparasite mite *Varroa destructor* infesting *Apis mellifera* and *Apis cerana*. *Viruses*, 11(2), 94.
- Levitt, A. L., Singh, R., Cox-Foster, D. L., Rajotte, E., Hoover, K., Ostiguy, N., & Holmes, E. C. (2013). Cross-species transmission of honey bee viruses in associated arthropods. *Virus research*, 176(1-2), 232-240.
- Li, J., Wang, T., Evans, J. D., Rose, R., Zhao, Y., Li, Z., ... & Chen, Y. (2019). The phylogeny and pathogenesis of sacbrood virus (SBV) infection in European honey bees, *Apis mellifera*. *Viruses*, 11(1), 61.
- Maori, E., Lavi, S., Mozes-Koch, R., Gantman, Y., Peretz, Y., Edelbaum, O., ... & Sela, I. (2007). Isolation and characterization of Israeli acute paralysis virus, a dicistrovirus affecting honeybees in Israel: evidence for diversity due to intra-and inter-species recombination. *Journal of General Virology*, 88(12), 3428-3438.
- Maramorosch, K., Shatkin, A. (2007). Honey bee viruses. *Advances in Virus Research*. Academic Press. 33-80
- Meeus, I., de Miranda, J. R., de Graaf, D. C., Wäckers, F., & Smagghe, G. (2014). Effect of oral infection with Kashmir bee virus and Israeli acute paralysis virus on bumblebee (*Bombus terrestris*) reproductive success. *Journal of Invertebrate Pathology*, 121, 64-69.
- Morawetz, L., Köglberger, H., Griesbacher, A., Derakhshifar, I., Crailsheim, K., Brodschneider, R., & Moosbeckhofer, R. (2019). Health status of honey bee colonies (*Apis mellifera*) and disease-related risk factors for colony losses in Austria. *PloS one*, 14(7), e0219293.
- Mullapudi, E., Přidal, A., Pálková, L., de Miranda, J. R., & Plevka, P. (2016). Virion structure of Israeli acute bee paralysis virus. *Journal of Virology*, 90(18), 8150-8159.
- Muz, D., & Muz, M. N. (2018). A molecular epidemiological study of black queen cell virus in honeybees (*Apis mellifera*) of Turkey: the first genetic characterization and phylogenetic analysis of field viruses. *Apidologie*, 49(1), 89-100.
- Muz, M. N., Girisgin, A. O., Muz, D., & Aydin, L. (2010). Molecular detection of *Nosema ceranae* and *Nosema apis* infections in Turkish apiaries with collapsed colonies. *Journal of Apicultural Research*, 49(4), 342-342.
- Nielsen, S. L., Nicolaisen, M., & Kryger, P. (2008). Incidence of acute bee paralysis virus, black queen cell virus, chronic bee paralysis virus, deformed wing virus, Kashmir bee virus and sacbrood virus in honey bees (*Apis mellifera*) in Denmark. *Apidologie*, 39(3), 310-314.

- Oğuz, B., Karapınar, Z., Dincer, E., & DEĞER, M. S. (2017). Molecular detection of Nosema spp. and black queen-cell virus in honeybees in Van Province, Turkey. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, 41(2), 221-227.
- Olivier, V., Massou, I., Celle, O., Blanchard, P., Schurr, F., Ribière, M., & Gauthier, M. (2008). In situ hybridization assays for localization of the chronic bee paralysis virus in the honey bee (*Apis mellifera*) brain. *Journal of virological methods*, 153(2), 232-237.
- Özkırım, A., & Schiesser, A. (2013). Israeli acute paralysis virus (IAPV) in Turkish bees. *Journal of Apicultural Research*, 52(2), 56-57.
- Özüüçli, M., & Aydın, L. (2018). Türkiye bal arılarında ciddi tehlike; nosemosis. *Uludağ Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 37(2), 151-157.
- Palacios, G. U. S. T. A. V. O., Hui, J. E. F. F. E. R. Y., Quan, P. L., Kalkstein, A. B. B. Y., Honkavuori, K. S., Bussetti, A. V., ... & Lipkin, W. I. (2008). Genetic analysis of Israel acute paralysis virus: distinct clusters are circulating in the United States. *Journal of Virology*, 82(13), 6209-6217.
- Ratnieks, F. L., & Carreck, N. L. (2010). Clarity on honey bee collapse?. *Science*, 327(5962), 152-153.
- Reddy, K. E., Yoo, M. S., Kim, Y. H., Kim, N. H., Ramya, M., Jung, H. N., ... & Kang, S. W. (2016). Homology differences between complete Sacbrood virus genomes from infected *Apis mellifera* and *Apis cerana* honeybees in Korea. *Virus Genes*, 52, 281-289.
- Remnant, E. J., Shi, M., Buchmann, G., Blacquièrre, T., Holmes, E. C., Beekman, M., & Ashe, A. (2017). A diverse range of novel RNA viruses in geographically distinct honey bee populations. *Journal of virology*, 91(16), e00158-17.
- Reynaldi, F. J., Sguazza, G. H., Pecoraro, M. R., Tizzano, M. A., & Galosi, C. M. (2010). First report of viral infections that affect argentine honeybees. *Environmental Microbiology Reports*, 2(6), 749-751.
- Reynaldi, F. J., Sguazza, G. H., Tizzano, M. A., Fuentealba, N., Galosi, C. M., & Pecoraro, M. R. (2011). First report of Israeli acute paralysis virus in asymptomatic hives of Argentina. *Rev Argent Microbiol*, 43(2), 84-6.
- Ribière, M., Lallemand, P., Iscache, A. L., Schurr, F., Celle, O., Blanchard, P., ... & Faucon, J. P. (2007). Spread of infectious chronic bee paralysis virus by honeybee (*Apis mellifera* L.) feces. *Applied and environmental microbiology*, 73(23), 7711-7716.
- Ribière, M., Olivier, V., & Blanchard, P. (2010). Chronic bee paralysis: a disease and a virus like no other?. *Journal of invertebrate pathology*, 103, S120-S131.
- Rodríguez, M., Vargas, M., Gerding, M., Navarro, H., & Antúnez, K. (2012). Viral infection and Nosema ceranae in honey bees (*Apis mellifera*) in Chile. *Journal of Apicultural Research*, 51(3), 285-287.
- Rüstemoğlu M, 2015. Hakkari İli Bal Arılarında (*Apis Mellifera* L.) Görülen Önemli Arı Viruslarının RT-PCR Yöntemi İle Araştırılması Ve Moleküler Karakterizasyonlarının Yapılması. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (Basılmış). (Doktora tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Rüstemoğlu, M., & Siphahioğlu, H. M. (2016). Occurrence and molecular characterization of acute bee paralysis virus (ABPV) in honeybee (*Apis mellifera*) colonies in Hakkari province. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*. 26(2): 174-182.
- Sguazza, G. H., Reynaldi, F. J., Galosi, C. M., & Pecoraro, M. R. (2013). Simultaneous detection of bee viruses by multiplex PCR. *Journal of Virological Methods*, 194(1-2), 102-106.
- Shen M, Yang X, Cox-Foster D, Cui L, 2005a. The role of varroa mites in infections of Kashmir bee virus (KBV) and deformed wing virus (DWV) in honey bees. *Virology*, 342(1): 141-149.
- Shen, M., Cui, L., Ostiguy, N., & Cox-Foster, D. (2005)(b). Intricate transmission routes and interactions between picorna-like viruses (Kashmir bee virus and sacbrood virus) with the honeybee host and the parasitic varroa mite. *Journal of General Virology*, 86(8), 2281-2289.
- Shen, M., Yang, X., Cox-Foster, D., & Cui, L. (2005)(a). The role of varroa mites in infections of Kashmir bee virus (KBV) and deformed wing virus (DWV) in honey bees. *Virology*, 342(1), 141-149.
- Simon-Delso, N., San Martin, G., Bruneau, E., Minsart, L. A., Mouret, C., & Hautier, L. (2014). Honeybee colony disorder in crop areas: the role of pesticides and viruses. *PLoS one*, 9(7), e103073.
- Spurny, R., Přidal, A., Pálková, L., Kiem, H. K. T., de Miranda, J. R., & Plevka, P. (2017). Virion structure of black queen cell virus, a common honeybee pathogen. *Journal of virology*, 91(6), e02100-16.

- Stoltz, D., Shen, X. R., Boggis, C., & Sisson, G. (1995). Molecular diagnosis of Kashmir bee virus infection. *Journal of apicultural research*, 34(3), 153-160.
- Şimşek, H., Dilgin, N., & Gültekin, İ. (2001). Elazığ ve yöresinde bulunan arı işletmelerinde nosematosisin yaygınlığı. *Etlik Veteriner Mikrobiyoloji Dergisi*, 12(1-2), 49-52.
- Tentcheva, D., Gauthier, L., Jouve, S., Canabady-Rochelle, L., Dainat, B., Cousserans, F., ... & Bergoin, M. (2004)(a). Polymerase Chain Reaction detection of deformed wing virus (DWV) in *Apis mellifera* and *Varroa destructor*. *Apidologie*, 35(4), 431-439.
- Tentcheva, D., Gauthier, L., Zappulla, N., Dainat, B., Cousserans, F., Colin, M. E., & Bergoin, M. (2004)(b). Prevalence and seasonal variations of six bee viruses in *Apis mellifera* L. and *Varroa destructor* mite populations in France. *Applied and environmental microbiology*, 70(12), 7185-7191.
- Tozkar, C. Ö., Kence, M., Kence, A., Huang, Q., & Evans, J. D. (2015). Metatranscriptomic analyses of honey bee colonies. *Frontiers in genetics*, 6, 100.
- Tuncer, P., & Yeşilbağ, K. (2009). Bal arılarının viral hastalıkları. *Uludağ Arıcılık Dergisi*, 9(4), 149-161.
- Usta, A., & Yıldırım, Y. (2020). Bal Arılarının Viral Hastalıkları. *Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 35(1), 57-66.
- Usta, A., & Yıldırım, Y. (2022). Investigation of deformed wing virus, black queen cell virus and acute bee paralysis virus infections by using reverse transcriptase-polymerase chain reaction (RT-PCR) technique in honey bees. *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*.
- Uygur, Ş. Ö., & Girişgin, A. O. (2008). Bal arısı hastalık ve zararlıları. *Uludağ Arıcılık Dergisi*, 8(4), 130-142.
- Valles, S. M., Chen, Y., Firth, A. E., Guérin, D. M. A., Hashimoto, Y., Herrero, S., ... & Consortium, I. R. (2017). ICTV virus taxonomy profile: Iflaviridae. *The Journal of general virology*, 98(4), 527.
- Welch, A., Drummond, F., Tewari, S., Averill, A., & Burand, J. P. (2009). Presence and prevalence of viruses in local and migratory honeybees (*Apis mellifera*) in Massachusetts. *Applied and environmental microbiology*, 75(24), 7862-7865.
- Williams, G. R., Tarpy, D. R., Chauzat, M. P., Cox-Foster, D. L., Delaplane, K. S., Neumann, P., ... & Shutler, D. (2010). Colony collapse disorder in context. *Bioessays*, 32(10), 845.
- Yan, X., Liu, X. J., Chen, J. H., Zhang, Y., & Han, R. C. (2009). First detection of Israel acute paralysis virus (IAPV) in *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) in China. *Sociobiology*, 54(1), 95.
- Yıldırım, Y., Çagırgan, A. A., & Usta, A. (2020). Phylogenetic analysis of sacbrood virus structural polyprotein and non-structural RNA dependent RNA polymerase gene: Differences in Turkish strains. *Journal of invertebrate pathology*, 176, 107459.

Phytochemicals of Hibiscus sabdariffa with Therapeutic Potential against SARS-CoV-2: A Molecular Docking Study

Emel AKBABA¹, Deniz KARATAŞ^{2*}

Highlights:

- The phytochemicals of Hibiscus sabdariffa could be alternatives to remdesivir and nelfinavir.
- The most favorable ligands are found to be caffeoylshikimic acid, chlorogenic acid, and cianidanol for 3CL^{pro}.
- Strong binding affinities of nicotiflorin, chlorogenic acid, and quercetin pentosylhexoside for PL^{pro} were monitored.
- The driving forces for the interactions between the ligands and the receptors of 3CL^{pro} and PL^{pro} were found to be H-bonds and van der Waals interactions.
- The inhibition constant values decrease as the binding energies fall.

ABSTRACT:

In this study, the possible interactions of 17 phytochemicals that were reported as the most abundant biomolecules of *Hibiscus sabdariffa*, including many organic acids as well as catechin and quercetin derivatives, with 3CL^{pro} and PL^{pro} proteases of SARS-CoV-2 have been investigated via molecular docking. Caffeoylshikimic acid/3CL^{pro} showed the lowest binding energy (-7.72 kcal/mol) with seven H-bonds. The second-lowest binding energy was computed in the chlorogenic acid/3CL^{pro} complex (-7.18 kcal/mol), which was found to form 6 H-bonds. Also, low binding energies of cianidanol (-7.10 kcal/mol), cryptochlorogenic acid (-6.67 kcal/mol), and kaempferol (-6.82 kcal/mol) were calculated to 3CL^{pro} with several H-bond interactions. Nelfinavir (-10.16 kcal/mol) and remdesivir (-6.40 kcal/mol), which have been used against COVID-19, were obtained to have low binding energies to 3CL^{pro} with 3 H-bond formations each. On the other hand, the nicotiflorin/PL^{pro} complex, which had the lowest binding energy (-7.40 kcal/mol), was found to have only 1 H-bond interaction. The second-lowest binding energy was reported in chlorogenic acid/PL^{pro} (-7.20 kcal/mol), which was found to possess four H-bonds. On the other hand, epigallocatechin gallate/PL^{pro}, which was shown to have a -5.95 kcal/mol binding energy, was found to form 8 H-bond interactions. Furthermore, the quercetin pentosylhexoside/PL^{pro} complex was monitored to have low binding energy (-6.54 kcal/mol) with 9 H-bonds, which stands as the highest number of H-bonds in all complexes. Therefore, several molecules of *Hibiscus sabdariffa* were found to have strong binding affinity to the main proteases of SARS-CoV-2. This study suggests many compounds, including caffeoylshikimic acid and nicotiflorin, to inhibit 3CL^{pro} and PL^{pro} activities. As a result, numerous chemicals derived from *Hibiscus sabdariffa* have the potential to be employed therapeutically against SARS-CoV-2 infection.

Keywords:

- 3CL^{pro}
- *Hibiscus sabdariffa*
- molecular docking
- PL^{pro}
- SARS-CoV-2

¹ Emel AKBABA ([Orcid ID: 0000-0003-4915-5153](https://orcid.org/0000-0003-4915-5153)), Kirikkale University, Faculty of Medicine, Department of Medical Biology, Kırıkkale, Türkiye

² Deniz KARATAŞ ([Orcid ID: 0000-0002-8176-4883](https://orcid.org/0000-0002-8176-4883)), Manisa Celal Bayar University, Bioengineering Department, Yunusemre, Manisa, 45140, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Deniz KARATAŞ, e-mail: deniz.karatas@cbu.edu.tr

INTRODUCTION

In March 2020, the World Health Organization (WHO) proclaimed a pandemic named “Coronavirus disease of 2019” (COVID-19). Since then, the number of new instances has increased dramatically. The COVID-19 infection may present with symptoms such as fever, coughing, and respiratory illness. Certain critically ill patients may develop pneumonia and/or trouble breathing, which may progress to multi-organ failure and death (Deb et al., 2022).

Seven coronaviruses (CoVs) have been linked to human illnesses so far. Four of these CoVs, known as a non-severe acute respiratory syndrome (SARS)-like CoVs, cause mild infections and are worldwide endemic, but three highly pathogenic CoVs (SARS-CoV-1, MERS, and SARS-CoV-2) may result in fatal disease (Vlachakis et al., 2020). As a result of the SARS-CoV-2 pandemic, which has resulted in COVID19, the healthcare system has been placed under considerable strain (Takeuchi et al., 2021).

CoVs are an enclosed virus family with a large (26-32 kilobases) positive-sense single-stranded RNA coding for 29 proteins. The SARS-CoV-2 genome has an overall 80% nucleotide identity with SARS-CoV, and the main proteases of these viruses have more than 90% amino acid sequence identity (Ghosh et al., 2021). They are found in a broad variety of animals and may infect humans, particularly affecting the respiratory, hepatic, and gastrointestinal systems, and even the central nervous systems (Shawky et al., 2020).

Researchers from all around the globe have been experimenting with various methods for limiting viral reproduction. Among the several targets, two proteases, papain-like protease (PL^{pro}, a domain within Nsp3) and chymotrypsin-like main protease (3CL^{pro}, corresponding to Nsp5), are critical for viral replication and are thus regarded as major druggable targets. The proteolytic actions of PL^{pro} and 3CL^{pro} produce various non-structural proteins (NSPs), such as RNA-dependent RNA polymerase and helicase, that are required in the viral life cycle (Chen et al., 2021).

PL^{pro} is a domain of Nsp3—a large multidomain protein that is an essential component of the replicase-transcriptase complex (RTC). The PL^{pro} exhibits multiple proteolytic activities along with many other functions. The enzyme is involved in host cell immune suppression through the inactivation of TANK-binding kinase 1 (TBK1) and the inhibition of Toll-like receptor 7 (TLR7) and the NF-kappa B signaling pathways (Osipiuk et al., 2021). SARS and SARS-CoV-2 share a PL^{pro} sequence identity of 83% (Solnier et al., 2021). Therefore, it is considered an excellent target for the creation of broad-spectrum inhibitors (Amin et al., 2022).

3CL^{pro}, also known as the main protease (M^{pro}), functions as a cysteine protease to cleave the polyproteins at 11 positions into individual polypeptides essential for viral replication and transcription with stringent substrate specificity (Mody et al., 2021). Structure and activity analysis revealed that the active site of 3CL^{pro} contains a catalytic dyad. The 3CL^{pro} protease of SARS-CoV-2 shares over 95% of its sequence similarity with that of SARS-CoV (Kumar et al., 2020). Given its important role in CoV replication, 3CL^{pro} is considered a prominent drug target of antiviral therapy (Chen et al., 2021).

Several drugs have been screened to inhibit the replication of SARS-CoV-2 so far, including anti-viral medications used for other infections, synthesized chemicals, and natural phytochemicals (Agrawal et al., 2022). The natural products with promising inhibitory actions against SARS-CoV-2 are mainly flavonoids, terpenoids, and alkaloids, mostly comprising flavonoid skeletons (Omrani et al., 2020). Flavonoids are known to possess anti-inflammatory properties in viral illnesses, promoting the host immune response (Dong et al., 2014). Flavonoids were also reported to reduce overwhelming

inflammatory responses, which are commonly linked with greater fatality rates in SARS-CoV-2 infections (McKee et al., 2020).

Hibiscus L. species (red sorrel, Malvaceae) has been traditionally used as food, in herbal drinks, in beverages, as a flavoring agent in the food industry, and as herbal medicine. Including more than 300 species, *Hibiscus* is widely cultivated in both tropical and subtropical regions (Da-Costa-Rocha et al., 2014). Many health benefits of flavonoids and phenolic acids of *Hibiscus* species have been reported, such as antihypertensive, antibacterial, antidiabetic, antioxidant, nephroprotective, hepatoprotective, renal/diuretic effects, and anti-cholesterol effects (Hapsari et al., 2021). *H. sabdariffa* is well known and widely consumed as a colorant in herbal tea preparations. It is very popular and cultivated in some parts of North Africa, especially in Egypt and Sudan. The samples of *H. sabdariffa* are sold on the market in many countries, including Europe. Through the use of molecular docking, the potential interactions of the main phytochemicals in *H. sabdariffa* with the 3CL^{pro} and PL^{pro} proteases of SARS-CoV-2 were investigated in this study.

MATERIALS AND METHODS

In this study, the interactions of the main phytochemicals of *H. sabdariffa* and antiviral medications with corona viral proteases were carried out via molecular docking. The structures of the ligand molecules are shown in Figure 1. The compounds and antiviral drugs were selected as the ligands, while proteases were selected as the receptors. The polar hydrogens and their charges were assigned to the ligands. Then ligands were added to the receptors one by one via Autodock v4.2.6 so that the interactions were computed independently (Morris et al., 2009). The PDB IDs of the receptors were taken from the RCSB protein databank as 5R7Y entry (Douangamath et al., 2020) for 3CL^{pro} and 6W9C entry for PL^{pro} (Osipiuk et al., 2021).

The RCSB PDB server revealed that the 3C-like proteinase of SARS CoV-2 has a resolution of 1.65 Å, a total structural weight of 34.37 kDa, and a modeled residue number of 304 (Figure 2a). The molecule has one unique protein chain with a sequence length of 306 (Douangamath et al., 2020). The enzyme's active site contains a catalytic dyad (HIS41, CYS145) where a cysteine residue acts as a nucleophile in the proteolytic process and a histidine residue acts as the general acid base (Douangamath et al., 2020; Nouadi et al., 2021). On the other hand, the papain-like protease of SARS CoV-2 has a resolution of 2.70 Å, a total structural weight of 107.81 kDa, and a modeled residue number of 926 (Figure 2b). The molecule has 3 chains: A, B, and C, with a sequence length of 317, which has a reported "thumb-palm-fingers" architecture (Osipiuk et al., 2021). The active site of PL^{pro} has been shown to have a catalytic triad composed of CYS111, HIS272, and ASP286 (Osipiuk et al., 2021).

The visualizer of the Autodock v4.2.6 was used to remove the explicit water molecules from the receptors. Then, Zn⁺, and Cl⁻ ions and dimethyl sulfoxide and N-(2-phenylethyl) methanesulfonamide molecules were removed. In the next stage, the lost atoms were repaired in the amino acids. After identifying the polar hydrogens, Kollman charges were added and the receptors were prepared in the purified form. Another treatment prior to molecular docking was the design of grid parameters. At this stage, after the ligand molecule was randomly placed on the receptor molecule through the program, the grid-box center of the ligand/receptor model was adjusted to completely cover the ligand molecule and the spacing was set to 0.5. After the AutoGrid was built, the docking phase was started. A very wide set of docking parameters has been prepared to move the drug molecules over the entire surface of the receptors and reveal all possible active sites. For this purpose, after the receptor was set as rigid,

hybrid Lamarckian and genetic algorithm parameters were selected and the docking was run by setting the number of genetic algorithm runs as 100, the number of evals as long as status a, and population size as 300. Thus, docking was carried out suitable for examining possible non-bond interactions such as dipole-dipole, H-bond, and hydrophobic interactions. Moreover, whether the driving force was electrostatic or van der Waals, was revealed by the root mean square displacement (RMSD) results obtained as a result of docking.

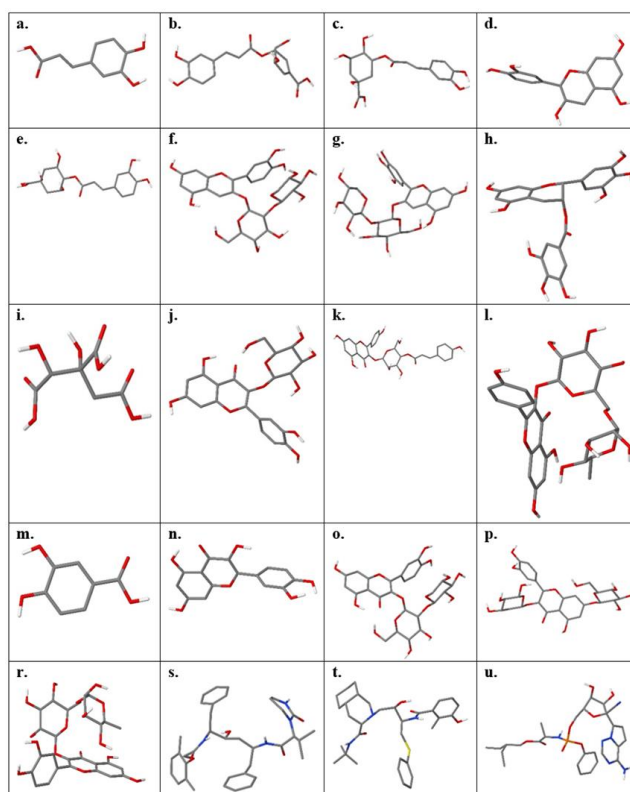


Figure 1. The structures of the ligand molecules shown in stick models. The ligands are caffeic acid (a), caffeoylshikimic acid (b), chlorogenic acid (c), cyanidanol (d), cryptochlorogenic acid (e), cyanidin-3-O-beta-D-sambubioside (f), delphinidin-3-sambubioside (g), epigallocatechin gallate (h), hydroxycitric acid (i), isoquercitrin (j), kaempferol (k), nicotiflorin (l), protocatechuic acid (m), quercetin (n), quercetin-3-sambubioside (o), quercetin pentosylhexoside (p), rutin (r), lopinavir (s), nelfinavir (t), and remdesivir (u). The colors gray, red, white, blue, yellow and orange represent the elements of carbon (C), oxygen (O), hydrogen (H), nitrogen (N), sulfur (S) and phosphorus (P), respectively

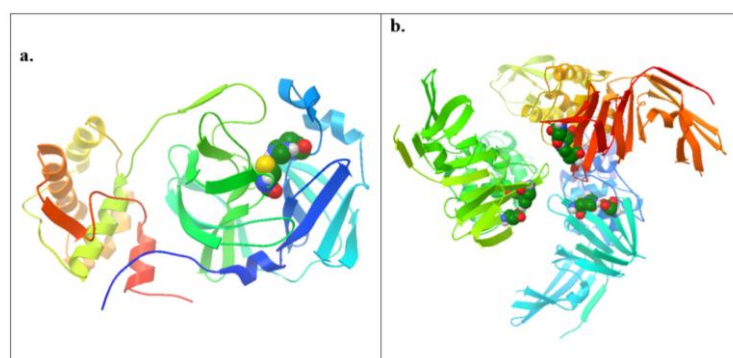


Figure 2. The secondary structures of 3CL^{pro} (a) and PL^{pro} (b) displayed in rainbow style with their highlighted catalytic dyad and triad amino acids as space filling model (CPK style). 3CL^{pro} is a single chain protease, while PL^{pro} is a bulkier molecule consisting of A, B and C chains

The free binding energy (BE) calculation was carried out as follows in Equation 1.

$$\text{Estimated Free Energy of Binding} = (1) + (2) + (3) - (4) \quad (1)$$

(1): Final Intermolecular Energy = [vdW + Hbond + desolvation Energy] + Electrostatic Energy; (2): Final Total Internal Energy; (3): Torsional Free Energy; (4): Represents Unbound System's Energy = [(2) Final Total Internal Energy].

RESULTS AND DISCUSSION

In the fight against COVID-19, the first strategy was to test existing broad-spectrum anti-viral medications. The second strategy, on the other hand, is using databases to screen molecules for potential anti-coronavirus activity. Molecular docking studies are widely employed in drug design to better understand the interactions between a receptor and a ligand and the possible bonds between them. The number of drug-protein interactions as well as the binding energy score may be used to compare the affinity of various compounds to the specific receptor. Compounds with the lowest (most negative) score and a suitable hydrogen bond arrangement may be selected as future therapeutic targets (Steklac et al., 2021). In the meantime, the inhibition constant is useful for making predictions about the necessary dose of the drug.

In this study, two highly important proteases of CoV, PL^{pro} and 3CL^{pro} were targeted to find the possible interactions with the major phytochemicals of *H. sabdariffa* L., which is also known as red sorrel or roselle. 17 compounds were selected for this study that had been reported in the literature as the most abundant biomolecules of *H. sabdariffa*, including many organic acids as well as catechin and quercetin derivatives (Izquierdo-Vega et al., 2020). Within these molecules, delphinidin-3-sambubioside (C₂₆H₂₉O₁₆⁺, MW: 597.5) and cyanidin-3-O-beta-D-sambubioside (C₂₆H₂₉ClO₁₅, MW: 616.9) are anthocyanins. Caffeic acid (C₉H₈O₄, MW: 180.16) is a hydroxycinnamic acid derivative, a member of catechols. Caffeoylshikimic acid (C₁₆H₁₅O₈⁻, MW: 335.28) is a hydroxy monocarboxylic acid anion. Chlorogenic acid (C₁₆H₁₈O₉, MW: 354.31) is a polyphenol and the ester of caffeic acid and quinic acid. Cianidanol (catechin C₁₅H₁₄O₆, MW: 290.27) is a polyphenol. Protocatechuic acid (3,4-dihydroxybenzoic acid) (C₇H₆O₄, MW: 154.12) is a member of catechols and a dihydroxybenzoic acid. Cryptochlorogenic acid (C₁₆H₁₈O₉, MW: 354.31) is a cinnamate ester obtained by condensation of trans-caffeic acid with quinic acid. Epigallocatechin gallate (C₂₂H₁₈O₁₁, MW: 458.4) is tea catechin. Hydroxycitric acid (C₆H₈O₈, MW: 208.12) is a citric acid derivative. Isoquercitrin (C₂₁H₂₀O₁₂, MW: 464.4) is a conjugate acid of a quercetin 3-O-beta-D-glucopyranoside. Kaempferol (C₁₅H₁₀O₆, MW: 286.24), is a tetrahydroxyflavone. Nicotiflorin (C₂₇H₃₀O₁₅, MW: 594.5) is a rutoside, a trihydroxyflavone, and a kaempferol O-glucoside. Quercetin (C₁₅H₁₀O₇, MW: 302.23) is a pentahydroxyflavone. The structures of quercetin-3-sambubioside, and quercetin pentosylhexoside (C₂₆H₂₈O₁₆, MW: 596.5) are highly close to each other. Rutin (C₂₇H₃₀O₁₆, MW: 610.5) also a derivative of quercetin, a tetrahydroxyflavone. Great differences in the molecular weights and structures of the phytochemicals of *H. sabdariffa* were observed. Also, many compounds are quercetin derivatives, with the same number of torsions and aromatic rings. As a result, this work demonstrates the consequences of even minor structural variations in ligands on their interaction with SARS-CoV-2 receptors.

All the phytochemicals of *H. sabdariffa* used in this study were demonstrated to have a negative binding affinity against 3CL^{pro} and PL^{pro}, which were graded accordingly to belong to the model with the lowest energy. These are shown in Table 1 and Table 2, respectively. On the other hand, lopinavir, nelfinavir and remdesivir, were used as the positive controls, which are Food and Drug Administration (FDA)-approved drugs. SARS-CoV-2 replication has been reported to be inhibited by nelfinavir (Ohashi et al., 2021). Nelfinavir was also shown to interact with the main protease of COVID-19 with a -7.30 kcal/mol binding energy (Arif, 2022). Lopinavir, on the other hand, has been generally used in combination with ritonavir. However, lopinavir is not recommended any more by the World Health Organization (WHO) as a SARS-CoV-2 medication (Cattaneo et al., 2020). Another study reported that lopinavir does not possibly interact with the major targets like 3CL^{pro} and PL^{pro} (Wu et al., 2020).

In our study, no H-bond interactions between lopinavir and the 3CL^{pro} and PL^{pro} receptors were detected. Currently, only remdesivir is recommended by WHO as the SARS-CoV-2 medication (WHO, 2022). Remdesivir has been developed in response to the Ebola outbreak in West Africa from 2014 to 2016. Remdesivir has also been reported to have activity against a wide range of ssRNA viruses (Ghanbari et al., 2020). This study verifies the good interaction of remdesivir with 3CL^{pro} and PL^{pro}.

3CL^{pro}/ligands docking analysis

Compounds with a binding affinity of -6.5 kcal/mol or less are assumed to be better inhibitors of SARS CoV-2 (Table 1). Low binding energies of the compounds of caffeoylshikimic acid (-7.72 kcal/mol), chlorogenic acid (-7.18 kcal/mol), cianidanol (-7.10 kcal/mol), cryptochlorogenic acid (-6.67 kcal/mol), and kaempferol (-6.82 kcal/mol) were calculated to 3CL^{pro}. The other compounds with more than -6.50 binding energies to 3CL^{pro} were found to be caffeic acid, cyanidin-3-O-beta-D-sambubioside, delphinidin-3-sambubioside, epigallocatechin gallate, hydroxycitric acid, isoquercitrin, nicotiflorin, protocatechuic acid, quercetin, quercetin-3-sambubioside, quercetin pentosylhexoside, and rutin. In the meantime, the interactions of antiviral drugs with 3CL^{pro} were also studied. As expected, low binding energies of lopinavir (-6.74 kcal/mol), nelfinavir (-10.16 kcal/mol), and remdesivir (-6.40 kcal/mol) were obtained for 3CL^{pro}. In this study, no compounds have been shown to possess better affinity than nelfinavir, which was found to have the lowest binding energy (-10.16 kcal/mol) to 3CL^{pro}. Caffeoylshikimic acid, chlorogenic acid, cianidanol, and kaempferol, on the other hand, had a higher binding affinity to 3CL^{pro} than lopinavir and remdesivir.

Table 1. The binding energies, inhibition constants and H-bonds between the ligands and 3CL^{pro} protein

Ligand molecules	Model	BE (kcal/mol)	IC (μ M)	Detected H-bonds (\AA)
caffeic acid	88	-5.77	59.13	VAL303(1.790,1.938) GLN299(2.236) MET6(2.028)
caffeoylshikimic acid	52	-7.72	2.20	ASN142(1.84, 2.097) THR190(1.875, 1.985) GLN192(1.905) GLU166(2.049) HIS163(1.884)
chlorogenic acid	8	-7.18	5.45	ASN142(1.684, 2.039) THR190(1.703, 1.923) HIS163(2.073) GLN192(1.771)
cianidanol	88	-7.10	6.29	MET6(2.001) ASP295(2.028) VAL303(2.049) THR304(2.0, 2.101)
cryptochlorogenic acid	34	-6.67	12.96	GLN192(1.685) GLN189(2.082) THR190(2.122) CYS44(2.056)
cyanidin-3-O-beta-D-sambubioside	9	-4.28	725.07	LYS137(1.937) GLN127(1.757, 2.157, 2.212) VAL125(1.98, 2.092) SER123(1.951) SER139(1.767)
delphinidin-3-sambubioside	70	-5.00	216.12	CYS44(2.029) ASN142(2.042, 2.127) ARG188(1.942)
epigallocatechin gallate	6	-6.40	20.41	THR190(1.839, 1.877) GLN192(2.055) GLU166(1.883) LEU141&SER144(2.016)

Phytochemicals of *Hibiscus sabdariffa* with Therapeutic Potential against SARS-CoV-2: A Molecular Docking Study**Table 1.** The binding energies, inhibition constants and H-bonds between the ligands and 3CL^{pro} protein (Continued)

hydroxycitric acid	70	-4.19	855.65	THR280(2.162) GLY283(1.803)
isoquercitrin	94	-5.76	60.03	GLN83(1.754, 1.835) GLU178(1.873, 2.044) LYS88(1.894, 2.216) TYR101(1.887)
kaempferol	56	-6.82	10.08	LYS12(2.15) ASP33(2.024) PRO96(2.006) THR98(2.083)
nicotiflorin	90	-5.38	113.27	ASN142(2.248) GLY143(2.086) GLU166(2.102) GLN189(2.127)
protocatechuic acid	58	-5.03	204.15	GLU166(1.94) GLN192(1.752) THR190(1.754, 1.833, 2.154)
quercetin	1	-6.14	31.57	MET6(2.04)
quercetin-3-sambubioside	34	-5.05	200.16	LEU141(1.899) GLU166(1.743, 2.105) GLN189(1.888)
quercetin pentosylhexoside	68	-6.48	17.65	TYR154(2.248, 2.249) GLN189(1.933, 2.067, 2.246)
rutin	43	-5.28	134.99	HIS163(2.183) ASN142(2.16) PHE140(2.04)
lopinavir	85	-6.74	11.43	-
nelfinavir	49	-10.16	0.04	GLN299(1.991) VAL303(1.878, 1.999)
remdesivir	87	-6.40	20.20	SER46(1.939) HIS164(2.079) GLU166(1.779)

The hydrogen bond is an intermolecular force that keeps two or more molecules together and is required for the stability of protein-ligand interactions (Gouhar et al., 2021). As shown in Table 1, the caffeoylshikimic acid/3CL^{pro} complex model 52 revealed seven H-bonds with the lowest binding energy (-7.72 kcal/mol). Chlorogenic acid/3CL^{pro} complex, which has the second lowest binding energy, was found to form six H-bonds. Cianidanol/3CL^{pro} and kaempferol/3CL^{pro} complexes exhibited 5 H-bonds and 4 H-bonds, respectively. However, the hydroxycitric acid/3CL^{pro} model with the highest binding energy (-4.19 kcal/mol) was observed to reveal two H-bonds. One bond was with THR280 at a distance of 2.162 Å and the other with GLY283 at 1.803 Å. A variable number of H-bond interactions between quercetin and its derivatives with 3CL^{pro} were recorded. Also, the binding energies were shown to be moderately different. In the meantime, numerous studies have found quercetin and its various derivatives to have strong binding affinities with 3CL^{pro}. In particular, the importance of hydroxyl groups was highlighted for the occurrence of H-bond interactions (Mouffouk et al., 2021). Furthermore, quercetin, one of the most important plant molecules, was reported to interact with the S protein–human ACE2 receptor interface, thereby, being found to be capable of interfering with SARS-CoV-2 replication. The pharmacological activities of quercetin include antiviral, anti-atopic, pro-metabolic, and anti-inflammatory effects (Derosa et al., 2021). Therefore, quercetin and its derivatives could be good candidates to fight against COVID-19.

Another issue that draws attention in Table 1 is the results of the anti-viral drugs that make up the last 3 rows. According to these results, the binding affinity of nelfinavir was determined to be the highest of all to the 3CL^{pro} receptor. As a matter of fact, the energy of the model numbered 49 was recorded as the lowest, at -10.16 kcal/mol. Nelfinavir was also discovered to generate three H-bonds with 3CL^{pro}. These are produced between the H atom of the ligand and the O atom of the receptor

(around 2 Å). The binding energy of the remdesivir/3CL^{pro} complex with 87 as the model number was found to be -6.40 kcal/mol. In this model, three H-bonds were seen at around 2 Å. Two H bonds were detected between the H atom of the ligand and the O atom of the receptor. The other H bond was occurred between the O atom of the ligand and the H atom of the receptor. In a recent study, the interaction of remdesivir and the 3CL^{pro} complex was reported to have a -8.2 kcal/mol binding energy with many H-bonds (Naik et al., 2021). Interestingly, no bond formation was followed-up in the lopinavir/3CL^{pro} complex in which a -6.74 kcal/mol binding free energy was shown at model number 85. However, hydrophobic interactions of the lopinavir/3CL^{pro} complex were observed at the amino acids of MET49, MET165, and LEU141.

Considering all these results, it can be pronounced that the interactions are increased and become more frequent at GLN192, GLN189, THR190, GLU166, HIS163, LEU141, and SER144 amino acids in the ligand/3CL^{pro} receptor complexes. These residues are not in the catalytic dyad, but highly close to this area of 3CL^{pro}. Thus, it may be concluded that the ligands investigated in this work, particularly caffeoylshikimic acid and chlorogenic acid, interact with 3CL^{pro} in a location closer to the catalytic dyad.

Another remarkable column in Table 1 belongs to the inhibition constant (IC). The more negative binding energy and smaller value of IC imply a best docking score (Singh et al., 2022). The most striking finding in Table 1 is that the inhibition constant values decrease as the binding energies fall. For example, the lowest binding energy belongs to the nelfinavir/3CL^{pro} model (-10.16 kcal/mol), which has a 0.04 µM IC value. On the other hand, the IC value of remdesivir/3CL^{pro} (-6.40 kcal/mol) was calculated to be 20.20 µM. The IC values of caffeoylshikimic acid, chlorogenic acid, cianidanol, and kaempferol were computed to be 2.20, 5.45, 6.29, and 10.08 µM, respectively. Therefore, the abovementioned molecules were shown to have low binding energies with low IC values, leading to high binding affinities to 3CL^{pro}. On the contrary, the highest binding energy was found to be -4.19 kcal/mol belonging to the hydroxycitric acid/3CL^{pro} model, which has an 855.65 µM IC value, leading to a low binding affinity. This trend was also followed for all models. Additionally, the decreasing inhibition state was observed throughout the 100-step docking of all models, in contrast to the increasing interaction state.

PL^{pro}/ligands docking analysis

The molecular docking revealed that among the 17 chemical compounds tested, 7 of them possess a low binding energy (-6.50 kcal/mol or less) and therefore have a good interaction with PL^{pro} (Table 2). The compounds of caffeoylshikimic acid (-6.73 kcal/mol), chlorogenic acid (-7.20 kcal/mol), cianidanol (-6.85 kcal/mol), delphinidin-3-sambubioside (-6.66 kcal/mol), kaempferol (-7.07 kcal/mol), nicotiflorin (-7.40 kcal/mol), and quercetin pentosylhexoside (-6.54 kcal/mol) owned the binding energies of -6.50 kcal/mol and less with PL^{pro}. Nicotiflorin was shown to have the lowest binding energy (-7.40 kcal/mol). On the other hand, the binding energies between lopinavir (-8.33 kcal/mol), nelfinavir (-9.10 kcal/mol) and remdesivir (-7.80 kcal/mol) with PL^{pro} have been demonstrated to be lower than any other ligand.

Phytochemicals of Hibiscus sabdariffa with Therapeutic Potential against SARS-CoV-2: A Molecular Docking Study

Table 2. The binding energies, inhibition constants and H-bonds between the ligands and PL^{pro} protein

Ligand molecules	Model	BE (kcal/mol)	IC (µM)	Detected H-bonds (Å)
caffeic acid	85	-5.77	59.38	THR74C(1.774) LEU80C(1.812)
caffeoylshikimic acid	60	-6.73	11.76	TYR251B(1.975) LYS217B(2.026) LYS306B(1.852,1.915)
chlorogenic acid	53	-7.20	5.24	ASP76A(2.004) LEU80A(2.029) ARG65A(1.841) LYS43B(1.939)
cianidanol	72	-6.85	9.49	THR74B(1.945) LEU80B(2.032)
cryptochlorogenic acid	5	-6.04	37.49	THR75B(1.858) PRO77B(2.019) LEU80B(2.001) LYS45C(2.105)
cyanidin-3-O-beta-D-sambubioside	7	-5.12	177.57	GLU161A&THR158A(2.047) GLN269C(1.764) ASN109C(2.084,2.093) LEU162C(2.09)
delphinidin-3-sambubioside	17	-6.66	13.24	GLY163B(1.823) GLU167B(1.959, 2.197) LYS157B(2.036) ASP108C(1.890, 2.138)
epigallocatechin gallate	93	-5.95	43.42	LYS217B(2.075, 2.112) THR257B(1.986) LYS306B(2.196) GLY256B(1.962) GLU307B(1.841, 1.842) ASN308B(1.174)
hydroxycitric acid	70	-3.63	2170.00	THR257B(2.023) LYS254B(2.183) TYR251B(1.83) GLU214B(1.915) TYR305B(1.972, 1.994)
isoquercitrin	2	-6.31	23.80	LYS43A(1.915, 1.952) ARG65C(1.929) THR75C(2.244) LEU80C(2.054)
kaempferol	68	-7.07	6.53	THR158A(1.824) ASP108B(1.903) LYS157B(2.25) LEU162B(1.978) ASN109C(2.121)
nicotiflorin	80	-7.40	3.75	LYS43C(1.766)
protocatechuic acid	32	-5.42	105.86	THR74C(1.846) LEU80C(1.688)
quercetin	88	-6.25	26.11	THR74B(2.01) LEU80B(2.03) LYS43C(2.139, 2.141)
quercetin-3-sambubioside	63	-5.36	118.50	ASP108B(1.89) ASN109C(1.678)
quercetin pentosylhexoside	53	-6.54	16.06	LYS92A(1.877, 1.997) LYS105A(1.571) TRP106A(1.927) ASP108A(1.806, 2.171) ASP286A(1.897, 2.011) ALA288A(2.058)
rutin	75	-5.85	51.85	GLN195A(2.061, 2.173) GLN196A(1.865, 1.870, 2.143) CYS192A(1.926, 2.243)
lopinavir	25	-8.33	0.79	-
nelfinavir	4	-9.10	0.21	LEU162B(1.932)
remdesivir	48	-7.80	1.90	THR75A(1.78) LYS45B(2.144)

The H-bonds in the ligand-receptor complex explain more about the binding affinity. In this regard, the nicotiflorin/PL^{pro} complex, which unveiled the lowest binding energy at a model number of 80, was found to form only 1 H-bond with 1.766 Å. Chlorogenic acid/PL^{pro} complex, which has shown the second lowest binding energy at a model number of 53, was found to form four H-bonds. On the other hand, epigallocatechin gallate/PL^{pro} with model number 93, which was shown to have a -5.95 kcal/mol binding energy, was found to possess 8 H-bond interactions. In the meantime, the quercetin pentosylhexoside/PL^{pro} complex with model number 53 was depicted to have low binding energy (-6.54 kcal/mol) with 9 H-bonds, which stands as the highest number of H-bonds in all complexes. Clearly, the H-bond interactions of our ligands, especially quercetin pentosylhexoside with PL^{pro}, suggest a high binding affinity. Interestingly, H-bond formations between the antiviral drugs and the PL^{pro} receptor complex were detected to be low in number. This fact was followed throughout the docking procedures for all 100 conformations. For example, the nelfinavir/ PL^{pro} complex with the lowest binding energy (-9.10 kcal/mol) was found to have only 1 H-bond with a distance of around 2 Å. This H bond occurred between the O atom belonging to the aromatic -OH of the ligand and the H atom of the receptor. On the other hand, two H-bonds consisted of remdesivir/PL^{pro} complex. One of the H bonds was found between the H atom of the ligand and the O atom of THR75A. The other H bond was seen between the H atom of LYS45B and the O atom of the remdesivir. In the lopinavir/PL^{pro} complex, no H-bond formation appeared, however, hydrophobic interactions at GLY160A, LEU162A, VAL159B, GLY160B, LEU162B, GLY160C, and LEU162C amino acids in which different types of chains were monitored. Another important result in Table 2 is that the H-bond interactions increase and become more frequent in the regions of LYS43B and LYS43C, LEU80B, LEU80C, and LEU162B amino acids of the PL^{pro} receptor for all ligand molecules. Accordingly, it can be suggested that the most favorable polypeptide chains are B and C chains. On the other hand, IC values decreased, in contrast to increasing interaction as in the previous model. For example, the IC value of 0.21 µM for the nelfinavir/PL^{pro} model was calculated as 2170 µM for the hydroxycitric acid/PL^{pro} model, which has the lowest interaction. The IC value of nicotiflorin, on the other hand, was determined to be 3.75 µM which is the closest value to the one with remdesivir. Also, our ligands with low binding energies revealed low IC values such as chlorogenic acid (5.24 µM) and kaempferol (6.53 µM), suggesting high binding affinities.

For a better understanding of the data in Tables 1 and 2, the interactions of the most favorable *H. sabdariffa* components in both ligand/receptor models and those of antiviral drugs are illustrated in Figures 3 and 4. It is clear from Figure 3 that strong interactions between caffeoylshikimic acid, chlorogenic acid, cianidanol, cryptochlorogenic acid, epigallocatechin gallate, kaempferol, and quercetin pentosylhexoside with 3CL^{pro} were monitored. Also, good interactions of nelfinavir and remdesivir (Figure 3i and Figure 3j) which have been already proven to be anti SARS-CoV-2 medications, were determined. However, the illustration of the lopinavir/3CL^{pro} complex evidently shows no H-bond formations as seen in Figure 3h.

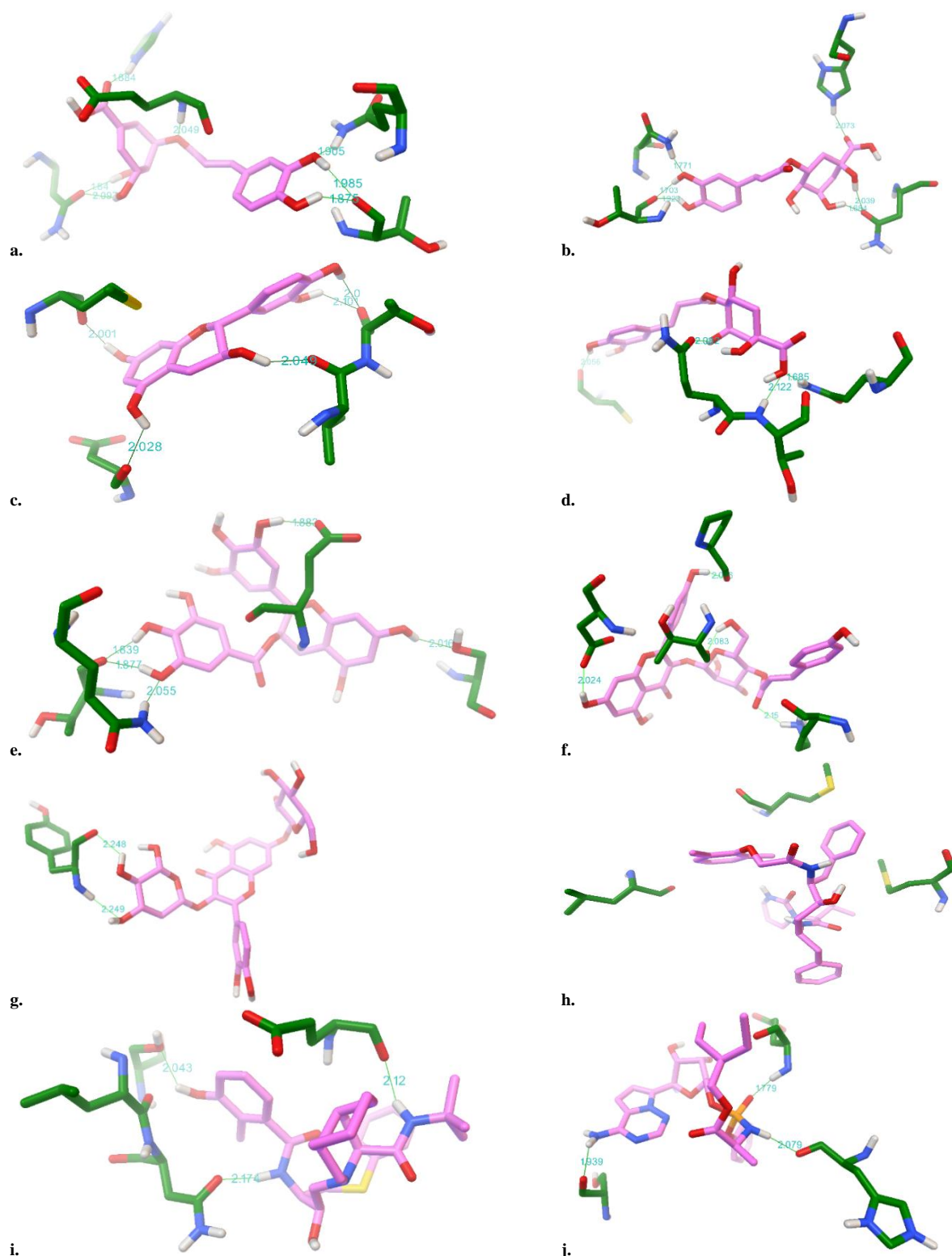


Figure 3. The interactions of ligands/3CL^{pro} models. The ligands are caffeoylshikimic acid (a), chlorogenic acid (b), cianidanol (c), cryptochlorogenic acid (d), epigallocatechin gallate (e), kaempferol (f), quercetin pentosylhexoside (g), lopinavir (h), nelfinavir (i), remdesivir (j)

Figure 4a-4g illustrates the interactions of caffeoylshikimic acid, chlorogenic acid, cianidanol, delphinidin-3-sambubioside, kaempferol, nicotiflorin, and quercetin pentosylhexoside with PL^{pro}. Strong interactions of the abovementioned molecules with PL^{pro} were revealed. Additionally, nelfinavir/PL^{pro} and remdesivir/PL^{pro} revealed strong H-bond interactions, however, like in the previous illustration, lopinavir/PL^{pro} interaction was observed to be weak, as seen in Figure 4h.

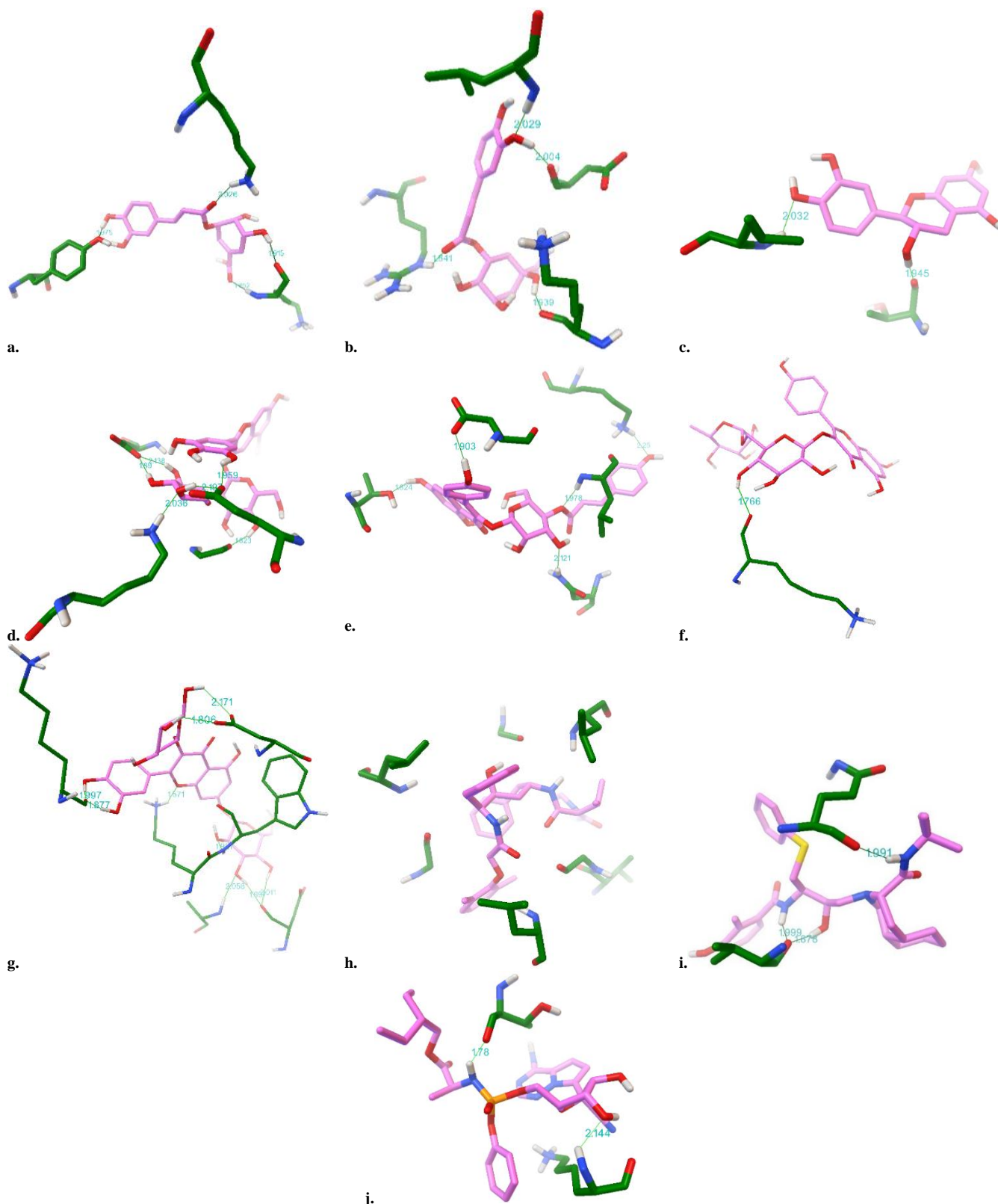


Figure 4. The interactions of ligands/PL^{PRO} models. The ligands are caffeoylshikimic acid (a), chlorogenic acid (b), cianidanol (c), delphinidin-3-sambubioside (d), kaempferol (e), nicotiflorin (f), quercetin pentosylhexoside (g), lopinavir (h), nelfinavir (i), remdesivir (j)

Looking at all the docking models, it was noted that the driving force of the interaction was non-bond interactions. In this regard, van der Waals interactions were monitored to be the most contributing interactions, however, the electrostatic interactions remained at minimal levels. For example, in the nelfinavir/3CL^{PRO} complex, van der Waals interactions were found to be -13.57 kcal/mol, while electrostatic interaction was shown to be -0.17 kcal/mol. Similarly, in the

nelfinavir/PL^{pro} complex, van der Waals and electrostatic interactions were calculated to be -12.55 kcal/mol, and -0.13 kcal/mol, respectively.

The interaction energies of the ligands/receptors were not detected in parallel with the molecular weight. For example, the binding energy of rutin/3CL^{pro}, which is the bulkiest ligand of all, was found to be -5.28 kcal/mol, while it was found to be -5.03 kcal/mol for the smallest ligand, protocatechuic acid. This phenomenon is also correct for ligands/PL^{pro} receptor complexes. In the meantime, the interaction energies of quercetin-3-sambubioside and quercetin pentosylhexoside, the ligands highly similar in structure, were found to be moderately different with both receptors. Also, the former has been shown to have 2 H-bonds with PL^{pro}, while the latter has 9 H-bonds. Therefore, even a small difference in the structure changed the interaction tremendously.

Rutin (quercetin-3-O-rutinoside) was already co-crystallized with 3CL^{pro} (Shawky et al., 2020). In our study, the binding energy of rutin/3CL^{pro} with model number 43 was computed to be -5.28 kcal/mol. A strong interaction between rutin and 3CL^{pro} was demonstrated with 7 H-bonds with 134.99 μ M as the inhibition constant. In the meantime, the rutin/PL^{pro} complex owned a binding energy of -5.85 kcal/mol with 3 H-bonds, and a 51.85 μ M IC value. Strong interactions of rutin with both receptors were shown, as illustrated in Figure 5. Although the IC values of both complexes are relatively high, the high number of H-bonds could result in a strong interaction between rutin and the proteases. These results highlight the importance of H-bonds in ligand/receptor complexes. Also, it is clear from Figure 1r and Figure 1l that rutin and nicotiflorin have a structural similarity with the same molecular formula. Additionally, the binding energies and H-bonds of the nicotiflorin/3CL^{pro} and rutin/3CL^{pro} models were found to be highly close (Table 1). Therefore, a strong interaction between nicotiflorin and 3C-pro can be proposed. In the meantime, the moderately low binding energy of nicotiflorin/PL^{pro} was determined with only 1 H-bond and a low IC value (3.75 μ M). However, the rutin/PL^{pro} model was seen to have a high binding energy as compared to the previous model, with 7 H-bonds and an IC value of 51.85 μ M. In this regard, nicotiflorin possesses a high binding affinity for PL^{pro}, suggesting a better candidate to inhibit PL^{pro} activity.

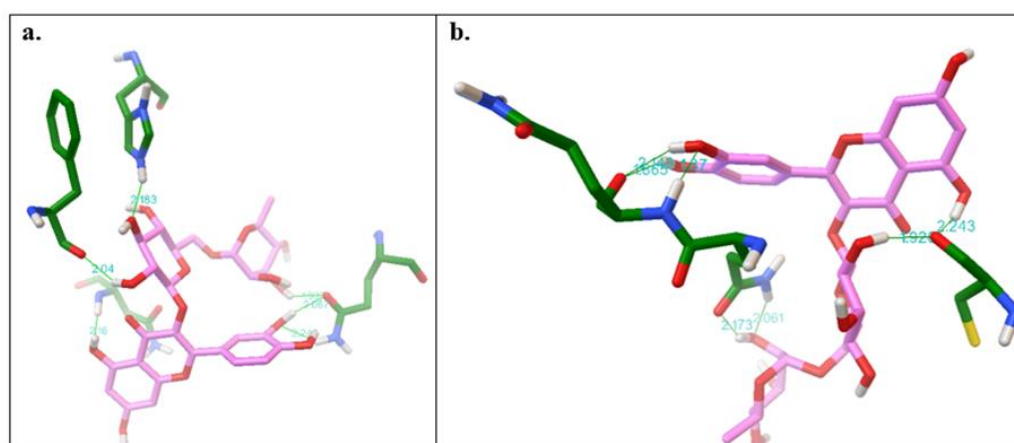


Figure 5. The H-bond interactions of rutin/3CL^{pro} (a), and rutin/PL^{pro} (b) models

Recently, several plant-based compounds have been reported to possibly interact with coronavirus receptors. From these studies (+)-lariciresinol 9'-p-coumarate (-15.12 kcal/mol), β -sitosterol acetate (-14.14 kcal/mol), sesquipinsapol B(-13.39 kcal/mol), and campesterol (-13.25 kcal/mol) which are the compounds of softwood bark were reported to exhibit excellent docking scores with the receptor 3CL^{pro} (Jablonsky et al., 2022). In another study, the phytochemicals of broussoflavan A (-91.22 kcal/mol), dieckol (-73.11 kcal/mol), hygromycin B (-62.48

kcal/mol), sinigrin (-65.08 kcal/mol), and theaflavin-3,3'-digallate (-76.85 kcal/mol) were reported to exhibit excellent SARS-CoV-2 3CL^{pro} inhibitors (Al-Sehemi et al., 2022). The binding affinities of the abovementioned compounds with 3CL^{pro} were found to be better than the compounds studied in this research. Furthermore, ribavirin (PDB code: 3e9s) was reported to have very low binding energy (-38.58 kcal/mol) with PL^{pro}. Many H-bonds were reported in the complex, suggesting a strong interaction between ribavirin and PL^{pro} (Wu et al., 2020). On the other hand, the antiviral drug zanamivir (-8.843 kcal/mol), and anti-cancer drug carfilzomib (-8.924 kcal/mol) were reported to reveal low binding energies to 3CL^{pro}. However, adeflavin that is a medicine for B2 deficiency and coenzyme-A was shown to reveal even better docking score (-10.339 kcal/mol). Remdesivir, on the other hand, has been reported to have a -7.215 kcal/mol binding energy to 3CL^{pro} (Hall et al., 2020). However, in our study we have shown a binding energy of -6.40 kcal/mol between remdesivir and 3CL^{pro}.

Previously, *H. sabdariffa* bioactive compounds were recommended to block coronavirus binding (Parga-Lozano, 2020). *Hibiscus noldeae*, another species traditionally used for respiratory diseases, was recently reported to be fractioned and some of the bioactive compounds were isolated. The fractions and isolated compounds (caffeic acid and isoquercetin) of *H. noldeae* were shown to possess anti-inflammatory activities. These compounds and the fractions were reported to have significant inhibitory effects on caspase-1 activities, and on IL-1 β and IL-6 production (Tomani et al., 2020). Some of the compounds of *Hibiscus* have been illustrated so far to interact with CoV. Delphinidin 3-O, (6''-O-malonyl)-beta-D-glucoside-3'-O-beta-D-glucoside (-11.624), cyanidin-3,5-diglucoside (-9.754), and delphinidin-3-sambubioside (-11.061) from *H. sabdariffa* was reported to have interactions with 3CL^{pro}. In our study, a -6.66 kcal/mol binding energy of delphinidin-3-sambubioside/PL^{pro} complex with six H-bonding interactions were determined. Also, a -5.00 kcal/mol binding energy of delphinidin-3-sambubioside/3CL^{pro} complex with four H-bond formations were detected. Furthermore, gallic acid gallate and epigallocatechin gallate were shown to interact with 3CL^{pro} of which galloyl moiety was found to be important for the binding to the 3CL^{pro} active site pocket (Nguyen et al., 2012). Our study is in parallel to the aforementioned study, with the demonstration of the low binding energy of epigallocatechin gallate/3CL^{pro} and many H-bond interactions. Additionally, synthetic catechin derivatives were reported to interact with 3CL^{pro} (PDB ID: 6LU7) with a -8.0 kcal/mol binding energy as the lowest value (Arif, 2022).

CONCLUSION

In this study, we investigated the interactions of 17 major compounds of *H. sabdariffa* with 3CL^{pro} and PL^{pro}, the main proteases of SARS-CoV-2. For the targets of both 3CL^{pro} and PL^{pro}, caffeoylshikimic acid, chlorogenic acid, cyanidanol, and kaempferol have been demonstrated to possess binding affinities of -6.5 or less. The lowest binding energies and the presence of H-bond interactions in our ligands of caffeoylshikimic acid, chlorogenic acid, and cyanidanol with the 3CL^{pro} complex indicate the existence of strong interactions between these 3 natural compounds and our target protein. For the ligands/ PL^{pro} complexes, chlorogenic acid, delphinidin-3-sambubioside and quercetin pentosylhexoside with the PL^{pro} complex exhibited the lowest binding energies and higher H-bond interactions. It was observed that the driving force of both ligand/receptor models was non-bond interactions, and the greatest contribution was aroused by van der Waals interactions. On the other hand, electrostatic interactions remained minimal at the zero level. This study demonstrates that many phytochemicals of *H. sabdariffa* could possibly interact with the main proteases of SARS-CoV-

2, namely 3CL^{pro} and PL^{pro}. Therefore, this study suggests that most of these phytochemicals inhibit the activities of 3CL^{pro} and PL^{pro}.

ACKNOWLEDGEMENTS

Computing resources for Molecular Docking studies calculations reported in this paper were fully performed at Harran University High Performance Computing Center (Harran HPC resources).

Conflict of Interest

The article authors declare that there is no conflict of interest between them.

Author's Contributions

The authors declare that they have contributed equally to the article.

REFERENCES

- Agrawal N, Goyal A, 2022. Potential Candidates against COVID-19 Targeting RNA-Dependent RNA Polymerase: A Comprehensive Review. *Current pharmaceutical biotechnology*, 23(3): 396-419.
- Al-Sehemi AG, Pannipara M, Parulekar RS, Kilbile JT, Choudhari PB, Shaikh MH, 2022. In silico exploration of binding potentials of anti SARS-CoV-1 phytochemicals against main protease of SARS-CoV-2. *Journal of Saudi Chemical Society*, 26(3): 101453.
- Amin SA, Ghosh K, Singh S, Qureshi IA, Jha T, Gayen S, 2022. Exploring naphthyl derivatives as SARS-CoV papain-like protease (PL^{pro}) inhibitors and its implications in COVID-19 drug discovery. *Molecular diversity*, 26(1): 215-228.
- Arif MN, 2022. Catechin Derivatives as Inhibitor of COVID-19 Main Protease (M^{pro}): Molecular Docking Studies Unveil an Opportunity Against CORONA. *Combinatorial chemistry & high throughput screening*, 25(1): 197-203.
- Cattaneo D, Cattaneo D, Gervasoni C, Corbellino M, Galli M, Riva A, Gervasoni C, Clementi E, Clementi E, 2020. Does lopinavir really inhibit SARS-CoV-2? *Pharmacological research*, 158: 104898.
- Chen CC, Yu X, Kuo CJ, Min J, Chen S, Ma L, Liu K, Guo RT, 2021. Overview of antiviral drug candidates targeting coronaviral 3C-like main proteases. *The FEBS journal*, 288(17): 5089-5121.
- Da-Costa-Rocha I, Bonnlaender B, Sievers H, Pischel I, Heinrich M, 2014. *Hibiscus sabdariffa* L. - a phytochemical and pharmacological review. *Food chemistry*, 165: 424-443.
- Deb SD, Jha RK, Jha K, Tripathi PS, 2022. A multi model ensemble based deep convolution neural network structure for detection of COVID19. *Biomedical signal processing and control*, 71: 103126.
- Derosa G, Maffioli P, D'Angelo A, Di Pierro F, 2021. A role for quercetin in coronavirus disease 2019 (COVID-19). *Phytotherapy research : PTR*, 35(3): 1230-1236.
- Dong W, Wei X, Zhang F, Hao J, Huang F, Zhang C, Liang W, 2014. A dual character of flavonoids in influenza A virus replication and spread through modulating cell-autonomous immunity by MAPK signaling pathways. *Scientific reports*, 4: 7237.
- Douangamath A, Fearon D, Gehrtz P, Krojer T, Lukacik P, Owen CD, Resnick E, Strain-Damerell C, Aimon A, Abranyi-Balogh P, Brandao-Neto J, Carbery A, Davison G, Dias A, Downes TD, Dunnett L, Fairhead M, Firth JD, Jones SP, Keeley A, Keseru GM, Klein HF, Martin MP, Noble MEM, O'Brien P, Powell A, Reddi RN, Skyner R, Snee M, Waring MJ, Wild C, London N, von Delft F, Walsh MA, 2020. Crystallographic and electrophilic fragment screening of the SARS-CoV-2 main protease. *Nature communications*, 11(1): 5047.
- Ghanbari R, Teimoori A, Sadeghi A, Mohamadkhani A, Rezasoltani S, Asadi E, Jouyban A, Sumner SC, 2020. Existing antiviral options against SARS-CoV-2 replication in COVID-19 patients. *Future microbiology*, 15: 1747-1758.

Phytochemicals of Hibiscus sabdariffa with Therapeutic Potential against SARS-CoV-2: A Molecular Docking Study

- Ghosh AK, Raghavaiah J, Shahabi D, Yadav M, Anson BJ, Lendy EK, Hattori SI, Higashi-Kuwata N, Mitsuya H, Mesecar AD, 2021. Indole Chloropyridinyl Ester-Derived SARS-CoV-2 3CLpro Inhibitors: Enzyme Inhibition, Antiviral Efficacy, Structure-Activity Relationship, and X-ray Structural Studies. *Journal of medicinal chemistry*, 64(19): 14702-14714.
- Gouhar SA, Elshahid ZA, 2021. Molecular docking and simulation studies of synthetic protease inhibitors against COVID-19: a computational study. *Journal of biomolecular structure & dynamics*: 1-21.
- Hall DC, Jr., Ji HF, 2020. A search for medications to treat COVID-19 via in silico molecular docking models of the SARS-CoV-2 spike glycoprotein and 3CL protease. *Travel medicine and infectious disease*, 35: 101646.
- Hapsari BW, Manikharda, Setyaningsih W, 2021. Methodologies in the Analysis of Phenolic Compounds in Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.): Composition, Biological Activity, and Beneficial Effects on Human Health. *Horticulturae*, 7(2): 35.
- Izquierdo-Vega JA, Arteaga-Badillo DA, Sanchez-Gutierrez M, Morales-Gonzalez JA, Vargas-Mendoza N, Gomez-Aldapa CA, Castro-Rosas J, Delgado-Olivares L, Madrigal-Bujaidar E, Madrigal-Santillan E, 2020. Organic Acids from Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.)-A Brief Review of Its Pharmacological Effects. *Biomedicines*, 8(5).
- Jablonsky M, Steklac M, Majova V, Gall M, Matuska J, Pitonak M, Bucinsky L, 2022. Molecular docking and machine learning affinity prediction of compounds identified upon softwood bark extraction to the main protease of the SARS-CoV-2 virus. *Biophysical chemistry*, 288: 106854.
- Kumar V, Roy K, 2020. Development of a simple, interpretable and easily transferable QSAR model for quick screening antiviral databases in search of novel 3C-like protease (3CLpro) enzyme inhibitors against SARS-CoV diseases. *SAR and QSAR in environmental research*, 31(7): 511-526.
- McKee DL, Sternberg A, Stange U, Laufer S, Naujokat C, 2020. Candidate drugs against SARS-CoV-2 and COVID-19. *Pharmacological research*, 157: 104859.
- Mody V, Ho J, Wills S, Mawri A, Lawson L, Ebert M, Fortin GM, Rayalam S, Taval S, 2021. Identification of 3-chymotrypsin like protease (3CLPro) inhibitors as potential anti-SARS-CoV-2 agents. *Communications biology*, 4(1): 93.
- Morris GM, Huey R, Lindstrom W, Sanner MF, Belew RK, Goodsell DS, Olson AJ, 2009. AutoDock4 and AutoDockTools4: Automated docking with selective receptor flexibility. *Journal of computational chemistry*, 30(16): 2785-2791.
- Mouffouk C, Mouffouk S, Mouffouk S, Hambaba L, Haba H, 2021. Flavonols as potential antiviral drugs targeting SARS-CoV-2 proteases (3CL(pro) and PL(pro)), spike protein, RNA-dependent RNA polymerase (RdRp) and angiotensin-converting enzyme II receptor (ACE2). *European journal of pharmacology*, 891: 173759.
- Naik VR, Munikumar M, Ramakrishna U, Srujana M, Goudar G, Naresh P, Kumar BN, Hemalatha R, 2021. Remdesivir (GS-5734) as a therapeutic option of 2019-nCoV main protease - in silico approach. *Journal of biomolecular structure & dynamics*, 39(13): 4701-4714.
- Nguyen TT, Woo HJ, Kang HK, Nguyen VD, Kim YM, Kim DW, Ahn SA, Xia Y, Kim D, 2012. Flavonoid-mediated inhibition of SARS coronavirus 3C-like protease expressed in *Pichia pastoris*. *Biotechnology letters*, 34(5): 831-838.
- Nouadi B, Ezaouine A, El Messal M, Blaghen M, Bennis F, Chegdani F, 2021. Prediction of Anti-COVID 19 Therapeutic Power of Medicinal Moroccan Plants Using Molecular Docking. *Bioinformatics and biology insights*, 15: 11779322211009199.
- Ohashi H, Watashi K, Saso W, Shionoya K, Iwanami S, Hirokawa T, Shirai T, Kanaya S, Ito Y, Kim KS, Nomura T, Suzuki T, Nishioka K, Ando S, Ejima K, Koizumi Y, Tanaka T, Aoki S, Kuramochi K, Suzuki T, Hashiguchi T, Maenaka K, Matano T, Muramatsu M, Saijo M, Aihara K, Iwami S, Takeda M, McKeating JA, Wakita T, 2021. Potential anti-COVID-19 agents, cepharanthine and nelfinavir, and their usage for combination treatment. *iScience*, 24(4): 102367.

Phytochemicals of Hibiscus sabdariffa with Therapeutic Potential against SARS-CoV-2: A Molecular Docking Study

- Omrani M, Keshavarz M, Nejad Ebrahimi S, Mehrabi M, McGaw LJ, Ali Abdalla M, Mehrbod P, 2020. Potential Natural Products Against Respiratory Viruses: A Perspective to Develop Anti-COVID-19 Medicines. *Frontiers in pharmacology*, 11: 586993.
- Osipiuk J, Azizi SA, Dvorkin S, Endres M, Jedrzejczak R, Jones KA, Kang S, Kathayat RS, Kim Y, Lisnyak VG, Maki SL, Nicolaescu V, Taylor CA, Tesar C, Zhang YA, Zhou Z, Randall G, Michalska K, Snyder SA, Dickinson BC, Joachimiak A, 2021. Structure of papain-like protease from SARS-CoV-2 and its complexes with non-covalent inhibitors. *Nature communications*, 12(1): 743.
- Parga-Lozano C, 2020. Hibiscus Sabdariffa como candidato terapéutico para COVID-19. *Duazary*, 17(4): 1-3.
- Shawky E, Nada AA, Ibrahim RS, 2020. Potential role of medicinal plants and their constituents in the mitigation of SARS-CoV-2: identifying related therapeutic targets using network pharmacology and molecular docking analyses. *RSC Advances*, 10(47): 27961-27983.
- Singh G, Pawan, Mohit, Diksha, Suman, Priyanka, Sushma, Saini A, Kaur A, 2022. Design of new bis-triazolyl structure for identification of inhibitory activity on COVID-19 main protease by molecular docking approach. *Journal of molecular structure*, 1250: 131858.
- Solnier J, Fladerer JP, 2021. Flavonoids: A complementary approach to conventional therapy of COVID-19? *Phytochemistry reviews : proceedings of the Phytochemical Society of Europe*, 20(4): 773-795.
- Steklac M, Zajacek D, Bucinsky L, 2021. 3CL(pro) and PL(pro) affinity, a docking study to fight COVID19 based on 900 compounds from PubChem and literature. Are there new drugs to be found? *Journal of molecular structure*, 1245: 130968.
- Takeuchi Y, Akashi Y, Kato D, Kuwahara M, Muramatsu S, Ueda A, Notake S, Nakamura K, Ishikawa H, Suzuki H, 2021. The evaluation of a newly developed antigen test (QuickNavi-COVID19 Ag) for SARS-CoV-2: A prospective observational study in Japan. *Journal of infection and chemotherapy : official journal of the Japan Society of Chemotherapy*, 27(6): 890-894.
- Tomani JCD, Kagisha V, Tchinda AT, Jansen O, Ledoux A, Vanhamme L, Frederich M, Muganga R, Souopgui J, 2020. The Inhibition of NLRP3 Inflammasome and IL-6 Production by Hibiscus noldeae Baker f. Derived Constituents Provides a Link to Its Anti-Inflammatory Therapeutic Potentials. *Molecules*, 25(20).
- Vlachakis D, Papakonstantinou E, Mitsis T, Pierouli K, Diakou I, Chrousos G, Bacopoulou F, 2020. Molecular mechanisms of the novel coronavirus SARS-CoV-2 and potential anti-COVID19 pharmacological targets since the outbreak of the pandemic. *Food and chemical toxicology : an international journal published for the British Industrial Biological Research Association*, 146: 111805.
- WHO, 2022. COVID-19 Therapeutics under Assessment.
- Wu C, Liu Y, Yang Y, Zhang P, Zhong W, Wang Y, Wang Q, Xu Y, Li M, Li X, Zheng M, Chen L, Li H, 2020. Analysis of therapeutic targets for SARS-CoV-2 and discovery of potential drugs by computational methods. *Acta pharmaceutica Sinica. B*, 10(5): 766-788.

Atf İçin: Çobanoğlu, M. S. (2023). Bazı Bitkisel Çözelti Kombinasyon Uygulamalarının Soğuk Stresi altındaki Beyaz Lahanelerin Büyümesine (*Brassica oleracea* var. *Alba*) Etkisi. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 889-898.

To Cite: Çobanoğlu, M. S. (2023). The Effect of Some Herbal Solution Combination Applications on the Growth of White Cabbage (*Brassica oleracea* var. *Alba*) Under Cold Stress. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 889-898.

Bazı Bitkisel Çözelti Kombinasyon Uygulamalarının Soğuk Stresi altındaki Beyaz Lahanelerin Büyümesine (*Brassica oleracea* var. *Alba*) Etkisi

Mehmet Selim ÇOBANOĞLU¹

Öne Çıkanlar:

- Soğuk stresi
- Bitki gelişimi
- Bitkisel yöntem

Anahtar Kelimeler:

- Soğuk stresi
- Pancar suyu
- Sıvı olucan gübresi
- Bitkisel karışım
- Geri dönüşüm

ÖZET:

Ülkemiz tarım arazisi bakımından zengin olup yıl boyunca tarım yapılmaktadır. Kış aylarında 0 °C'nin altındaki sıcaklıklarda bitki hücrelerindeki serbest su soğuk stresine bağlı olarak donmaktadır. Soğuk stresine maruz kalan bitkiler, yaprak genişlemesinde azalma, solma, yaprakların sararması ve doku ölümü meydana gelmektedir. Çiftçiler yetiştirdikleri bitkisel ürünlerin don olayından zarar görmemesi ve sera sıcaklığını korumak için yakıt tüketmektedir. Bu durum hem maliyeti hem de iş gücünü ihtiyacını arttırmaktadır. Bu çalışmada soğuk stresi altındaki lahana bitkilerinde donmayı önlemek için 8 farklı bitkisel solüsyon (pancar suyu, sıvı solucan gübresi ve bitkisel karışım) ayrı ayrı uygulanmıştır. Kimyasalların hem bitkiye hem de çevreye olan zararı göz önünde tutularak -26°C'lik ortamlarda 8 farklı bitkisel solüsyon ile soğuk stresinin neden olduğu donmaya karşı çözüm aranmıştır. Solüsyonlar don olayı öncesinde uygulanmış olup bitkilerin 2., 4. ve 6. gün yanıtları ölçülmüştür. Solüsyonlar lahana bitkisinin kök, gövde ve soğuk stresine karşı olumlu tepki vermesini sağlamıştır. Lahana fidelerine uygulanan H solüsyonu bitkide kök ve gövde zamasını teşvik etmiştir. Ayrıca soğuk stresi altında bitki kayplarını önlemiştir. Bu araştırma sonucunda, lahana bitkisinde don olayının neden olduğu verim kaybı azalırken gövde uzunluğunun arttığı tespit edilmiştir.

The Effect of Some Herbal Solution Combination Applications on the Growth of White Cabbage (*Brassica oleracea* var. *Alba*) Under Cold Stress

Highlights:

- Cold stress
- Plant growth
- Herbal method

Keywords:

- Cold stress
- Beet juice
- Liquid vermicompost
- Herbal blend
- Recycle

ABSTRACT:

Our country is rich in agricultural land and agriculture is carried out throughout the year. In winter, free water in plant cells freezes at temperatures below 0 oC depending on cold stress. Plants exposed to frost and cold experience leaf tip reduction, wilting, aeration yellowing, and tissue death. Farmers consume fuel to protect the greenhouse temperature for herbal products they grow from frost. This increases both the cost and the need for labor. In this study, 8 different plant solutions (beet juice, liquid vermicompost and herbal mixture) were applied separately to prevent freezing in cabbage plants under cold stress. Considering the damage of the chemicals both to the plant and to the beneficial effect, a solution was sought for frost stress with 8 different herbal solutions in an environment of -26°C. These solutions were applied before the frost event and the 2nd, 4th and 6th day reactions of the rules were measured. The solutions enabled the cabbage plant to respond positively to root, stem and cold stress. H solution applied to cabbage seedlings promoted root and stem elongation in the plant. It also prevented plant losses under cold stress. As a result of this research, while the loss of yield caused by frost in cabbage plant decreased, the elongation of the body length increased.

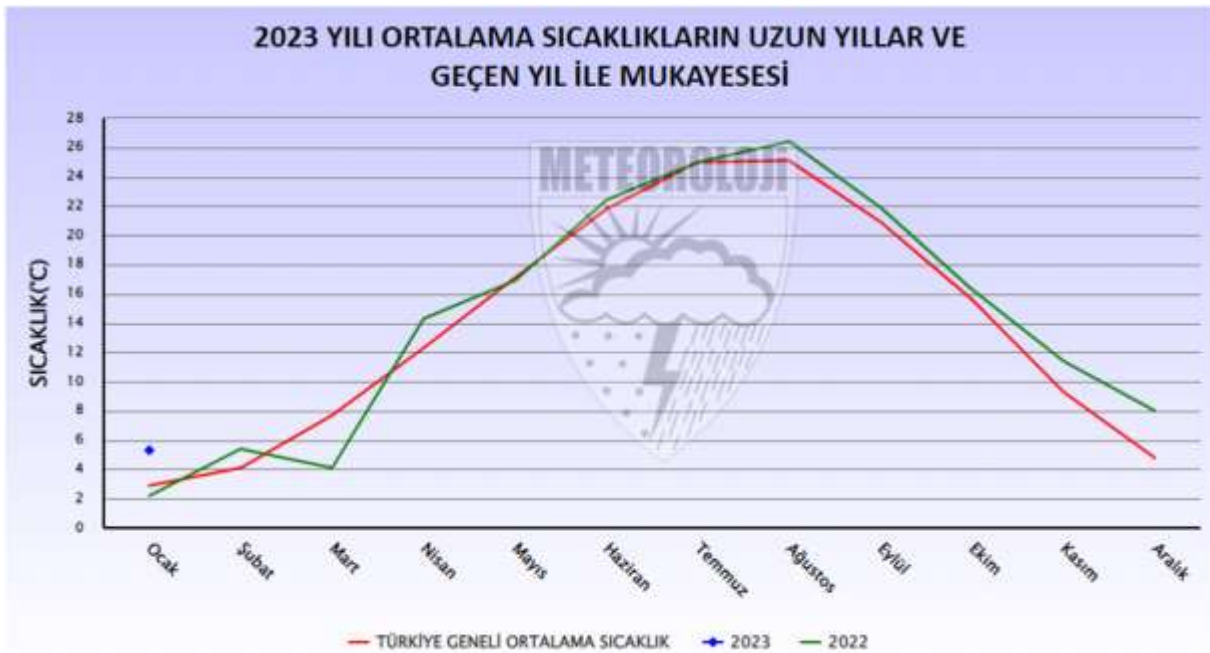
¹ Mehmet Selim ÇOBANOĞLU (Orcid ID: 0000-0003-3659-2733), Alanya Doğa koleji, Alanya, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Mehmet Selim ÇOBANOĞLU, e-mail: selim.cobanoglu07@gmail.com

GİRİŞ

Beyaz lahananın (*Brassica oleracea* var. *Alba*) Kuzey Denizi, Batı İrlanda, İspanya, İtalya kıyılarında, Doğu Asya'da ve yurdumuzun her bölgesinde yetiştiriciliği yapılmaktadır. Lahana yetiştiriciliğinde en uygun sıcaklığın 15-20°C olduğu bildirilmiştir (Baykal ve ark., 1996). Sıcaklığın 25 °C'nin üzerine çıkması ve suyun ortamda az olması sonucunda lahanalar küçükbaşlı meyveler oluşturmaya başlar. Erken çeşitler 5 °C'de büyümelerine normal bir şekilde devam ederken ortam sıcaklığın 0 °C'nin altına düşmesi sonucunda olumsuz etkilenebilirler. Geççi çeşitler ise -8 °C sıcaklığa kadar stresi tolere edebilirler. Ancak düşük sıcaklık altında kalma süresi artarsa bitki membran sistemi zarar görmeye başlayabilir. Bitkiler sürekli düşük sıcaklığa maruz kaldıklarında sürekli vejetatif evrede kalabilir. Lahanalar fazla ışık bulunan ortamdaki hoşlanırken ışık miktarının azaldığı ortamlarda verimleri düşüktür. Ülkemizde yetiştiriciliği yapılan lahanalar uzun gün bitkisi olarak bilinmektedir. Yetiştirme dönemi uzun olan geççi lahanalar için, 450-600 mm'lik bir suya gereksinim vardır. Lahana bitkilerinin en iyi gelişim ve en yüksek verim aldığı durum toprağın su tutma kapasitesinin %30-50'si tüketildiği zaman yapılan sulama ile elde edilmektedir. Lahana bitkileri hava neminin yüksek olduğu deniz ve göl kenarları gibi yaylalarda daha sağlıklı büyümektedir (Vural ve ark., 2000; Bayraktar ve Günay 1996).

Bitkiler, doğada biyotik (virüs, bakteri ve fungusları içeren patojenler, böcekler ve herbivorlar) ve abiyotik (soğuk, don, sıcak, kuraklık, tuzluluk, oksidatif stres) streslere karşı direnç göstermeye çalışır. Bitkilerde reaktif oksijen türlerinin (ROT) üretiminde yaşanan artış engellenemez ise metabolik hasarlara neden olabilmektedir (Apel ve Hirt, 2004). Sıcaklığın 0 °C'nin altına düşmesi sonucu soğuk stresi meydana gelir. 2020 yılının Türkiye'de en düşük hava sıcaklığı -42°C olarak tespit edilmiştir. 2022-2023 yıllarının ortalama sıcaklık verileri şekil 1'de gösterilmiştir. Buna göre, Türkiye'de kış aylarında havaların soğuk geçtiği anlaşılmaktadır. Bu dönemde yetiştirilen bitkilerin soğuk stresi ile mücadele etmek zorundadırlar. Sera koşullarında bu mücadele nedeniyle ısıtma amaçlı yakıt tüketimi artmaktadır.



Şekil 1. 2022-2023 yılı Türkiye ortalama sıcaklık verileri (Meteoroloji genel müdürlüğü, 2023)

Pancar, ıspanakgiller (*Chenopodiaceae*) familyasından iki yıllık otsu bir bitkidir. Boyları 20-50 cm arasında değişkenlik gösterebilmektedir. Şeker pancarının kimyasal bileşiminde; su (%76.5), kuru

madde miktarı (%23.5), sakkaroz (%16.5), pektin (%2.5), selüloz (%1.2), azotlu maddeler (%1.1), madensel maddeler (%1.7), lipitler (%0.1) ve diğer bileşenler (%0.4) bulunmaktadır. Dünya şeker üretiminde şeker kamışından (%77) sonra ikinci sırada yer alan şeker pancarı (%23), şeker kamışından farklı olarak serin ve ılıman yerlerde üretilebilmektedir (Amr ve Gaffer, 2010; Karagöz, 2012). Ülkemizde şeker pancarına ayrılan ekim alanı, 1999-2018 yılları arasında azalış göstermiş göstermiştir (TÜİK, 2018). İşlenen pancarın, yaprakları hayvan yemi olarak kullanılırken presleme sonucunda oluşan suyu atık madde veya muz bitkisinde köklendirici olarak kullanılmaktadır. Şeker pancarından ayrıca melas, ispirto, etanol ve çikolatalı gıdalar üretilmektedir (Anonim, 2013; Pişkin, 2013). Dünya şeker pancarı üretimi son yıllarda ortalama 261 milyon ton seviyesindedir. 2016-2017 üretim sezonunda bir önceki sezona göre %13 artış göstermiştir. Yani üretim 261 milyon ton seviyelerinden 277 milyon ton seviyelerine yükselmiştir. Bu artış Rusya, Türkiye ve Polonya gibi ülkelerin üretimindeki artıştan kaynaklanmaktadır (FAO, 2018). Türkiye şeker pancarı üretiminde AB ülkeleri arasında 3'üncü sırada yer almaktadır (FAO, 2018).

Kırmızı California solucanlarının ürettiği gübre ABD başta olmak üzere birçok ülkede üretilmektedir (Julka, 1986). Sıvı gübrenin bitki gelişimini hızlandırıp, bitki köklerinde bulunan zararlı böcekleri uzaklaştırırken bitkiyi soğuk stresine karşı koruyacağı düşünülmektedir.

Sarımsak zambakgiller ailesinden olup iki yıllık bir bitkidir (Bülbül ve ark., 2021). Sarımsak 15-20 °C sıcaklık aralığında yetiştirilir. Gıda tarım ve hayvancılık bakanlığının 2015 verilerine göre sarımsak dış halinde -10 °C sıcaklığa kadar dayanabilirken, bitki halinde -4 °C sıcaklığa kadar dayanabilmektedir. Ülkemiz %4'lük üretim yaparak Dünya sıralamasında yedincidir (Taban ve ark. 2009).

Kapsaisin kimyasal formülü $C_{18}H_{17}NO_3$ olan acı, yakıcı, beyaz ve kokusuz proalkaloid bir maddedir. Saf olmayan madde olup, bazı amidlerin karışımı halindedir (Şalk ve ark., 2008; Tütüncü ve Özfiliz, 2011). Kapsaisin güçlü bir alkaloid olup soğuğa ve sıcağa karşı direnç gösterir (İşlek, 2009).

Aloaceae ailesinden olan Aloe vera bitkisi, ana vatanı Güney Afrika, Arap Ülkeleri ve Madagaskar'ın yağmur almayan bölgeleri olmasa da Kuzey Afrika, Arap Yarımadası, Çin ve Akdeniz Bölgesi gibi alanlarda yayılış göstermeye başlamıştır (Reynolds, 2004). Bitkinin Türkçe adı "sarı kılıç" olup, Arap dünyasında tadı acı olduğu için "parlayan ve acı" olarak isimlendirilmektedir (Güler, 2010). Sukkulent, gövde veya yapraklarındaki özel etli dokularda su tutma, biriktirme yeteneği olan bitkilerdir. Sukkulent gövdeye sahip olan bitkinin yapısında %99 su bulunmaktadır. Aloe vera yapraklarının lateks ve jel olmak üzere iki farklı kısmı vardır (Copasso ve ark., 1998). Aloe vera jelinin yapısında, biyolojik ve iyileştirici özelliğe sahip amino asitler, mineraller, enzimler, vitaminler ve organik bileşikler içermektedir (Andersen, 2007). Kabuk kısmında ise, farklı mineraller, aminoasitler, vitaminler, şeker, enzim ve yağ asitleri bulunmaktadır (Kalıpçı ve Kalıpçı, 2004).

Don ve soğuk stresine maruz kalan bitkiler, yaprak genişlemesinde azalma, solma, yaprakların sararması ve doku ölümüne (nekroz) neden olabilir (Yadav, 2010). Bazı bitkiler, don stresine karşı tolerans kazanmaktadır. Bitkiler, don nedeniyle meydana gelen zararı azaltmak için soğuk aklimasyonu yapmaktadır (Thomashow, 1998). Bitkiler, soğuk stresinde suyun donması sonucu doku dehidrasyonu ve buna bağlı olarak plazma membran hasarları görülmektedir (Steponkus ve ark., 1993). Bitki, kendini soğuk stresine karşı korurken, su içeriğinin donmasını engelleyerek hayatta kalabilmektedir. Bu olayın olumsuz etkisi çevre sıcaklığının düşük olmasından daha çok hücre suyunun donmasından kaynaklanır. Bu sıcaklıkta metabolizma en aza indirgenir ve tüm faaliyetler durdurulur. Soğuk stresi olayı ile hücreler arası boşlukta buz oluşumu başlaması ile bitkinin aldığı suyun donması, ozmotik bir etki yaparak hücre içindeki suyun hücreler arası boşluğa (apoplast)

geçmesine ve sonuçta bitkinin donmasına yol açar (Greenway ve Munns, 1980). Sukkulent gövdeli bitkiler de bu hasar daha fazla görülmektedir. Oksidatif strese maruz kalan bitkilerin hücrelerinde ROT üretimi artmaktadır. Üretilen ROT, bitkilerin antioksidan savunma enzimleri sayesinde uzaklaştırılmaktadır. ROT seviyesi bitkinin uzaklaştırma seviyesinden fazla olduğunda, bitki kendini savunamaz. Bu durumda biyolojik membranlardaki lipid peroksidasyonda artış olur ve hücre ölümleri başlar (Sharma ark., 2012). Başarılı olan bitkiler strese karşı dayanıklı, kendini savunamayan bitkiler ise hassas bitkiler olarak adlandırılır (Foyer ve Noctor, 2005). Sukkulent gövdeye sahip Aleo vera bitki özütü, pul biber içeren bitkisel karışım, sıvı solucan gübresi ve pancar suyu ile hazırlanan karışımın soğuk stresine etkisine bakılmıştır.

MATERYAL VE METOT

Ekstrakt hazırlama

Bitkisel çözeltiler hazırlanırken %20 sarımsak, %10 pul biber ve %30 A. vera saf su içerisinde 5 gün bekletilmiştir. Karışım belli aralıklarla karıştırılmıştır.

H çözeltileri hazırlanırken şeker fabrikasından temin edilen pancar melası 45ml, kırmızı California solucan gübresi 45 ml, bitkisel karışım 10 ml eklenerek (%20 sarımsak, %10 pul biber ve %30 A. vera) çözeltiler hazırlanmıştır. Çözeltiler içerisine gerekli malzemeler eklendikten sonra manyetik karıştırıcı yardımı ile homojen hale getirilmiştir.

Çözeltiler içerisinde yer alan özütler denemeler sonucunda belirlenmiştir. Hazırlanan çözeltiler çizelge 1’ de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Uygulanan çözeltiler çeşitlerinin hazırlanması

Solüsyon	İçerik
A	Saf su 100 ml (Kontrol grubu)
B	Pancar suyu 100 ml
C	Sıvı solucan gübresi 100 ml
D	Pancar suyu 50 ml + Sıvı solucan gübresi 50 ml
E	Bitkisel karışım 100 ml
F	Pancar suyu 90 ml + 10 ml Bitkisel karışım
G	Sıvı solucan gübresi 90 ml + 10 ml Bitkisel karışım
H	Sıvı solucan gübresi 45 ml + Pancar suyu 45 ml+ 10 ml Bitkisel karışım

21 günlük lahana fideleri zirai fide satış alanlarından temin edilmiştir. Bitkiler toprak ortamında yetiştirilmiştir. Bitkilere hoagland besin çözeltileri verilmiştir. Oluşturulan çözeltiler lahana bitkilerine %50 seyreltilerek her bitki başına 3 ml olarak uygulanmıştır. Bu oranlar ön denemeler sonucunda elde edilmiştir. Her gruba 50 adet lahana fidesi ve toplamda 400 adet fideye uygulama yapılmıştır. Fideler 16/8 saat ışık/ karanlık fotoperiyotta bitki büyütme kabini içinde yetiştirilmiştir. Solüsyonlar 21 günlük bitkilere soğuk stresi başlangıcından bir gün önce uygulanmıştır. Bitkilere 1. gün solüsyon uygulaması yapıldıktan sonra soğuk stresini yaşadığı ortam olan bitki büyütme kabini içinde -26 °C’de bulunan bitkilerin 2., 4. ve 6. gün (Soydam Aydın, 2011) verileri hesaplanmıştır. Bitkiler soğuk stresi ortamında bir hafta bekletilerek incelemeler yapılmıştır. Bu araştırma ile bitkilerin stresten kurtulma (hayatta kalma) yüzdeleri, kök ve gövde uzunlukları hesaplanmıştır. Deneme 3 tekerrürlü olarak yapılmıştır.

Kök-Gövde Uzunluğu

Bitkilerin kök kısımları ve kök-gövde arasındaki uzunluk (cm) cetvel yardımıyla ölçülerek gelişimleri incelenmiştir.



Şekil 2. Bitki kök ve gövde uzunluğunun hesaplanması

Bitkilerin soğuk stresinden kurtulma yüzdelerinin hesaplanması

Her grupta 50 lahana bitkisi yer almaktadır. Bu süreçte soğuk stresine karşı kendini koruma yüzdeleri hesaplanmış ve veriler tablolar halinde verilmiştir.

İstatistiksel Analizler

Bitkilerin soğuk stresinden kurtulma yüzdeleri, kök ve gövde uzunlukları istatistiksel varyans analiz yöntemi ile (SPSS, ANOVA) hesaplanmıştır. Analizler 3 tekerrürlü yapıldıktan sonra veriler elde edilmiştir. Tekrarlar sonucunda elde edilen verilerin ortalaması grafikler ve tablolar ile gösterilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Hazırlanan solüsyonlar 2., 4. ve 6. gün bitkilerin durumları aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir. Solüsyon grupları tabloda A, B, C, D, E, F, G ve H harfleriyle ifade edilmiştir. (A: Kontrol grubu, B: Pancar suyu, C: Sıvı solucan gübresi, D: Pancar suyu + sıvı solucan gübresi, E: Bitkisel karışım, F: Pancar suyu + bitkisel karışım, G: Sıvı solucan gübresi + bitkisel karışım, H: Pancar suyu + Sıvı solucan gübresi + bitkisel karışım) Araştırma 8 grup 400 fide üzerinde yapılmıştır.

Çizelge 2. Soğuk stresinin 2. Gününde solüsyonların etkisi

2. Gün

	A	B	C	D	E	F	G	H
Bitkilerin soğuk stresinden kurtulma yüzdeleri	%40	%70	%76	%80	%86	%90	%98	%100

Çizelge 2'de görüldüğü üzere -26 °C'de bitkilerin soğuk stresinden kurtulma yüzdeleri hesaplanmıştır. Çizelge 2, 3 ve 4'de elde edilen veriler her grup için 50 fide üzerinden hesaplanmıştır. Bu fidelerden hücre ölümü gerçekleşen fideler ile stresten kurtulmayı başaran fidelerin yüzdelik hesabı yapılmıştır.

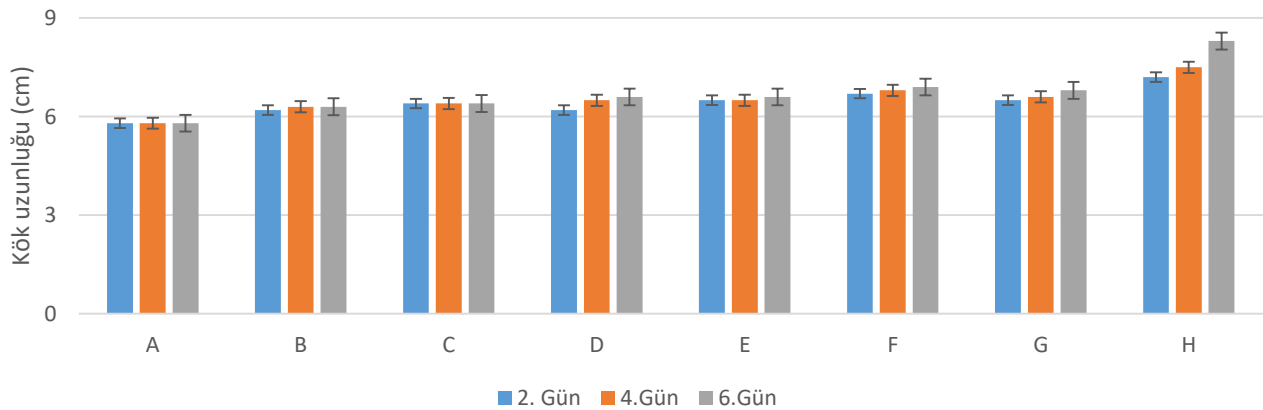
Çizelge 3. Soğuk stresinin 4. Gününde solüsyonların etkisi

4. Gün	A	B	C	D	E	F	G	H
Bitkilerin soğuk stresinden kurtulma yüzdeleri	%10	%70	%76	%80	%86	%90	%98	%100

Çizelge 4. Soğuk stresinin 6. Gününde solüsyonların etkisi

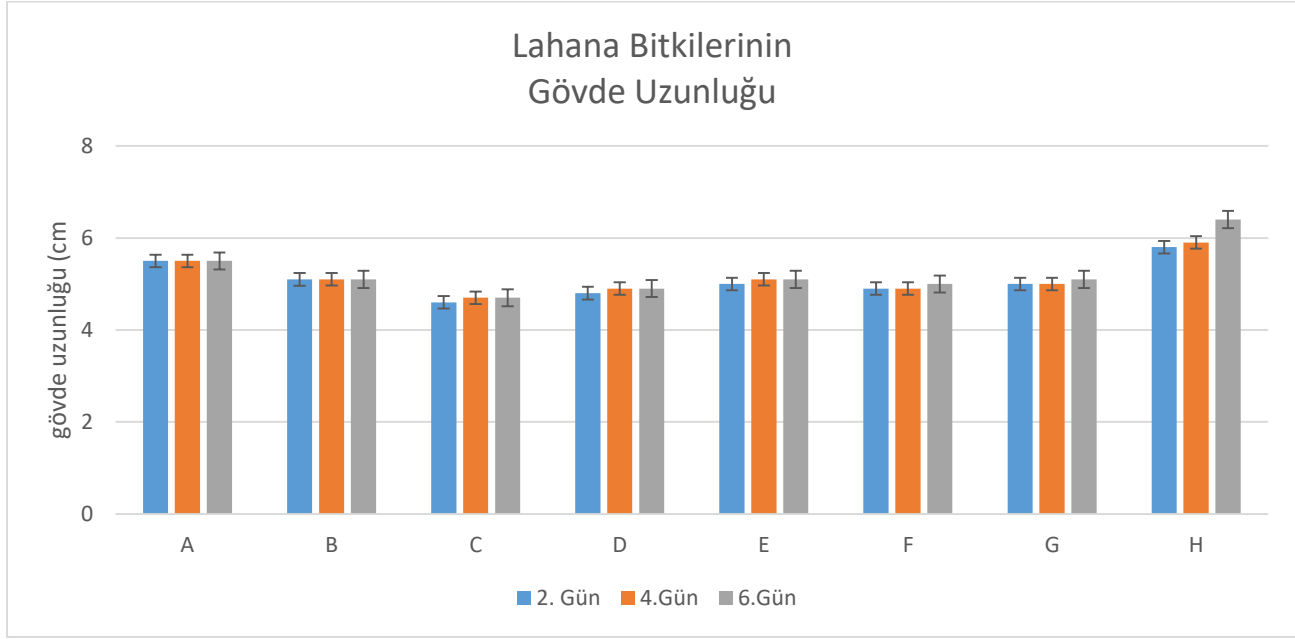
6. Gün	A	B	C	D	E	F	G	H
Bitkilerin soğuk stresinden kurtulma yüzdeleri	%0	%66	%70	%78	%80	%88	%98	%100

-26°C'de bitkilerin soğuk stresinden kurtulma yüzdeleri hesaplanmıştır. 6. Gün sonunda A grubunda bulunan bitkilerin soğuk stresine karşı tepki gösteremediği ve buna bağlı olarak bitkilerin hepsinin hücre ölümünün gerçekleştiği tespit edilmiştir. H çözeltisinde ise bu grupta bulunan bitkilerin %100 oranında soğuk stresine karşı olumlu tepki gösterdiği ve -26 °C'de hayatta kalmayı başardığı tespit edilmiştir. Uygulama yapılan çözeltilerin bitkileri fizyolojik olarak koruduğu düşünülmektedir (Çizelge 4).

Lahana Bitkilerinin
Kök Uzunluğu**Şekil 3.** Lahana bitkilerinin -26°C'de kök gelişim oranları

Şekil 3'te -26°C'de lahana bitkilerine uygulanan kontrol ve 7 farklı solüsyonun kök gelişimine oranları tespit edilmiştir. H çözeltisi uygulanan bitkilerde kök uzunluğunda A grubuna kıyasla %46 arttırdığı tespit edilmiştir.

-26°C'de lahana bitkilerine uygulanan 7 farklı solüsyonun gövde gelişimine etkileri belirtilmiştir. H çözeltisi uygulanan beyaz lahanaların 6. günün sonunda A grubuna kıyasla %16 oranında artış tespit edilmiştir (Şekil 4). Bu gelişim bitkinin çözelti sayesinde kendini soğuk stresine karşı koruduğunu göstermektedir. Bitkinin soğuk stresi altında hücre içi suyunun donması ve genişlemeye başlaması ile hücre ölümlerinin başlamasına neden olmaktadır (Korkmaz ve Durmaz, 2017).



Şekil 4. Lahana bitkilerinin -26 °C'de gövde uzunluğu gelişim oranları

H çözeltisinde ise bu grupta bulunan bitkilerin %100 oranında soğuk stresine karşı olumlu tepki gösterdiği ve -26 °C'de hayatta kalmayı başardığı tespit edilmiştir. Uygulama yapılan çözeltilerin bitkileri fizyolojik olarak koruduğu düşünülmektedir.

-26°C'de lahana bitkilerine uygulanan 7 farklı solüsyonun kök gelişimine olan etkileri tespit edilmiştir. H çözeltisi uygulanan bitkilerde kök uzunluğunda A grubuna kıyasla %46 arttırdığı tespit edilmiştir (Şekil 3). Soğuk stresine hassas bitkilerin donma olayına dayanma derecesinin üzerindeki düşük sıcaklık altında kalması, kök ucunun donmadan dolayı düşmesine, su alınımının, kök iletiminin ve kök büyümesinde gerilemeye neden olur (Rab ve Saltveit, 1996; Aroca ve ark., 2001). Nohut bitkisi ile yapılan bir çalışmada 12°C soğuk stresi uygulaması sonucunda bitki kök, gövde uzunluğu, toplam kuru ağırlık ve toplam proteinin miktarında azalış tespit edilmiştir (Kaur ve ark., 2008).

Soğuk stresi altında bitkilerin yaşam ortamı olan toprak çatlar ise bitki kökleri zarar görür ve ölümler başlar (Uzun ve ark., 2022). Soğuk stresi bitki kök ile gövde uzunluğunu ve büyümeyi kısıtlamaktadır (Croser ve ark., 2003; Aslantaş ve ark., 2010; Hussain ve ark., 2018). Abiyotik stres olan soğuk stresi mevsimlik olmasına rağmen kuraklık stresi ile benzer tepkiler göstermektedir. Kuraklık stresi altında kuraklığa duyarlı Konya 2002 buğday çeşidinin gövde uzunluğunda %38 azalış olduğu bildirilmiştir (Çobanoğlu, 2022). 31 kavun genotipi ile yapılan kuraklık çalışmalarında gövde uzunluğunun %60-67 oranında azalış gösterdiği tespit edilmiştir (Kuşvuran ve Abak, 2012). H çözeltisi uygulanan beyaz lahanaların 6. günün sonunda A grubuna kıyasla %16 oranında artış tespit edilmiştir. Bu gelişim bitkinin çözelti sayesinde kendini soğuk stresine karşı koruduğunu göstermektedir. Soğuk stresi altında bitki gövdesinin büyüme hızı, yaprak genişliği azalır. Soğuk stresinin şiddetli arttıkça hücrel otolizi ve yaşlanma olayını hızlandırır. Bu olay bitki lezyonlarına neden olabilir. Ayrıca bitki yapraklarında sararma ve nekroza neden olabilir (Saltveit ve Morris, 1990). Uygulama yapılan bitkilerin yapraklarında renk değişimi gözlenmemiştir. Ayrıca çözeltilerin bitkilerin yeni yaprak açmasında yardımcı olduğu ve nekrozu azalttığı tespit edilmiştir. H çözeltisinin bitki kök-gövde uzunluğunda artış, yeni yaprak çıkarması, yaprak renginin normal seviyede kalması ve nekrozları azalttığı tespit edilmiştir. Buna göre uygulanan H çözeltisinin soğuk stresi altındaki lahana bitkilerini koruduğuna işaret etmektedir.

SONUÇ

Araştırma sonuçlarına göre; 6. günün sonunda H solüsyonu %100 başarı göstermiş olup bitki kendini korumuştur. Çözelti etkisi ile bitki stres kontrol mekanizması pozitif tepki göstermiştir ve kendini korumayı başarmıştır. Kendini koruyabilen bitkilerin yeni yaprak çıkardığı, gövde ve köklerinin büyümeye devam ettiği tespit edilmiştir. Şekil 3 ve Şekil 4 incelendiğinde, sırasıyla H, G, F, E, D, C ve B (H: Pancar suyu+ sıvı solucan gübresi+ bitkisel karışım, G: Sıvı solucan gübresi + Bitkisel karışım, F: Pancar suyu + Bitkisel karışım, E: Bitkisel karışım, D: Pancar suyu + Solucan gübresi, C: Sıvı solucan gübresi, B: Pancar suyu) solüsyonu uygulanan bitkilerde anlamlı kök ve gövde uzaması tespit edilmiştir. Buna göre, solüsyonların soğuk stresine maruz kalan lahana bitkilerinin don zararından kurtulmasına en olumlu etki sıralaması H, G, F, E, D, C ve B şeklindedir. Tüm solüsyonlar incelendiğinde en başarılı solüsyonlar H, G ve F şeklinde sıralanmaktadır. Ancak maliyet ve bitkiyi soğuk stresine karşı koruması bakımından H solüsyonunun daha kullanışlı olacağı anlaşılmaktadır.

TEŞEKKÜR

Tuğba Çelik Çobanoğlu'na akademik çalışmaya verdiği destek için teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- Amr AHR, Ghaffar MSA, (2010). The economic impact of sugar beet cultivation in new lands (Study of al-salam canal area status). *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*,4 (7): 1641-1649.
- Andersen FA, (2007). Final Report on the Safety Assessment of Aloe andongensis Extract, Aloe andongensis Leaf Juice, Aloe arborescens Leaf Extract, Aloe 50 Arborescens Leaf Juice, Aloe arborescens Leaf Protoplasts, Aloe barbadensis Flower Extract, Aloe barbadensis Leaf, Aloe barbadensis Leaf Extract, Aloe barbadensis Leaf Juice, Aloe barbadensis Leaf Polysaccharides, Aloe barbadensis Leaf Water, Aloe ferox Leaf Extract, Aloe ferox Leaf Juice, and Aloe Ferox Leaf Juice Extract. *International Journal of Toxicology*, 26(Suppl. 2): 1-50.
- Anonim, (2013). Pankobirlik Dünya, AB ve Türkiye şeker istatistikleri raporu, <http://pankobirlik.com.tr/Istatistikler.pdf>. Ankara.
- Apel K, Hirt H, (2004). Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 55, 373–99.
- Aroca R, Tognoni F, Irigoyen JJ, SánchezDíaz M, Pardossi A, (2001). Different root low temperature response of two maize genotypes differing in chilling sensitivity. *Plant Physiology and Biochemistry*. 39, 1067-1073.
- Aslantaş R, Karakurt H, Karakurt Y, (2010). Bitkilerin düşük sıcaklıklara dayanımında hücresel ve Moleküler mekanizmalar. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 41(2): 157–167.
- Baykal N, Kovancı B, (1996). Bitki koruma, Anadolu Üniversitesi Basımevi, Eskişehir, (1996).
- Bayraktar K, Günay B (1996). Sebze Yetiştirme. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No. 245, 360s.
- Bülbül, H., Koca, A., & Gülşen, O. (2021). Kayseri Koşullarında Yetiştirilen Farklı Sarımsak (*Allium sativum* L.) Tiplerinde Allisin Miktarının HPLC Yöntemi İle Belirlenmesi. *Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü Adına Sahibi*, 70.
- Copasso F, Borrelli F, Capasso R, Di Carlo G, Izzo AA, Pinto L, (1998). Aloe and its therapeutic Use. *Phytotherapy Research*, 12, 124–127.

- Croser JS, Clarke HJ, Siddique KHM, Khan TN, (2003). Low-temperature stress: implications for chickpea (*Cicer arietinum* L.) improvement. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 22(2), 185–219.
- Çobanoğlu MS, (2022). Bazı Buğday Çeşitlerinde Kuraklık Stresinin Önlenmesinde Kullanılabilecek Farklı Yöntemler. *Muş Alparslan University Journal of Agriculture and Nature*, 2 (2), 83-91. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/maujan/issue/70204/1158416>.
- FAO, 2018. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Erişim tarihi: 10.08.2018.
- Foyer CH, Noctor G, (2005). Redox homeostasis and antioxidant signaling: a Metabolic interface between stress perception and physiological responses. *The Plant Cell*, 17(7); 1866-1875.
- Greenway H, Munns R, (1980). Mechanisms of salt tolerance in nonhallophytes, *Annual Review of Plant Physiology*, 31: 149-190.
- Güler R, (2010). Aloe vera jel'nin genotoksik etkilerinin araştırılması. Gazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Hussain HA, Hussain S, Khaliq A, Ashraf U, Anjum SA, Men S and Wang L, 2018. Chilling and drought stresses in crop plants: Implications, cross talk, and potential management opportunities. *Frontiers in Plant Science*, 9: 1–21.
- İşlek C, (2009). Serbest ve Tutuklanmış *Capsicum annum* L. hücre süpansiyon kültürlerinde kapsaisin üretimi üzerine bazı uyarıcıların etkisi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Julka, J. M. (1986). Earthworms resources of India *Proc. Nat. Sem. Org. waste utilization*,
- Kalıpçı A, Kalıpçı S, (2004). Varoluştan sonsuzluğa yaşamın sırrı Aloe Vera, 3-16 s.
- Karagöz H, (2012). ACC deaminaze içeren bitki büyümesini teşvik edici bakteriler tarafından su stresinin azaltılması ve şeker Pancarı (*Beta vulgaris* var. *saccharifera* L.) Gelişmesinin Artırılması. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Kaur G, Kumar S, Nayyar H, Upadhyaya HD, 2008. Cold stress injury during the pod-filling phase in chickpea (*Cicer arietinum* L.): Effects on quantitative and qualitative components of seeds. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 194(6): 457—464.
- Korkmaz H, Durmaz A, (2017). Bitkilerin abiyotik stres faktörlerine karşı geliştirilen cevaplar. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(2), 192-207.
- Kuşvuran Ş, Abak K, (2012). Kavun genotiplerinin kuraklık stresine tepkileri. *Ç.Ü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 28(5), 79-87.
- Pekin MA, (2006). Ulaştırma Sektöründen Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Pişkin A, (2013). Damla Sulama Sistemi Sistemi ile Şeker Pancarına Pancarına (*Beta vulgaris* var. *saccharifera* L.) Verilen Azot ve Potasyumun Verim ve Kalite Üzerine Etkisi İle Azotun Soon Uygulama Zamanının Belirlenmesi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Rab A, Saltveit ME, (1996). Differential Chilling Sensitivity in Cucumber (*Cucumis sativus*) Seedlings. *Physiol. Plantarum* 96: 375-382.
- Reynolds T, (2004). Aloes, The Genus *Aloe*, Medicinal and Aromatic Plants Industrial Profiles. USA, CRC Press.
- Saltveit ME, Morris LL, (1990). Overview of Chilling Injury in Horticultural Crops. *Chilling Injury of Horticultural Crops*, Eds: C.Y. Wang, ss. 3-15, CRC Press, Boca Raton, FL.
- Sharma P, Jha AB, Dubey RS, Pessarakli M, 2012. Reactive Oxygen Species, Oxidative Damage and Antioxidative Defense Mechanism in Plants Under Stressful Conditions. *Journal of Botany*,

- Soydam Aydın S, (2011). Soğuk, kuraklık ve tuz gibi abiyotik stres koşulları altındaki domates bitkisinde (*Lycopersicon esculentum* L.) süperoksit dismutaz (SOD) gen ekspresyon profilinin real time PCR aracılığı ile araştırılması.
- Steponkus PL, Uemura M, Webb MS, (1993). A Contrast of The Cryostability of The Plasma Membrane of Winter rye and Spring Oat—two Species That Widely Differ in Their Freezing Tolerance and Plasma Membrane Lipid Composition. In: Advances in Low-Temperature Biology, Vol. 2, Steponkus, P. L. (ed.). JAI Press, London. 2; 211-312.
- Şalk A, Arın L, Deveci M, Polat S, (2008). Özel Sebzeçilik. Onur Grafik Matbaa, İstanbul, 488 s.
- Taban, S., Çevik, N., Taban, N., Turan, M.A., Konuşkan, R., Kebeci, F., ve Sezer, S.M. 2009. Türkiye’de yetiştirilen sarımsak genotiplerinin potansiyel beslenme sorunlarının ortaya konulması ve sarımsakta gübreleme verim-kalite ilişkisi. Tübitak Projesi, Proje No: 104 O 506, 191 s.
- Thomashow MF, (1998). Role of Cold-responsive Genes in Plant Freezing Tolerance. Plant Physiology, 118(1): 1-8.
- TÜİK, 2018. National Greenhouse Gas Inventory Report 1990-2015, Annual Report for Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change, Sayfa 28.
- Tütüncü Ş, Özfiliz N, (2011). Vanilloid reseptör 1 (VR1) (Capsaicin reseptörü). Uludağ Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 30(2): 53-60.
- URL <https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/sicaklik-analizi.aspx> Erişim Tarihi: 26.02.2023.
- Uzun ÖF, Türker, AGHB, Keleş E, (2022). Soğuk İklim Koşullarında Kent Peyzajında Kullanılabilecek Bitki Türleri ve Bitkisel Tasarım Yaklaşımları.
- Vural H, Eşiyok D, Duman İ, 2000. Kültür Sebzeleri (sebze yetiştirme). Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü, Bornova-İzmir, 440.
- Yadav SK, 2010. Cold Stress Tolerance Mechanisms in Plants. A review. Agronomy for Sustainable Development, 30(3): 515-527.

Atıf İçin: Çakmak, E. ve Akın Pekşen, Ç. (2023). Kuşlar Açısından Korumada Öncelikli Alanların ve Taksonların Belirlenmesi: Aksaray Örneği. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 899-905.

To Cite: Çakmak, E. & Akın Pekşen, Ç. (2023). Determination Conservation Priority Areas and Taxa in Terms of Birds: The Case of Aksaray. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 899-905.

Determination Conservation Priority Areas and Taxa in Terms of Birds: The Case of Aksaray

Emel ÇAKMAK^{1*}, Çiğdem AKIN PEKŞEN^{2,3}

Highlights:

- Hamidiye/Alaca, Ataköy/Darlıhüyük and Sultanhanı have been determined as priority locations for conservation,
- These locations are represented by three different habitat types,
- Of the detected indicator species, four are in NT and one is in the VU threat category.

Keywords:

- Protection,
- Steppe,
- Swamp,
- Wetland

ABSTRACT:

Growing environmental challenges worldwide and the lack of resources to tackle them require conservationists to set priorities for action. As known; protected areas will be needed as species change their distribution over time due to global climate change, drought, and complete habitat destruction. Although; conservation targets have been met for most species, some conservation features remain unprotected, especially for threatened bird species. There are certain habitat types in Aksaray province where target species belonging to different bird groups are concentrated. Herein; we identify these priority areas for conservation for the current and future estimated distributions of bird species. For this purpose; field studies have been carried out for two years (2015-2017) to represent different habitat types besides bird species detected within the borders of the province. According to our findings; three different habitats (wetland, swamp, and steppe) rich in target species were determined as priority areas for protection. In addition, five different bird species (*Vanellus vanellus*, *Limosa limosa*, *Numenius arquata*, *Circus macrourus*, *Streptopelia turtur*) observed in these habitats are in the Vu (Vulnerable) and NT (Near Threatened) categories according to the International Union for Conservation of Nature (IUCN) Red List. As a result; both the protection and monitoring of the identified habitats and taxa that directly reflect the health of the habitat will facilitate the sustainability of priority areas in future. This study could be a resource for future regulation of conservation strategies.

¹ Emel ÇAKMAK ([Orcid ID: 0000-0002-6231-1950](https://orcid.org/0000-0002-6231-1950)), Aksaray University, Güzelyurt Vocational School, Department of Plant and Animal Production, Aksaray, Türkiye

² Çiğdem AKIN PEKŞEN ([Orcid ID: 0000-0001-5736-3062](https://orcid.org/0000-0001-5736-3062)), Başkent University, Faculty of Science and Letters, Department of Molecular Biology and Genetics, Ankara, Türkiye. ³ Başkent University, Institute of Transplantation and Gene Sciences, Ankara, Turkey.

*Corresponding Author: Emel ÇAKMAK, e-mail: emelkunduz@gmail.com

INTRODUCTION

Considering the distribution of birds, it is seen how biodiversity distributed worldwide and that birds play an indicator role in global environmental changes (BirdLife International, 2008). Because they are susceptible to environmental change, which makes them suitable model organisms for habitat changes (Xu et al., 2018). Besides; birds provide many essential ecosystem services such as nutrient cycling, biodegradation, pest control, plant fertilization and seed separation (Şekercioğlu, 2006; Anderson et al., 2011). Around the world; there are approximately 10900 bird species (Gill and Donsker, 2020; Yavuz et al., 2021). Although; the ecology and distribution of each species differ, birds found in different habitats, from deserts to mountains. Some of these species are specialized in very characteristic habitats and are distributed in limited areas (BirdLife International, 2008). Studies to identify bird species and essential regions for birds in Turkey began in the 1800s. The first information about Anatolian birds were found in the study of Danford (1880). In addition; Kirwan et al. (1998) noted that there are 453 bird species in Turkey; adding, 12 more to these species, and the number could rise to 465. When; we look at the most recent studies in Turkey, Kiziroğlu (2008; 2009) determined the number of bird species in Turkey as 437 as a result of his research, while this figure increased to 503 together with the random and controversial (under-recorded) species (Çelik, 2018).

Turkey is extremely rich in biodiversity due to its geographical location and diversity of landforms (Kiziroğlu et al., 2013). Our country is an excellent land bridge for migrating species between Asia, Europe and Africa. It is on the primary migration route for many gliding bird species that breed in the Palearctic, winter in Africa, and migrate (Lott, 2002). Bird species migrate over our country to reach the wintering areas in the north to breed in the spring and in the south of our country in the autumn. The reasons for the high bird diversity in Turkey are that it has different habitats, it is located on bird migration routes, and the high number of wetlands (Kiziroğlu et al., 2013).

Aksaray province has many different geographical areas with various habitat types, such as fresh and saltwater lakes, forests and agricultural areas similar to the general situation of our country. The habitats sought by each bird species are different, and Aksaray province contains habitats that will meet the needs of many bird species. However; except for the Ihlara Special Environmental Protection Area Biodiversity Detection Project, Salt Lake Special Environmental Protection Area Species and Habitat Conservation and Monitoring Project and Aksaray Environmental Status Report, no other studies were encountered in the study area. The purpose of the study is to determine the habitats that birds frequently prefer as a result of the field studies carried out between 2015-2017.

MATERIALS AND METHODS

Fieldwork

Fieldwork was carried out for 47 days over two years (2015-2017) in Aksaray, representing the main habitat types such as forest, high mountain, steppe, wetland, dune, agriculture and settlement. Bird species in the visited habitats were detected using binoculars and telescopes. In addition to the telescope and binoculars, birds and habitats were photographed with the camera. Fieldwork was carried out from the early hours before sunrise to sunset when birds are more active and human activity is the least. However; since the counting and photographing waterfowl are more convenient during the day, the observations were made over the whole day.

Priority Areas and Taxa

Field studies were carried out using the point counting and transect counting methods. Walking paths were determined according to possible breeding sites in habitats such as forests, swamps,

agricultural areas and salt meadows, and a census was made by following these paths. All the birds seen and heard along this line were recorded during the observations. Breeding codes adapted from Hagemeyer and Blair (1997) were used for each observed bird species. While creating the observation records, the priority taxa were determined by entering the protection status of each species. Birdlife International has identified over 12,000 Important Bird and Biodiversity Areas (IBAs) worldwide to protect and conserve bird populations (BirdLife International, 2014). Moreover, these areas are selected based on the following criteria: (i) areas where globally threatened species are regularly held; (ii) areas containing a significant component of a species group whose breeding distribution defines an Endemic Bird Area; (iii) areas containing a significant component of a species group whose distribution is largely or entirely confined to a single biome; and (iv) areas significant for collective species that contain more than 1% of a species' global or biogeographic population or exceed certain thresholds for waterfowl, seabirds or migratory species. The criteria (ii), (iii) and (iv) were not used while determining the habitats of Aksaray province. The Turkish names of the bird species were prepared by considering Kasperek and Bilgin (1996), and the Latin names were prepared by considering the IOC World Bird List (<http://www.worldbirdnames.org/>) (International Ornithological Committee).

RESULTS AND DISCUSSION

Aksaray province includes forest areas such as Salt Lake which is one of the most critical areas of Turkey, and Ekecik and Hasan Mountain which are among the areas with the highest biodiversity. As known; currently, Salt Lake Special Environmental Protection Area in Aksaray has the status of Important Bird Area (IBA), Important Plant Area (IPA) and Important Natural Area due to its biological diversity. The Salt Lake includes one of the important saline steppe habitats and wetlands of Turkey with rare biodiversity. Therefore; this area was excluded from the scope of this study. The biological and geographical diversity seen in Aksaray province causes an increase in the number of species. The photographs obtained as a result of the field studies determined the species diversity and composition of the area. Table 1 listed the most suitable areas identified in this context and the types of indicator species.

Table 1. Three different habitats rich in indicator species with their location

Habitat name	Location (Domain name)	Indicator species
Wetland	Hamidiye/Alaca	<i>Vanellus vanellus</i> (NT)
Swamp	Ataköy/Darlıhüyük	<i>Limosa limosa</i> (NT) <i>Numenius arquata</i> (NT)
Steppe	Sultanhanı	<i>Circus macrourus</i> (NT) <i>Streptopelia turtur</i> (VU)

It was seen that these determined habitats have a vibrant bird fauna together with endangered species, especially during the periods when temporary wetlands were formed. Since; wetlands remain for nearly one month in autumn and three months in spring, it was seen that both the number of species and population density have increased in this period (Erdoğan, 2001). As a result of the field studies carried out during the Salt Lake Special Environmental Protection Area Species and Habitat Conservation and Monitoring Project, three different vegetation types were distinguished depending on the salt concentration in the soil around Salt Lake, namely the Salty Steppe (Steppe) Vegetation, the Salty Barren Vegetation and the Salty Swamp Vegetation.

In the Ihlara Special Environmental Protection Area Biodiversity Detection Project report (April 2012), it was stated that 94 bird species had been detected in Aksaray. None of these species are on the IUCN Red List. However; although there are no priority species for conservation in the area, it has been emphasized that the valley provides an ideal feeding, shelter and hatching environment for many songbird species.

Birds such as Spur-winged Lapwing and Glossy Ibis, which have spent many summers in our country, have been observed in a wetland in Hamidiye/Alaca (Figure 1), especially with the drying of Eşmekaya Marshes, which is an essential environmental area for birds. They are ornithologically rich regions and contain environmental pressures such as animal grazing, poaching and interventions to the water regime.



Figure 1. Wetland habitat-Hamidiye/Alaca

Vanellus vanellus, our indicator species, has beautiful purple colours, although it is not apparent when viewed from afar. They feed on all kinds of insects and spiders. The breeding season begins towards the end of the March. Most of the species are migratory (BirdLife International, 2015). Besides; the population decreases have been observed in the European population. In field studies; it has been recorded most in Hamidiye/Alaca (Figure 2).



Figure 2. Indicator species for Hamidiye/Alaca: *Vanellus vanellus*

The migration status of the *Limosa limosa* (Black-tailed Godwit), an indicator species, is not well known in our country. Because; its breeding areas have been polluted and, or destroyed, it entered the

endangered species list (Trakus, 2012). It was observed in Darıhüyük, - a marsh or flooded area in Aksaray. The species which has not been previously observed in Eşmekaya Marshes, started to nest in areas that were not very suitable for reproduction after this area dried out completely. The other indicator species *Numenius arquata* (Eurasian Curlew) is one of the largest shorebirds, weighing up to 1 kg and immediately attracts attention with its long-curved bill. It is found near all kinds of water, especially grassland areas. The most common place in Aksaray is the temporary wetlands around Ataköy-Darıhüyük.



Figure 3. Swamp habitat-Darıhüyük/Ataköy

The herbaceous plants and shrubs instead of forests form steppe habitats. These areas are generally open to agriculture (Perktaş, 2017). The indispensable species of these habitats are storks. In addition to storks, they are substantial nesting and breeding grounds for species like turtle dove. The *Streptopelia turtur* (European Turtle-Dove), which is in the vulnerable (VU) category of both the global scale and the European population, is an indicator species of the Sultanhanı steppe (Fig. 4). The species are usually active in the early morning and evening and open land and agricultural areas form their habitat. Since; it is a hunting bird, the *Streptopelia turtur* is a good indicator of hunting pressure. (Thomaidis et al., 2022). Due to this intense hunting pressure, the species numbers are decreasing worldwide. Indeed; birds such as partridges and doves have been faced with overhunting, but their viability is controlled according to the decision of the Central Hunting Commission.



Figure 4. Indicator species for Sultanhanı- *Streptopelia turtur* (photographed by Fahri Tunç)

The IBAs contain populations of an internationally essential size of one or more of the five groups (Plants, Mammals, Reptiles, Amphibians, and Inland water fish) belonging to other living taxa. Nearly; one-third of 48 IBAs contain species of global or regional importance including bird species. Besides; the future research will increase the number of essential areas among other living groups. This shows

that the protection of IBAs in Turkey is equivalent to the protection of biological diversity. (Eken et al., 2006).

CONCLUSION

In the habitats visited within the borders of Aksaray province, the biggest threat to the birds is human activities. As a suggestion; the intense human activities should be supervised in the area. In addition; birds such as partridges and doves have been faced with overhunting, but their viability is controlled according to the decision of the central hunting commission. The bird biodiversity of our province has been seriously threatened due to agricultural and livestock activities, road works, expansion of industrial areas and drying of wetlands with drainages, especially around the breeding areas of birds. In addition; in Aksaray, one of the regions with the lowest rainfall in our country, temporary wetlands formed by spring precipitation are important haunts for migrating species. Although; the areas (Ataköy/Darıhüyük vicinity and Hamidiye/Alaca reeds) visited by many species, they dry up entirely as of June and loses this function. For this reason; if these fields are supported with clean water resources and their continuity is ensured, it will be possible for birds to stay in these areas for a more extended period and even to breed.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was carried out within the scope of the National Biodiversity Inventory and Monitoring Project of the Ministry of Agriculture and Forestry, Nature Conservation and National Parks Directorate, 8th Regional Directorate, Aksaray DKMP Provincial Branch Office. Special thanks to Fahri Tunç for photos.

Conflict of Interest

The article authors declare that there is no conflict of interest between them.

Author's Contributions

Concept: E.Ç., Design: E.Ç., Ç.A.P., Data Collection or Processing: E. Ç., Analysis or Interpretation: E.Ç., Ç.A.P., Literature Search: E.Ç., Ç.A.P., Writing: E.Ç., Ç.A.P.

REFERENCES

- Anderson, S. H., Kelly, D., Ladley, J. J., Molloy, S., & Terry, J. (2011). Cascading effects of bird functional extinction reduce pollination and plant density. *Science*, 331(6020), 1068-1071.
- BirdLife International. (2008). State of the world's birds: indicators for our changing world. *Birdlife International*.
- BirdLife International. (2014). The BirdLife checklist of the birds of the world: Version 7.
- Internafional, B. (2015). European Red List of Birds. *Luxembourg: Office for Official Publicafions of the European Communities*.
- Biricik, M., & Karakas, R. (2012). Birds of Hasankeyf (south-eastern Anatolia, Turkey) under the threat of a big dam project. *Natural Areas Journal*, 32(1), 96-105.
- Çelik, E. (2018). Batman ili ornitofaunası. *Doğu Fen Bilimleri Dergisi*, 1(2), 1-10.
- Danford, C. G. (1880). A further contribution to the ornithology of Asia Minor. *Ibis*, 4(4), 81-99.
- Dobinson, H. M. (1976). *Bird count: a practical guide to bird surveys*. Penguin Group.
- Eken, G. (Ed.). (2006). Türkiye'nin önemli doğa alanları.
- Erdoğan, E. (2001). A study on the ornithofauna of Doğançı Pond in Alpu-Eskişehir. *Turkish Journal of Zoology*, 25(2), 105-109.

- Gill, F., Donsker, D., & Rasmussen, P. (2020). IOC World Bird List. Version 10.1. *Website: www.worldbirdnames.org*.
- Hagemeyer, W. J., & Blair, M. J. (1997). The EBCC atlas of European breeding birds. *Poyser, London, 479*.
- Kasperek, M., & Bilgin, C. C. (1996). Kuşlar (Aves). *Türkiye omurgalılar tür listesi. TÜBITAK, Ankara, pp27–87*.
- Kirwan, G. M., Martins, R. P., Eken, G., & Davidson, P. (1998). Checklist of the Birds of Turkey: OSME Sandgrouse Supplement 1, 32p.
- Kızıroğlu, İ. (2008). Türkiye kuşları tür listesi ve Türkiye kuşları kırmızı listesi. *Hacettepe Üniversitesi, Çevre Eğitimi, Kuş Araştırmaları ve Halkalama Merkezi, Ankara*.
- Kızıroğlu, İ. (2009). Türkiye kuşları, *The pocket book for Birds of Türkiye. Ankamat Matbaacılık, Ankara, 534*.
- Kızıroğlu, İ., Erdoğan, A., & Turan, L. (2013). Biological diversity and its threats in Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin, 22(3), 770-778*.
- Perktaş, U. (2017). Anadolu Bozkırları ve Bozkırların Kuşları. *Kebikeç, 211*.
- Sekercioglu, C. H. (2006). Increasing awareness of avian ecological function. *Trends in ecology & evolution, 21(8), 464-471*.
- Lott, C. A. (2002). [Review of *Raptor Migration in Israel and the Middle East: A Summary of 30 Years of Field Research*, by H. Shirihi, R. Yosef, D. Alon, G. M. Kirwan, & R. Spaar] *The Auk, 119(1), 284–288*.
- Thomaidis, C., Papaspyropoulos, K. G., Karabatzakis, T., Logothetis, G., & Christophoridou, G. (2022). European Turtle Dove Population Trend in Greece Using Hunting Statistics of the Past 16-Year Period as Indices. *Animals, 12(3), 368*.<https://doi.org/10.3390/ani12030368>.
- Trakus, (2012). Türkiye'nin anonim kuşları. Retrieved from <http://www.trakus.org/>
- Xu, X., Xie, Y., Qi, K., Luo, Z., & Wang, X. (2018). Detecting the response of bird communities and biodiversity to habitat loss and fragmentation due to urbanization. *Science of the total environment, 624, 1561-1576*.<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.143>.
- Yavuz, N., Yavuz, K. E., & Karataş, A. (2021). Türkiye'nin küresel ölçekte soyu tehlike altındaki kuş türleri. *Doğanın Sesi, (7), 19-39*.

Atf İçin: Zöngür, A. (2023). *Achillea millefolium* (Civanperçemi) Bitkisinin Uçucu Yağlarının Antimikrobiyal ve Antifungal Etkinliğinin Değerlendirilmesi. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 906-913.

To Cite: Zöngür, A. (2023). Evaluation of Antimicrobial and Antifungal Efficacy of Essential Oils of *Achillea millefolium* (Yarrow) Plant. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 906-913.

Achillea millefolium (Civanperçemi) Bitkisinin Uçucu Yağlarının Antimikrobiyal ve Antifungal Etkinliğinin Değerlendirilmesi

Alper ZÖNGÜR^{1*}

Öne Çıkanlar:

- 3 çeşit bakteri ve fungus kullanılarak antibakteriyel ve antifungal etki araştırılmıştır. *A. millefolium* bitkisinin uçucu yağının antimikrobiyal ve antifungal etki göstermiştir

Anahtar Kelimeler:

- *Achillea millefolium*,
- eucalyptol,
- 1,8-sineol,
- uçucu yağlar

ÖZET:

Tıbbi aromatik bitkiler binlerce yıldır ilaçların ana kaynağı ve sistematik geleneksel ilaçların temeli olarak kullanılmaktadır. Tıbbi aromatik bitkiler arasında çeşitli hastalıkların tedavisinde en yaygın kullanılan bitkilerden birisi *Asteraceae* familyasında bulunan *Achillea sp.* türleridir. *Achillea* türlerinin en bilinen bitkisi *A. millefolium*'dur. *A. millefolium* çeşitli cilt rahatsızlıklarını ve sindirim bozukluklarını tedavi etmek için kullanılır. Tıbbi kullanımlarına ilaveten kozmetik ve veterinerlik alanında da kullanılmaktadır. Monoterpen 1,8-sineol iyi bilinen bir terpenoit oksittir ve ayrıca klinik etki için ilgili bir anlamı olan diğer uçucu yağların bileşenidir. Anti-inflamatuvar, antioksidan, serbest radikal süpürücü, mukolitik/sekretolitik, bronkodilatör, antiviral ve antimikrobiyal etkileri de dâhil olmak üzere birçok biyolojik aktivitesi bilinmektedir. Bu çalışma, Sivas'ta yetişen *Achillea millefolium* (civanperçemi) bitkisinin uçucu yağ bileşimi miktarını değerlendirmek amacıyla yapılmıştır. Çalışmada bitkinin uçucu yağ içeriği tespit edilmiş ve 1,8-sineol (%19.33) bileşiğinin *Achillea millefolium* bitkisinde bulunan diğer uçucu yağlardan yüksek olduğu belirlenmiştir. Çalışmalarda, bitki uçucu yağı analizi için Gaz Kromatografisi (GC-MS) kullanılmıştır. Bitkide, baskın olarak 15 adet uçucu yağ bileşeni belirlenmiştir ve yazımızda detaylı olarak sunulmuştur. Ayrıca, bitki uçucu yağının antimikrobiyal ve antifungal özelliği belirlenmiştir. *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhimurium* türlerinin inhibisyon çapları sırası ile 0.891, 0.763 ve 0.529 mm olarak bulunmuştur. Benzer şekilde, *Aspergillus flavus*, *Fusarium solani* ve *Penicillium digitatum* karşı uçucu yağın engelleme oranı sırasıyla %34.91, %21.47 ve %23.08 olarak bulunmuştur.

Evaluation of Antimicrobial and Antifungal Efficacy of Essential Oils of *Achillea millefolium* (Yarrow) Plant

Highlights:

- Antibacterial and antifungal effects were investigated using 3 types of bacteria and fungi. *A. millefolium* essential oil plant has antibacterial and antifungal effects.

Keywords:

- *Achillea millefolium*,
- eucalyptol,
- 1,8-cineole,
- essential oils

ABSTRACT:

Medicinal aromatic plants have been used for thousands of years as the main source of medicines and the basis of systematic traditional medicines. *Achillea sp.*, which is in the *Asteraceae* family, is one of the most widely used medicinal and aromatic plants for the treatment of various diseases. The most well-known plant of the *Achillea* species is *A. millefolium*. *A. millefolium* is used to treat a variety of skin conditions and digestive disorders. In addition to its medicinal uses, it is also used in the field of cosmetics and veterinary medicine. Monoterpene 1,8-cineol is a well-known terpenoid oxide and is also a component of other essential oils with a relevant relevance for clinical effects. Many biological activities are known, including anti-inflammatory, antioxidant, free radical scavenger, mucolytic/secretolytic, bronchodilator, antiviral and antimicrobial effects. This study was carried out to evaluate the essential oil composition of the *Achillea millefolium* (yarrow) plant grown in Sivas. In the study, the essential oil content of the plant was determined and it was determined that the 1,8-cineol (19.33%) compound was higher than the other essential oils found in the *Achillea millefolium* plant. In the studies, Gas Chromatography (GC-MS) was used for plant essential oil analysis. In the plant, 15 essential oil components were determined and presented in detail in our article. In addition, the antimicrobial and antifungal properties of the essential oil of the plant were determined. Inhibition diameters of *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, and *Salmonella typhimurium* species were found to be 0.891, 0.763, and 0.529 mm, respectively. Similarly, the inhibition rate of essential oil against *Aspergillus flavus*, *Fusarium solani*, and *Penicillium digitatum* was found to be 34.91%, 21.47%, and 23.08%, respectively.

¹Alper ZÖNGÜR (Orcid ID: 0000-0003-4946-3199), Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Gemerek Meslek Yüksekokulu, Kimya ve Kimyasal İşleme Bölümü, Sivas, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Alper ZÖNGÜR, e-mail: bzongur@cumhuriyet.edu.tr

GİRİŞ

Tıbbi ve aromatik bitkiler, topraküstü (bitkinin tamamı veya yaprak, gövde, çiçek, tohum) ve toprak altı (kök, rizom, stolon, soğan, yumru gibi) aksamalarında taşıdığı maddeler sayesinde gıdalara lezzet katan koruyucu ve tıbbi özellikleri nedeniyle eski çağlardan beri kullanılmaktadır. Biyolojik olarak içerdikleri aktif bileşikler açısından zengin ve önemli doğal kaynaklardır. İçerdikleri bu fitokimyasallardan dolayı antibakteriyel, antifungal, antiviral, insektisidal ve antioksidan özelliklere sahiptirler (Kordali ve ark., 2005; Sharopov ve ark., 2015; Parham ve ark., 2020; Wani ve ark., 2021). Bakterilerin antibiyotiklere karşı direncinin artmasıyla birlikte, farklı ekstraktların bir dizi bakteriye karşı antimikrobiyal etkilerinin araştırılmasına ve enfeksiyon kontrolü veya gıdaların korunması için yararlı diğer sınıf antimikrobiyal ajanların geliştirilmesine yönelik kayda değer bir ilgi olmuştur (Nostro ve ark., 2000). Bu nedenle, genellikle insan sağlığı için daha az toksik oldukları ve herhangi bir yan etkisi olmadığı için bitki uçucu yağların kullanımının önemi artmıştır.

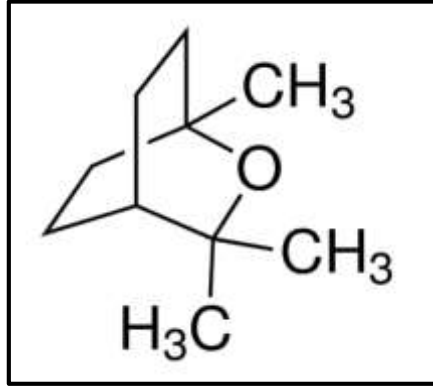
Achillea millefolium (civanperçemi), Avrupa ve Batı Asya'ya özgü, ancak Kuzey Amerika dâhil çoğu ılıman bölgede yaygın olarak yetişen *Asteraceae* familyasına ait çok yıllık otsu bir bitkidir (Şekil 1). Türkiye'de yaklaşık 40 türü mevcut olup, farklı bölgelerde geniş bir yayılım göstermektedir (Baytop, 1999). Avrupa Farmakopesi (EP) 2'ye göre *A. millefolium* bütün veya kesilmiş, kurutulmuş çiçekli sürgünleri ~%0,2 daha az olmayan uçucu yağ içerir. Civanperçemi çeşitli cilt rahatsızlıklarını ve sindirim bozukluklarını tedavi etmek için kullanılır. Tıbbi kullanımlarına ilaveten kozmetik ve veterinerlik alanında da kullanılmaktadır (Bajaj, 1995). Farmakolojik etkileri, çeşitli anti-inflamatuar (kamazulen ve prokamazulenler, vb.), hemostatik (betonikin) ve spazmolitik (flavonoidler) etkilere sahip bileşik gruplarından kaynaklanmaktadır (Evans, 2009).



Şekil 1. *Achillea millefolium* (Civanperçemi) bitkisi

Monoterpen 1,8-sineol (okaliptol), kimyasal olarak çeşitli okaliptüs türlerinin ana bileşeni (%77-84) olarak iyi bilinen bir terpenoit oksittir. Ayrıca, klinik uygulamalarda tamamlayıcı tedavi olarak kullanılabilen *Lavandula spica*, *Salvia officinalis*, *Myrti aetheroleum* bitkilerinin uçucu yağlarının bileşenidir. Okaliptüs yağı birçok çalışmada incelendiği gibi, anti-inflamatuar, antioksidan, serbest radikal süpürücü, mukolitik/sekretolitik, bronkodilatör, antiviral ve antimikrobiyal etkileri de dâhil olmak üzere biyolojik aktiviteleri iyi bilinmektedir (Dhakad ve ark., 2018; Juergens ve ark., 2020; Asif ve ark., 2020). Bu etkiler, antifungal, antiseptik, antispazmodik, analjezik ve antitümör özelliklere sahip olmanın yanı sıra hava yolu hastalıkları için de önemlidir. Bu özelliklerinden dolayı, 1,8-sineol klinik kullanım için standart bir formda kullanılabilir hale getirilebilir (Jnanesha ve ark., 2019). Yapılan bir araştırmada, hayvan deney modellerinde kronik obstrüktif akciğer hastalığının (KOAH) tedavisinde 1,8-sineol'ün potansiyel biyolojik etkileri değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, 1,8-

sineol'ün potansiyel terapötik hedefler olarak, KOAH'ın patofizyolojik yollarının ilgili aracılığı ile etkileşime girdiği ve oksidatif stresi, transkripsiyon moleküllerini ve sitokinlerin ekspresyonunu, hücre adezyon moleküllerini ve nötrofil kemotaksisini, proinflatuar hücreleri, proteazları yeniden şekillendirebildiği belirtilmiştir (de Lima ve ark., 2018).



Şekil 2. Okaliptol (1,8-sineol) kimyasal yapısı

Achillea millefolium, solunum yolları dışında spazmolitik, gaz giderici ve antiinflatuar dâhil olmak üzere çeşitli tıbbi amaçlar için kullanımları nedeniyle önemli tıbbi bitkilerden biridir (Faustino ve ark., 2010). *A. millefolium*'un fitokimyasal bileşenlerinin araştırılması, potansiyel farmasötik değeri olan terapötik ajanların belirlenmesi için önemlidir (Pandith, 2012; Aminkhani ve ark., 2020). Uçucu yağların içerisinde çok çeşitli kimyasal bileşikler olduğu bilinmektedir. En çok bulunan kamazulen, germakren D, sabinen, β -karyofilen, kafur, β -simen, bornil asetat, kampen, β -pinen, 1,8-sineol, limonen, γ -terpinen, karyofilen oksit, abisabolol, β -eudesmol ve α -felandren bileşenleridir (Stevanovic ve ark., 2015). *A. millefolium* türlerinin uçucu yağ miktarları yetiştiği bölgesel ekolojik koşullara bağlı olarak değişmekle birlikte genelde uçucu yağ içeriği %1'den fazladır. Uçucu yağdaki α ve β -pinen, sabinen, 1,8-sineol, kafur, karyofilen ve kamazulenin nispi miktarları, *Achillea millefolium* bitkisi için ayırt edici kriterler olarak söylenebilir.

MATERYAL VE METOT

Achillea millefolium Bitkisinin Toplanması

A. millefolium 2022 Ağustos ayında Sivas Gürün ilçe sınırları içinde 38°73'80" doğu boylamları ile 37°24'12" kuzey enlemleri arasında 1862 m rakıma sahip Hezanlı Dağı çevresinden toplandı. Toplanan örneklerin tür tanımlaması Davis'in Türkiye florasına göre yapıldı (Davis ve ark., 1988). Sonrasında, bitki örnekleri oda sıcaklığında kurutulmaya bırakıldı ve kurutulan örnekler çalışmanın tüm aşamalarında kullanıldı.

Uçucu Yağ Eldesi

Çalışmaların tamamı cam bir Clevenger tipi aparat ve sıcaklık sensörü kullanılarak gerçekleştirildi. 100 g bitki içeren (herba kısımları) balon, balon ısıtıcının üzerine yerleştirilip Clevenger aparatı takıldı. 100 °C sıcaklıkta 180 dakika boyunca hidrodistilasyona tabi tutuldu. Ekstrakte edilen uçucu yağlar, bir sonraki analize kadar buzdolabında (4°C) muhafaza edildi.

Uçucu Yağın Kimyasal Bileşiminin Belirlenmesi

Kimyasal analizi gaz kromatografisi (Agilent Technologies 7890) ile gerçekleştirildi. Kapiler kolon olarak %95 metilpolisiloksan ve %5 fenil ile kaplanmış apolar HP-5 kullanıldı (30m x 0.25

mm). Taşıyıcı gaz olarak Helyum kullanıldı (0.8mL/dak). Sıcaklık aralığı, 4°C/dk'da 60 ila 280°C arasında tasarlandı. Enjektör ve GC/MS ara yüzünün sıcaklıkları sırasıyla 290°C ve 300°C'de tutuldu. Dedektör ve iyon kaynağının sıcaklıkları sırasıyla 150 ve 250°C'de tutuldu.

A. millefolium Bitkisinin Antimikrobiyal Etkinliğinin Belirlenmesi

Çalışmada, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhimurium* türlerinin kültürleri Erciyes Üniversitesi Mikrobiyoloji laboratuvarlarından alındı. Bakteri kültürleri, Nutrient Broth (NB) sıvı besi yeri kullanılarak inkübatör de (37 °C) yapıldı. Antimikrobiyal tarama için agar kuyu difüzyon yöntemi kullanıldı. Plate Count Agar besi yerine kuyular (6 mm çapında) açıldı ve içerisine 200 µl uçucu yağ solüsyonu eklendi. 24 saat inkübasyondan sonra inhibisyon zonları mm cinsinden ölçüldü. Tüm testler kontrol grupları ile birlikte 3 tekrarlı olarak yapıldı ve ortalamaları alındı.

A. millefolium Bitkisinin Antifungal Etkinliğinin Belirlenmesi

Çalışmada, *Aspergillus flavus*, *Fusarium solani* ve *Penicillium digitatum* türleri kullanılmıştır. Antifungal tarama için Potato Dextrose Agar (PDA) besi yeri kullanıldı. Fungus izolatları PDA'ya aktarılarak oda sıcaklığında (28 °C) 7 gün inkübe edildi. Karakteristik fungus büyümesi, morfolojileri ve spor düzenlemeleri ile mikroskopik gözlem yoluyla tanımlandı. Daha sonra, hazırlanan besi yerinin içerisine 500 µl uçucu yağ eklendi ve besi yerinde bulunan fungusların büyüme çapları ölçüldü. Yapılan testler 3 tekrarlı olarak yapıldı ve ortalamaları alındı.

BULGULAR VE TARTIŞMA

A. millefolium uçucu yağları GC ile analiz edilmiş ve kromatogramlar incelenmiştir. İnceleme sonucunda *A. millefolium* bitkisinin uçucu yağının 1,8-sineol bileşiğine yüksek oranda sahip (%19.33) olduğu görülmüştür. Bu durum Sivas bölgesinde yetişen *A. millefolium* bitkisinin uçucu yağlarının ana bileşeninin 1,8-sineol olduğunu göstermiştir. Ayrıca uçucu yağ içeriğinde α -pinen (%5.53), kampen (%1.58), sabinen (%5.27), β -pinen (%6.42), β -mirsen (%3.16), α -felandren (%12.47), limonen (%4.97), kafur (%11.87), borneol (%1.65), α -terpineol (%2.33), γ -muurolen (%1.26), α -kadinen (%3.87), kamazulen (%12.22), karyofilen oksit (%4.91) gibi uçucu yağlarında varlığı belirlenmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. *Achillea millefolium* uçucu yağlarının kimyasal bileşimi (%)

Uçucu yağlar	(%) miktar	Uçucu yağlar	(%) miktar
α -pinen	5.53	kafur	11.87
kampen	1.58	borneol	1.65
sabinen	5.27	α -terpineol	2.33
β -pinen	6.42	γ -muurolen	1.26
β -mirsen	3.16	α -kadinen	3.87
α -felandren	12.47	kamazulen	12.22
limonen	4.97	karyofilen oksit	4.91
1,8-sineol	19.33	Diğerleri	3.16
Toplam			96.84

Yapılan çalışmalarda, *Achillea millefolium* uçucu yağının bileşimindeki değişikliklerin, seskiterpenlere bağlı olarak artan monoterpen miktarları ile bitkinin olgunlaşmasıyla ilgili olduğu rapor edilmiştir. 1,8-sineol, kafur ve α -terpinol, diğer birçok *Achillea* türünde ana uçucu yağ bileşikleri olarak bulunmuştur (Rohloff ve ark., 2000). İncelenen uçucu yağ, diğer coğrafi kökenli *Achillea millefolium* bitkilerinden gözlemlenenlerden farklı kimyasal profil sergilemiştir. Küba'da yetişen

Achillea millefolium uçucu yağının %20 oranında karyofilen oksit içerdiği, Rusya'da yetişen *Achillea millefolium* uçucu yağının yüksek seskiterpenler ile karakterize edildiği, yüksek miktarda kamazulen ve β - karyofilen içerdiği bildirilmiştir (Orav ve ark., 2006; Ahmadi ve ark., 2017). Benzer şekilde, *Achillea millefolium* bitkisinde bulunan uçucu yağlar üzerine birçok araştırma yapılmıştır. Uçucu yağların kimyasal bileşimini belirlemek için GC-MS kullanılan bir çalışmada uçucu yağların antioksidan aktivitesi ve antimikrobiyal aktivitesi değerlendirilmiş ve 43 uçucu bileşik tanımlanmıştır. Başlıca, kafur (%12.8), germakren (%12), nerolidol (%7.3), sabinen (%6.7) ve 1,8-sineol (%4) bileşikleri bulunmuştur. Ek olarak, mikroorganizmalara (bakteri ve mantarlar) karşı inhibitör bir etki olduğu belirtilmiştir (El-Kalamouni ve ark., 2017). Benzer bir çalışmada, *Achillea millefolium* uçucu yağ içeriği ve bileşimi değerlendirilmiştir. Bitkinin uçucu yağ içeriği $0,70 \pm 0,05$ olarak belirtilmiştir. Baskın bileşenlerin ise sabinen (%17.58), 1,8-sineol (%13.04), borneol (%12.41), bornil asetat (%7.98), β -pinen (%6.28), terpinen ve kamazulen (%5.28) olduğu bildirilmiştir (Nadim ve ark., 2011). Türkiye kökenli *Achillea millefolium*'un uçucu yağındaki seskiterpen fraksiyonu dikkate değer miktarlarda bulunmuştur, ancak niteliksel olarak yukarıda belirtilenden farklı olduğu görülmüştür. Çalışmamızda, Sivas bölgesinde yetişen bitkilerin uçucu yağ bileşeninde yüksek miktarda 1,8-sineol tespit edilmiştir. Benzer şekilde *Achillea millefolium* bitki uçucu yağları üzerine yapılan bir çalışmada, uçucu yağların ana bileşeninde 1,8-sineol'ün (%14.4 ve %8.2) yüksek miktarda olduğu bildirilmiştir (Azarnivand ve ark., 2010).

Çalışmamızda, *Achillea millefolium* uçucu yağının antimikrobiyal aktivitesi, üç bakteri türüne (*Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhimurium*) karşı değerlendirilmiştir. Uçucu yağın farklı bakteri türlerine karşı farklı antimikrobiyal aktivite gösterdiği belirlenmiştir. Çizelge 2'de görüldüğü gibi *E. coli*, *S. aureus* ve *S. typhimurium* türlerinin inhibisyon çapları sırası ile 0.891 mm, 0.763 mm ve 0.529 mm olarak bulunmuştur. Uçucu yağın en yüksek aktivite gösterdiği bakteri türü *E. coli* olarak belirlenirken, en az etkiyi ise *S. typhimurium* türüne karşı gösterdiği bulunmuştur.

Çizelge 2. *Achillea millefolium* uçucu yağının meydana getirdiği inhibisyon çapları

Bakteri Türleri	İnhibisyon Çapı (mm)
<i>Escherichia coli</i>	0.891 \pm 0.037
<i>Staphylococcus aureus</i>	0.763 \pm 0.042
<i>Salmonella typhimurium</i>	0.529 \pm 0.028

Uçucu yağların antimikrobiyal aktiviteleri çalışmalarda birçok mikroorganizmaya karşı ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Bir çalışmada, *Clostridium perfringens*, *Acinetobacter lwoffii* ve *Candida albicans* üzerinde 1,8-sineol'ün ana antimikrobiyal bileşen olarak inhibitör etkiler sergilediği belirtilmiştir (Ünlü ve ark., 2002). Benzer şekilde, 1,8-sineol'ün, *Staphylococcus aureus* ve *Pseudomonas aeruginosa*'ya karşı önemli derecede yüksek bir antimikrobiyal aktivite gösterdiği bildirilmektedir (Jirovetz ve ark., 2005). Çalışmamız sonucunda, 1,8-sineol'ün zar geçirgenliğini değiştirerek, proteinleri denatüre ederek veya enzimleri inhibe ederek çeşitli patojenleri etkileyebilen inhibisyon mekanizmalarına sahip olabileceği dolayısı ile antimikrobiyal özellik gösterebileceği düşünülmektedir (Sırıken ve ark., 2018).

Çalışmamızda ayrıca, bitkinin uçucu yağının antifungal etkisi üç fungus türüne (*Aspergillus flavus*, *Fusarium solani* ve *Penicillium digitatum*) karşı değerlendirilmiştir. Uçucu yağın *A. flavus*, *F. solani* ve *P. digitatum* türlerine karşı sırasıyla %34.91, %21.47 ve %23.08 engelleme oranına sahip olduğu bulunmuştur (Çizelge 3).

Çizelge 3. *Achillea millefolium* uçucu yağının funguslar üzerindeki inhibisyon oranları

Fungus Türleri	Büyüme Çapı (mm)		Engelleme Oranı (%)
	Kontrol	Örnek	
<i>Aspergillus flavus</i>	4.84	3.15	34.91
<i>Fusarium solani</i>	5.82	4.57	21.47
<i>Penicillium digitatum</i>	6.41	4.93	23.08

Yapılan çalışmalarda 1,8-sineol'ün antimikrobiyal etkisinin yanında antifungal etki de gösterdiği belirtilmiştir. *Fusarium* sp. türlerine karşı 1,8-sineol'ün 2.15 mm'lik bir inhibisyon etkisine sahip olduğu, benzer şekilde bir çalışmada 1,8-sineol'ün %24.8'lik bir engelleme oranına sahip olduğu gösterilmiştir (Kottearachchi ve ark., 2012; Ouassil ve ark., 2021). *Aspergillus* sp. türlerine karşı 1,8-sineol'ün etkinliği üzerine yapılan bir çalışmada %19.24'lik bir engelleme oranı bildirilmiştir (Mssillou ve ark., 2020). Çalışmamızda, büyüme inhibisyonu her üç fungus için de etkili bulunmuş ve bu gerçek, anti-fungal aktivitenin esas olarak bitkinin 1,8-sineol aktivitesinden kaynaklanabileceği varsaymamıza sebep olmuştur. Özellikle, uçucu yağların ve bileşenlerinin önemli bir özelliği hidrofobik olmalarıdır. Bu özellik fungus hücre zarı ve mitokondri zarı lipitlerinde bölünmelere yol açarak yapılarını bozabilir ve daha geçirgen hale getirebilir (Kumar ve ark., 2008).

SONUÇ

Çalışmamızda, Sivas bölgesinde yetişen bitkilerin uçucu yağ bileşeninde yüksek miktarda 1,8-sineol tespit edilmiştir. Okaliptüs türü olan bitkilerin uçucu yağ bileşeninde bol olarak bulunan 1,8-sineol (%74) okaliptüs türü bitkilerden az olmak kaydıyla *Achillea millefolium* bitkisinde de (%19.33) önemli derecede bulunmuştur. Ayrıca çalışma sonucunda bitkinin uçucu yağının antimikrobiyal ve antifungal özellik göstererek test edilen tüm türlerin büyümesini inhibe ettiği görülmüştür. Çalışmamızda elde edilen verilerin gelecekteki biyoteknolojik, biyolojik çeşitlilik, farmasötik ve tıbbi çalışmalar için kaynak olabileceği düşünülmektedir.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

- Ahmadi-Dastgerdi, A., Ezzatpanah, H., Asgary, S., Dokhani, S., & Rahimi, E. (2017). Phytochemical, Antioxidant and Antimicrobial Activity of the Essential Oil from Flowers and Leaves of *Achillea millefolium* subsp. *millefolium*. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 20(2), 395-409.
- Aminkhani, A., Sharifi, S., & Ekhtiyari, S. (2020). *Achillea filipendulina* Lam.: Chemical constituents and antimicrobial activities of essential oil of stem, leaf, and flower. *Chemistry & Biodiversity*, 17(5), e2000133.
- Asif, M., Saleem, M., Saadullah, M., Yaseen, H. S., & Al Zarzour, R. (2020). COVID-19 and therapy with essential oils having antiviral, anti-inflammatory, and immunomodulatory properties. *Inflammopharmacology*, 28, 1153-1161.
- Bajaj, Y. P. S. (1995). Cryopreservation of germplasm of medicinal and aromatic plants. *Cryopreservation of Plant Germplasm I*, 419-434.
- Baytop, T. (1999). *Türkiye'de bitkiler ile tedavi: geçmişte ve bugün*. Nobel Tıp Kitabevleri.

- Davis, P., & Miller, R. (1988). *Flora of Turkey, Volume 10* (Vol. 1). Edinburgh University Press.
- de Lima Gondim, F., dos Santos, G. R., do Nascimento, I. F. M. G., Serra, D. S., & Cavalcante, F. S. A. (2018). Beneficial effects of eucalyptol in the pathophysiological changes of the respiratory system: a proposal for alternative pharmacological therapy for individuals with COPD. *Eur J Med Plants*, 25(1), 1-10.
- Dhakad, A. K., Pandey, V. V., Beg, S., Rawat, J. M., & Singh, A. (2018). Biological, medicinal and toxicological significance of Eucalyptus leaf essential oil: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(3), 833-848.
- El-Kalamouni, C., Venskutonis, P. R., Zebib, B., Merah, O., Raynaud, C., & Talou, T. (2017). Antioxidant and antimicrobial activities of the essential oil of *Achillea millefolium* L. grown in France. *Medicines*, 4(2), 30.
- Evans, W. C. (2009). *Trease and Evans' pharmacognosy*. Elsevier Health Sciences.
- Faustino, T. T., Almeida, R. B. D., & Andreatini, R. (2010). Medicinal plants for the treatment of generalized anxiety disorder: a review of controlled clinical studies. *Brazilian Journal of Psychiatry*, 32, 429-436.
- Jirovetz, L., Buchbauer, G., Denkova, Z., Stoyanova, A., Murgov, I., Schmidt, E., & Geissler, M. (2005). Antimicrobial testinas and gas chromatographic analysis of pure oxvaenated monoterpenes 1.8-cineole, α -terpineol, terpinen-4-ol and camphor as well as target comouounds in essential oils of pine (*Pinus pinaster*), rosemary (*Rosmarinus officinalis*), tea tree (*Melaleuca alternifolia*). *Scientia pharmaceutica*, 73(1), 27-39.
- Jnanasha, A. C., Ashish, K., & Vanitha, T. K. (2019). Variation in the yield and chemical composition of eucalyptus species (Nilagiri) under different agro climatic condition of India. *Int J Herbal Med*, 7(1), 04-7.
- Juergens LJ, Worth H, Juergens UR, 2020. New perspectives for mucolytic, anti-inflammatory and adjunctive therapy with 1, 8-cineole in COPD and asthma: review on the new therapeutic approach. *Advances in therapy*, 37(5), 1737-1753.
- Kordali, S., Kotan, R., Mavi, A., Cakir, A., Ala, A., & Yildirim, A. (2005). Determination of the chemical composition and antioxidant activity of the essential oil of *Artemisia dracunculus* and of the antifungal and antibacterial activities of Turkish *Artemisia absinthium*, *A. dracunculus*, *Artemisia santonicum*, and *Artemisia spicigera* essential oils. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(24), 9452-9458.
- Kottarachchi, N. S., Sammani, A., Kelaniyangoda, D. B., & Samarasekara, R. (2012). Anti-fungal activity of essential oils of Ceylon Eucalyptus species for the control of *Fusarium solani* and *Sclerotium rolfsii*. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 45(17), 2026-2035.
- Kumar, A., Shukla, R., Singh, P., Prasad, C. S., & Dubey, N. K. (2008). Assessment of *Thymus vulgaris* L. essential oil as a safe botanical preservative against post harvest fungal infestation of food commodities. *Innovative food science & emerging technologies*, 9(4), 575-580.
- Mssillou, I., Agour, A., El Ghouizi, A., Hamamouch, N., Lyoussi, B., & Derwich, E. (2020). Chemical composition, antioxidant activity, and antifungal effects of essential oil from *Laurus nobilis* L. flowers growing in Morocco. *Journal of Food Quality*, 2020, 1-8.
- Nadim, M. M., Malik, A. A., Ahmad, J., & Bakshi, S. K. (2011). The essential oil composition of *Achillea millefolium* L. cultivated under tropical condition in India. *World J Agric Sci*, 7(5), 561-565.

- Nostro, A., Germano, M. P., D'angelo, V., Marino, A., & Cannatelli, M. A. (2000). Extraction methods and bioautography for evaluation of medicinal plant antimicrobial activity. *Letters in applied microbiology*, 30(5), 379-384.
- Orav, A., Arak, E., & Raal, A. (2006). Phytochemical analysis of the essential oil of *Achillea millefolium* L. from various European Countries. *Natural product research*, 20(12), 1082-1088.
- Ouassil, M., Mohamed Abdoul-Latif, F., Attahar, W., Ainane, A., & Ainane, T. (2021). Chemical composition of bay laurel and rosemary essential oils from morocco and their antifungal activity against fusarium strains. *Pharmacologyonline*, 2, 426-433.
- Pandith, J. I. (2012). Phytochemical screening of certain plant species of Agra city. *Journal of drug delivery and therapeutics*, 2(4).
- Parham, S., Kharazi, A. Z., Bakhsheshi-Rad, H. R., Nur, H., Ismail, A. F., Sharif, S., ... & Berto, F. (2020). Antioxidant, antimicrobial and antiviral properties of herbal materials. *Antioxidants*, 9(12), 1309.
- Rohloff, J., Skagen, E. B., Steen, A. H., & Iversen, T. H. (2000). Production of yarrow (*Achillea millefolium* L.) in Norway: essential oil content and quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(12), 6205-6209.
- Sharopov, F., Braun, M. S., Gulmurodov, I., Khalifaev, D., Isupov, S., & Wink, M. (2015). Antimicrobial, antioxidant, and anti-inflammatory activities of essential oils of selected aromatic plants from Tajikistan. *Foods*, 4(4), 645-653.
- Sırıken, B., Yavuz, C., & Güler, A. (2018). Antibacterial Activity of *Laurus nobilis*: A review of literature. *Medical Science and Discovery*, 5(11), 374-379.
- Stevanovic, Z. D., Pljevljakušić, D., Ristic, M., Šoštarić, I., Kresovic, M., Simic, I., & Vrbničanin, S. (2015). Essential oil composition of *Achillea millefolium* agg. populations collected from saline habitats in Serbia. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 18(6), 1343-1352.
- Ünlü, M., Daferera, D., Dönmez, E., Polissiou, M., Tepe, B., & Sökmen, A. (2002). Compositions and the in vitro antimicrobial activities of the essential oils of *Achillea setacea* and *Achillea teretifolia* (Compositae). *journal of ethnopharmacology*, 83(1-2), 117-121.
- Wani, A. R., Yadav, K., Khursheed, A., & Rather, M. A. (2021). An updated and comprehensive review of the antiviral potential of essential oils and their chemical constituents with special focus on their mechanism of action against various influenza and coronaviruses. *Microbial Pathogenesis*, 152, 104620.

Atf İçin: Kaan, D., (2023). Adipoz Doku Kaynaklı Ekstrasellüler Veziküllerin Meme Kanseri Hücreleri Üzerine Apoptotik Etkisi. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 914-924.

To Cite: Kaan, D., (2023). Apoptotic Effect of Adipose Tissue-Derived Extracellular Vesicles on Breast Cancer Cells. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 914-924.

Adipoz Doku Kaynaklı Ekstrasellüler Veziküllerin Meme Kanseri Hücreleri Üzerine Apoptotik Etkisi

Dilek KAAAN^{1,2}

Öne Çıkanlar:

- Mezenkimal kök hücre
- Eksozom
- Apoptozis

Anahtar Kelimeler:

- Meme kanseri
- Adipoz doku kaynaklı eksozom
- Presipitasyon metot
- Apoptozis

ÖZET:

Meme kanseri, en yaygın küresel malignitedir ve kansere bağlı ölümlerin ikinci önde gelen nedenidir. Meme kanserinin erken teşhis edilmesi, farklı tedavi yöntemleri ile tedavi başarı oranını yükseltmektedir. Ancak ilerleyen evrelerde ise hem tedavi başarı oranı düşmektedir hem de güncel tedavi yöntemlerinden kemoterapi veya radyoterapinin uygulanmasının hastaya yan etkileri de olabilmektedir. Bu nedenle kişiye özel, yan etkinin olmadığı tedavi modellerini bulmak gerekir. Eksozomlar doğal nanopartiküller olup, aynı zamanda hücreler arası iletişimde önemli roller oynayan, çok çeşitli lipidler, proteinler, metabolitler, RNA'lar ve DNA'lar içeren küçük hücre dışı veziküller olarak bilinirler. Bu çalışmanın amacı, adipoz doku kaynaklı mezenkimal kök hücrelerden presipitasyon yöntemi ile elde edilen eksozomların (AD-Ekso) insan meme kanseri hücre hattı, MCF-7, ve meme epitel hücre hattı, MCF10A, üzerinde farklı konsantrasyonlarda Annexin V/PI metodu kullanılarak apoptotik etkilerinin araştırılmasıdır. Erken apoptotik, geç apoptotik, canlı ve ölü hücreler, her iki hücre hattında 24, 48 ve 72 saat boyunca farklı 40×10^{10} , 20×10^{10} ve 10×10^{10} AD-Ekso/mL konsantrasyonları ile muamele edilerek MCF-7 gruplarında toplam yüzde total apoptotik etkileri 24 saat için 40×10^{10} /AD-Ekso/mL'de 58.817 ± 4.2 , 48 saat için 20×10^{10} /AD-Ekso/mL'de 56.37 ± 9 ve 72 saat için 20×10^{10} AD-Ekso/mL'de 70.9 ± 4.1 'dir. AD-Ekso verilen MCF-7 hücre grupları hem kendi aralarında hem de AD-Ekso uygulanmayan MCF-7 hücre grupları ve MCF10A hücre grupları ile karşılaştırıldığında zaman ve doza bağlı olarak aradaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0.05$). MCF10A ve MCF-7 kontrol grupları değerlendirilmiş ve anlamlı bir fark gözlenmemiştir ($p > 0.05$). Sonuç olarak, eksozomlar kanser hücrelerinde apoptozu indükleyerek kanser tedavisinde potansiyel kapasiteye sahip olabilir.

Apoptotic Effect of Adipose Tissue-Derived Extracellular Vesicles on Breast Cancer Cells

Highlights:

- Mesenchymal stem cell
- Exosome
- Apoptosis

Keywords:

- Breast cancer
- Adipose tissue derived exosomes
- Precipitation methods
- Apoptosis

ABSTRACT:

Breast cancer is the most common global malignancy and the second leading cause of cancer death. Early diagnosis of breast cancer increases the success rate of treatment with different treatment methods. However, in the advancing stages, both the treatment success rate decreases, and the application of chemotherapy or radiotherapy, which is one of the current treatment methods, may also have side effects on the patient. Therefore, it is necessary to find that personalized treatment models do not have side effects. Exosomes are natural nanoparticles and are also known as small extracellular vesicles which play important roles in intercellular communication, containing a wide variety of lipids, proteins, metabolites, RNAs and DNAs. This study aimed to investigate the apoptotic effects of exosomes obtained from an adipose tissue-derived mesenchymal stem cell (AT-Exo) by precipitation method on human breast cancer MCF-7 and breast epithelial MCF10A at different concentrations by using Annexin V & Dead Cell method. Early apoptotic, late apoptotic, live and dead cells have been evaluated by Annexin V-FITC/PI staining in both cell lines and have found that the percentage of total apoptotic $58.817 \pm 4.2\%$, $56.37 \pm 9\%$, $70.9 \pm 4.1\%$ in the 40×10^{10} , 20×10^{10} ve 10×10^{10} AT-Exo mL^{-1} groups for 24h, 48h and 72h respectively. When MCF-7 cell groups given AT-Exo have been compared both among themselves and with MCF-7 and MCF10A cell groups not given AT-Exo, the difference has been statically significant depending on time and dose ($p < 0.05$). MCF10A and MCF-7 control groups have been evaluated, and no significant difference has been observed ($p > 0.05$). In conclusion, exosomes may have the potential capacity in cancer therapy by inducing apoptosis in cancer cells.

^{1,2} Dilek KAAAN ([Orcid ID: 0000-0003-3622-2249](https://orcid.org/0000-0003-3622-2249)), ¹Erciyes Üniversitesi, Genom ve Kök Hücre Merkezi, Kayseri, Türkiye ²Erciyes Üniversitesi, Halil Bayraktar Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Kayseri, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Dilek KAAAN, e-mail: drdlkkaan@gmail.com

Makale 23-25 Kasım 2022 tarihinde online düzenlenen "5th International Eurasian Conference on Biological and Chemical Sciences (EurasianBioChem 2022) kongresi 'nde" sözlü olarak sunulmuştur.

Etik Kurul Onayı / Ethics Committee Approval: Bu çalışmanın in vitro çalışma yöntemi olup, hazır ticari hücre hatlarının kullanılması nedeniyle çalışmanın doğası gereği herhangi bir etik kurul onayı uygulanamaz.

GİRİŞ

Kök hücreler, insan vücudunun özelleşmemiş hücreleridir. Bir organizmanın herhangi bir hücresine farklılaşabilir ve kendini yenileme yeteneğine sahiptirler. Kök hücreler hem embriyolarda hem de yetişkin hücrelerde bulunur. Kök hücre çeşitleri basit izolasyon prosedürleri ve kültürde yüksek proliferatif yetenekleri (Wankhade ve ark., 2016), düşük immünojenisite ve immünosupresif özellikleri, uzun süreli kültürde daha stabil olmaları, diğerlerine göre daha düşük yaşlanma ve daha fazla çoğalma yetenekleri nedeniyle rejenerasyon tedavileri için uygun bir araçtır (Barone ve ark., 2016). İnsan adipoz dokudan türetilen kök hücreler (iADKH'ler), şartlandırılmış bir ortam kullanılarak uyarılma üzerine farklı hücre soylarına farklılaşabilir. Özellikle, mikro çevreden gelen küçük moleküller veya fiziksel enerjiler, kök hücrenin; kendini yenileme, farklılaşmayı indükleme ve hücre yeniden programlama gibi farklı yolları modüle ederek ve değiştirerek hareket edebilir. (Basoli ve ark., 2017, Santaniello ve ark., 2018). Bu tür bir davranış, yalnızca farklılaşmamış bir kök hücrenin korunmasıyla ilgili değil, aynı zamanda hem hücre çoğalması hem de farklılaşmamış kök hücrelerde yer alan ve ifade edilen oktamer bağlayıcı transkripsiyon faktörü 4 (OCT4), SRY-ilişkili HMG-box (SOX) ailesinin bir üyesi olan SOX2 ve Nanog proteinleri (Nanog homeobox) (Chambers ve Tomlinson 2009) dahil olmak üzere kök genlerine bağlıdır (Shi ve Jin 2010). OCT4, SOX2 ile birlikte somatik hücrelerin in vitro olarak soy spesifikasyonunda ve yeniden programlanmasında rol oynayan önemli bir belirteçdir (Takahashi ve Yamanaka, 2006). Nanog, insan gelişiminin düzenlenmesinde önemli bir rol oynayan bir kök hücre transkripsiyon faktörüdür; hücre çoğalma ve apoptozda yer alır. iADKH'ler, rejeneratif ve estetik/plastik rekonstrüksiyon tıbbında, düzensizliği önceden var olan malignitelere bağlı olmayan, daha çok hipoksik/iskemik, travmatik ve inflamatuvar koşullardan kaynaklanan, alıcının yaralanmış dokularına farklı yöntemlerle nakledilerek yaygın olarak kullanılmaktadır. Adipoz dokudan elde edilmiş mezenkimal kök hücreler (MKH'ler), kök hücrelerin önemli bir dalıdır ve rejeneratif tıp, hücre tedavisi ve doku mühendisliği araştırmalarında umut verici tohum hücreler olarak kabul edilmiştir. Buna göre, MKH'lerden türetilen eksozomlara (MKH-Ekso) dayalı araştırma büyük değere sahiptir. Eksozomlar, multiveziküler hücre zarlarının füzyonu ile oluşan 30-150 nm çapında hücre dışı veziküller (EV)'dir (Gurunathan ve ark., 2019). EV'ler, boyutlarına, biyolojik özelliklerine ve oluşum süreçlerine göre temel olarak eksozomlara, mikro-parçacıklara ve apoptotik cisimlere ayrılır. Hemen hemen tüm hücreler tarafından salınabilirler, hücreden hücreye iletişim yoluyla hedef hücrelere aktarılabilirler ve çeşitli biyolojik işlevleri yerine getirebilirler (Li ve ark., 2019). Biyolojik olarak aktif veziküller olan eksozomlar, biyofarmasötikler ve nanotıp (nano-ilaçlar) özelliklerine sahiptir. Bu nedenle, eksozomlar doğal "biyo-nanotıp" olarak adlandırılabilir (Wei ve ark., 2020). Bu açıdan, MKH-eksozomları potansiyel nano-terapötik ajanlar olarak kabul edilebilir.

Meme kanseri kadınlarda en sık görülen malignitedir. Bu kanser moleküler düzeyde heterojen bir hastalıktır ve insan epidermal büyüme faktörü reseptörü 2'nin (ERBB2 tarafından kodlanan HER2) aktivasyonunu, hormon reseptörlerinin (östrojen ve progesteron reseptörü) aktivasyonunu ve/veya BRCA (Breast Cancer, Meme Kanseri) mutasyonlarını içerir. Uzak organ metastazları olan ilerlemiş meme kanseri, şu anda mevcut tedavilerle tedavi edilemez olarak kabul edilmektedir. Son yıllarda, bu hastalığın tedavi konseptleri, bu moleküler heterojenliği dikkate alarak gelişmiş ve daha çok biyolojik olarak yönlendirilen terapilere ve tedavinin olumsuz etkilerini azaltmak için kimyasal ajanlar ile tedaviyi azaltmaya gidilmiştir (Cardoso ve ark., 2017). Bu çalışmanın amacı, sağlıklı adipoz doku kaynaklı mezenkimal kök hücrelerinden salınan eksozomların (AD-Ekso), HER2 ekspresyon eden meme

kanseri hücre hattı MCF-7 ve meme epitel hücre hattı MCF10A üzerine apoptotik etkilerinin araştırılmasıdır.

MATERYAL VE METOT

Hücre Kültürü

Çalışmada kullanılan hücre hatları (MCF-7 ve MCF10A) Prof. Dr. Servet Özcan tarafından bağışlanmıştır. MCF-7 hücreleri %5 fetal sıgır serum (Fetal bovine serum, FBS) (Biochrom S0113), %1 pen-strep (Lonza DE17-602E), DMEM-High (Dulbecco Minimum Essential Medium) (Lonza BE12-614F) hücre besiyeri (kompleks besiyeri) ortamına yani kütür koşullarına alınarak, 37 °C'de %5 CO₂ içeren inkübatörde inkübe edilmiştir. Her 3 günde bir kompleks besiyeri değiştirilmiştir. Hücre yetiştirme kabının (flask) tabanında hücre yoğunluğu %80-90'a geldiğinde hücreler %0,05 tripsin (Lonza BE17-161F) ile 37°C'de 5 dakika inkübe edilerek hücreler kaldırılmış ve apoptoz testi için hazırlanmıştır. İnsan meme epitel hücre hattı olan MCF10A ise 100 ng/mL kolera toksin (Sigma C8052), 20 ng/mL epidermal büyüme faktörü (EGF) (Sigma E4127), 0,01 mg/mL insülin (PAA F005-045), 500 ng/mL hidrokortizon (Sigma H0888) ve %20 FBS ile takviye edilmiş DMEM/Ham's F-12 (Lonza BE04-687F/U1) kompleks besiyeri 37 °C'de %5 CO₂ içeren inkübatörde inkübe edilmiştir. Her 3 günde bir kompleks besiyeri değiştirilmiştir. Flask tabanında hücre yoğunluğu %90'a geldiğinde hücreler %0,05 tripsin-EDTA ile 37°C'de 5 dakika inkübe edilerek hücreler kaldırılmış ve apoptoz testi için hazırlanmıştır.

Her iki hücre hattı da 6 kuyucuklu flasklara 1x10⁶ hücre olacak şekilde FBS içermeyen kompleks besiyeri ile ekim yapılarak 24 saat boyunca %5 CO₂, 37 °C'de inkübe edilmiştir. 24 saat sonunda MCF10A ve MCF-7 hücrelerine karakterizasyon testleri yapılmış 40x10¹⁰, 20x10¹⁰ ve 10x10¹⁰ AD-Ekso/mL olacak şekilde 24, 48 ve 72 saat boyunca uygulanmıştır.

Adipoz Doku Kaynaklı Mezenkimal Kök Hücreler

Çalışmada kullanılan insan adipoz doku kaynaklı mezenkimal kök hücreler (American Type Culture Collection, ATCC, PCS-500-011), Prof. Dr. Servet Özcan tarafından bağışlanmış ve hazır hücre hattı olması nedeniyle etik onay gerekmemiştir. AD-MKH %5 FBS), %1 pen-strep ve DMEM-Low (Lonza BE12-708F) içeren kompleks besiyeri ortamına yani kütür koşullarına alınarak %5 CO₂, 37 °C'de inkübe edilmiştir. Flask tabanında hücre yoğunluğu %70-80'e geldiğinde kompleks besiyeri atılarak FBS içermeyen kompleks besiyeri ile 48 saat boyunca kültüre edilmiştir. Bu zaman sonunda kompleks besiyeri alınarak eksozom izolasyon aşamasına geçilmiştir.

Mezenkimal Kök Hücrelerden Eksozom İzolasyonu

Adipoz doku kaynaklı MKH'lerden salınan eksozomu izole etmek için çökeltme (presipitasyon) yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntem için System BioSciences firmasına ait eksozom izolasyon kiti EXOTC50A-1-ExoQuick-TC kullanılarak, 48 saat sonra FBS içermeyen kompleks besiyerinden 5 mL alınarak 3000 x g de 15 dk santrifüj edilmiş ve süpernatant kısmı alınmıştır. Süpernatant kısmı steril bir falkona alınarak kompleks besiyerinin beşte biri olacak şekilde kit içeriğinde bulunan eksozom izolasyonunda kullanılan en yaygın polimer olan polietilen glikol (PEG) içerikli eksozom solüsyonu (1 mL) ile çalkalanmış ve +4 °C'de 24 saat boyunca inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonrası yine aynı koşullarda santrifüj edilerek süpernatant kısmı uzaklaştırılmış ve pellet kısmı 600 µL fosfat tamponu (dPBS) (Lonza BE17-513F) ilave edilmiştir ve eksozom karakterizasyonu testlerin yapılacağı zamana kadar -80 °C'de muhafaza edilmiştir.

Eksozom Karakterizasyonu

Eksozomların görüntülenmesi

Eksozomların membran bütünlüğünün kontrol edilmesi ve Image J programı kullanılarak boyutlarının ölçülmesi için 1/1000 dilüsyon oranında fosfat tamponu (PBS) ile seyreltilerek altın kaplama yapılarak kurutulmuş ve optimize edilerek Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope, SEM) (Zeiss GEMINI 500, Almanya) cihazı kullanılarak görüntüleme yapılmıştır. (Brydson ve ark., 2015).

Eksozomların zeta potansiyeli analizi

Eksozomların yüzey yüküne bağlı olan zeta potansiyeli, süspansiyondaki nanopartiküllerin stabilitesi ve ayrıca nanopartiküllerin hücre zarına ilk adsorpsiyonunda ana faktördür. İzole edilen eksozomlar 1/1000 dilüsyon oranı ile fosfat tamponu (PBS) ile seyreltilerek ayrılma ve dağılma stabilitesini belirlemek, elektriksel ve izoelektrik nokta arasında potansiyel farkı için zeta boyutlandırıcı analizörü ile zeta potansiyeli optimize edilerek belirlenmiştir (Rasmussen ve ark., 2020).

Eksozomların nanopartikül izleme analizi

Parçacık boyutu ve konsantrasyonu, lazer ışını aydınlatması altında rastgele dağılan parçacıklardan saçılan ışığın videosu analiz edilerek eksozomların hem boyutları hem de ml'deki sayısı optimize edilerek belirlenmiştir. Boyut dağılım diyagramları, ortalama/mod boyut değerleri ve standart sapmalar nanopartikül izleme analizi (NTA) 3.4 yazılımında hesaplanmıştır (Dragovic ve ark., 2011).

Apoptoz Annexin V/PI boyama

Apoptoz tahlili, üreticinin talimatları izlenerek Anneksin V/ PI yöntemi kullanılarak yapılmıştır (Annexin V-FITC/Dead Cell kiti, Luminex). Kontrol hücreleri ve eksozom uygulanan hücreler tripsin ile toplanarak PBS içerisinde yıkanmıştır, 100 µl PBS tamponunda yeniden süspansiyon edilerek karanlıkta, oda sıcaklığında 20 dakika boyunca 100 µl FITC-konjuge Anneksin V/PI ile 20 dk boyunca inkübe edilmiştir. Sonuçlar Muse Cell Analyzer cihazı ile analiz edilmiştir. Bu testten elde edilen veriler dört kategoriye ayrılarak değerlendirilmiştir. Kadran 4, Anneksin V ve PI boyaması tespit edilemediği için çift negatif olup canlı hücreler, kadran 3, Anneksin V pozitif ve membran sağlam kaldığı için PI negatif erken apoptotik hücreler, kadran 2, Anneksin V ve PI boyaması çift pozitif, ikincil nekrotik ve geç apoptotik, kadran 1, pozitif PI ve negatif Anneksin'li nekrotik hücreler, plazma zarı olmayan ölü çekirdek hücreler olarak değerlendirilmiştir.

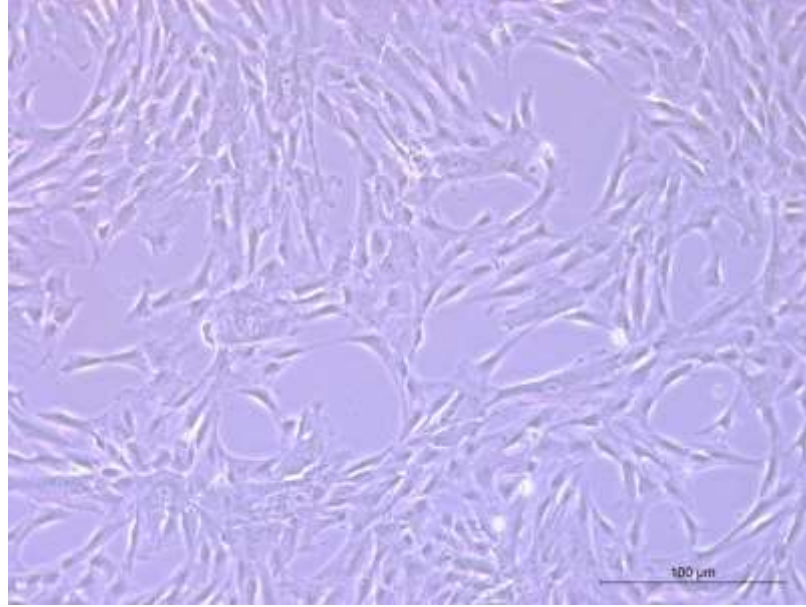
İstatistiksel Analiz

Apoptoz testi sonucu verileri, GraphPad Prism 6 programı kullanılarak grup analizi altında, 3 ayrı bağımsız set halinde, 24, 48 ve 72 saat boyunca uygulanan her farklı konsantrasyonun gruplar arası ve gruplar içi değerlendirilmesi için Two way ANNOVA, Tukey multiple comparisons testi ile anlamlılık değeri $p < 0.05$ olarak kabul edilmiştir. AD-Ekso uygulanan her konsantrasyon ve zamana bağlı 3 ayrı bağımsız set halinde yapılarak ortalama değerleri, yapısal eşitlik değerleri (SEM) ve standart sapmaları hesaplanmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Adipoz Doku Kaynaklı Mezenkimal Kök Hücrelerin Görüntülenmesi

AD-MKH morfolojik olarak değerlendirildiği uzun iğsi yapılar halinde ve fibroblast benzeri hücre toplulukları olarak görülmüştür (Şekil 1).

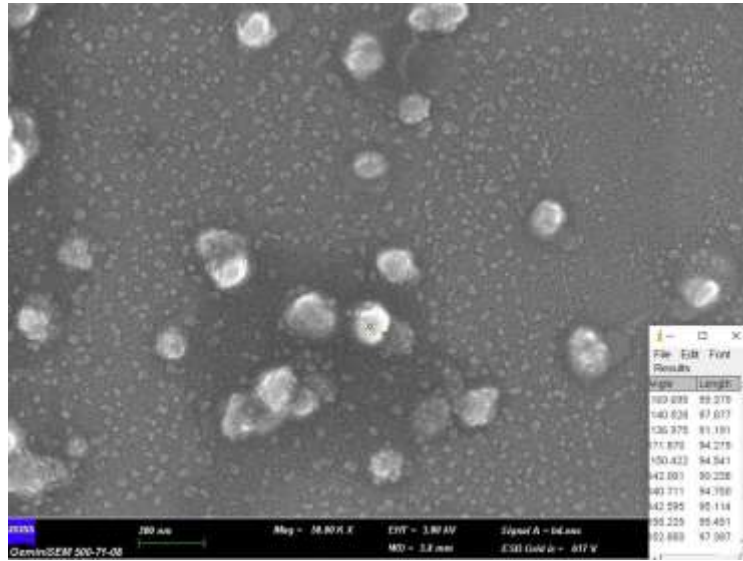


Şekil 1. AD-MKH'lerin 8. gündeki mikroskopik görünümü

Eksozom Karakterizasyonu

Eksozomların SEM analizi bulguları

Presipitasyon metodu sonucunda izolasyonu tamamlanmış olan eksozomların yapısal bütünlüklerini koruduğu izlenmiştir. Image J programı ile yaklaşık 7 eksozomun boyutları ölçülerek boyut ölçümlerinin $95.6 \text{ nm} \pm 2.8$ olduğu hesaplanmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Eksozomların SEM görüntüsü ve Image J ile boyut ölçümü

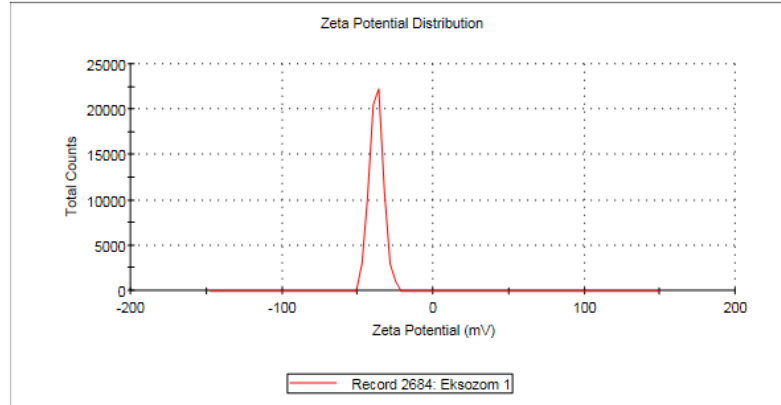
Eksozomların zeta potansiyeli analiz bulguları

İzole edilen eksozomların zeta potansiyeli ölçümü -37.6 olarak bulunmuş ve cihaz tarafından sonuç iyi olarak değerlendirilmiştir. Cihaza bağlı olarak zeta potansiyelinin -30 'a yakın olması izole edilen eksozomlarının elektriksel ve izoelektrik nokta arasında potansiyel farkının kararlı olduğunu göstermektedir (Rasmussen ve ark., 2020). (Şekil 3).

Results

	Mean (mV)	Area (%)	Width (mV)
Zeta Potential (mV): -37,6	Peak 1: -37,6	100,0	4,61
Zeta Deviation (mV): 4,61	Peak 2: 0,00	0,0	0,00
Conductivity (mS/cm): 0,997	Peak 3: 0,00	0,0	0,00

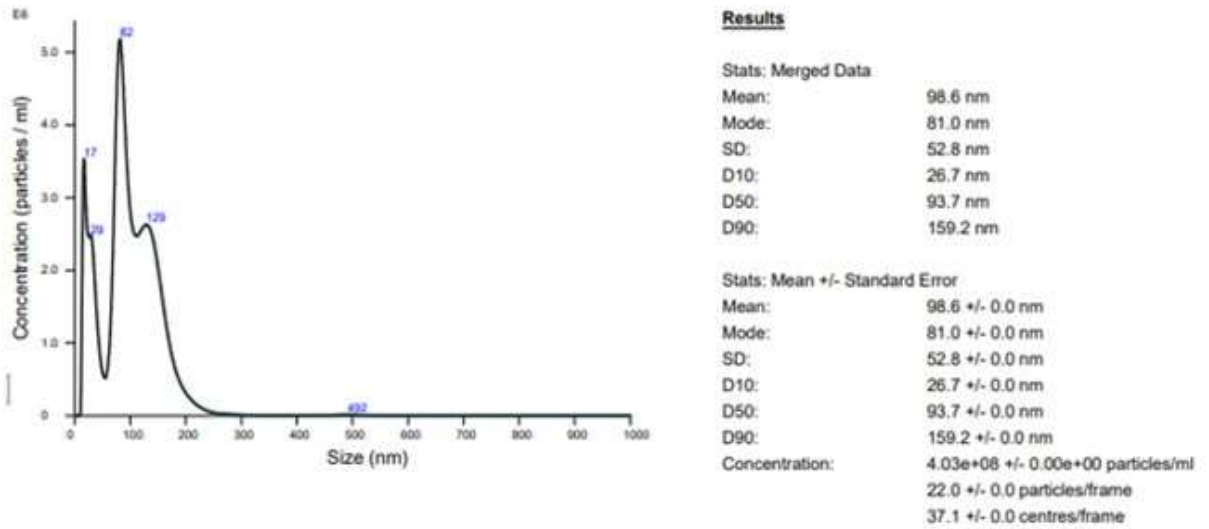
Result quality Good



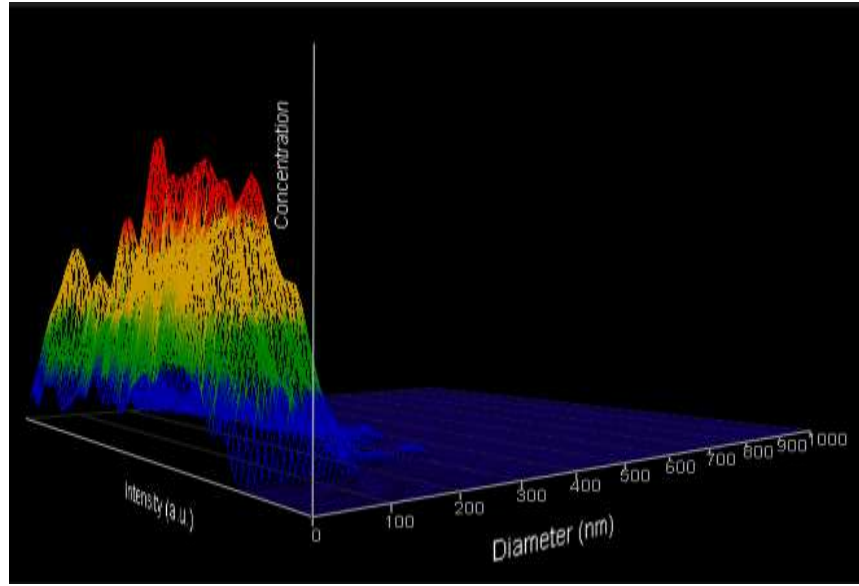
Şekil 3. Eksozomların zeta potansiyeli ölçüm sonucu

Eksozomların nanopartikül izleme analizi bulguları

Eksozomların, NTA sonuçlarına göre ortalama boyutları 98.6 nm olduğu ve ml'de 4.03×10^8 eksozom olduğu NTA cihazı ile ölçülmüş ve hesaplanmıştır (Şekil 4). Ayrıca izole edilen eksozomların boyutlarına göre konsantrasyonları da belirlenmiştir (Şekil 5). NTA sonuçlarının SEM görüntü sonuçları ile karşılaştırıldığında birbirine yakın olduğu ve sonuçların birbirini desteklediği görülmüştür



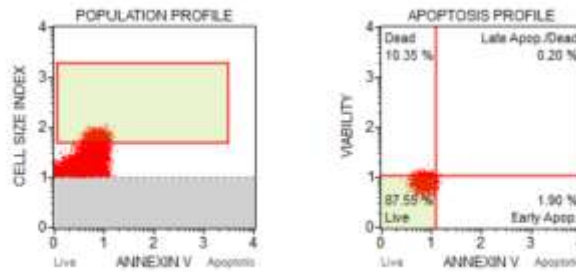
Şekil 4. AD-Eksozomların konsantrasyon ve ortalama boyutları (nm)



Şekil 5. AD-Eksozomların 3 boyutlu boyut-konsantrasyon dağılım grafiği

Anneksin V/PI Boyama ile Apoptoz Bulguları

AD-Ekso, MCF10A hücrelerine uygulandıktan sonra, konsantrasyonlarına bağlı olarak 24 ve 48 saat sonucunda apoptoza uğramamıştır. 72 saat sonucunda ise hücrelerin sadece % 0.2 'sinin geç apoptoz, %1,90 kadarının ise erken apoptotik olduğu ve total de %2.1 değerinde apoptoza uğradığı görülmüştür. Ancak bu sonuç, hücrelerin 72 saat boyunca FBS içermeyen aynı kültür besiyerinde inkübe edilmeleri nedeniyle stres kaynaklı olabileceği de düşünülmektedir (Şekil 6.) MCF10A kontrol ve AD-Ekso uygulanan MCF10A grupları kendi aralarında istatistiksel olarak değerlendirildiğinde anlamlı bir farklılık görülmemiştir ($p>0.05$).

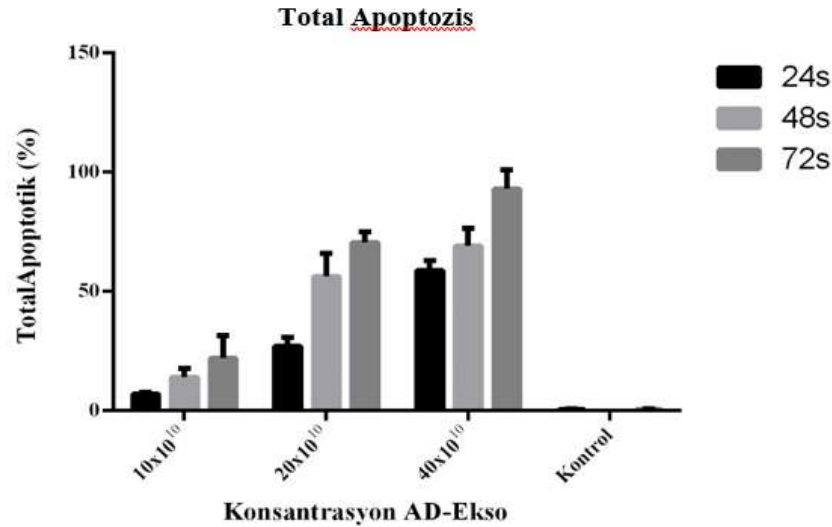


	Cell Conc. (Cells / mL)	% Gated
Live (LL) :	1.89E+05	87.55 %
Early Apoptotic (LR) :	4.11E+03	1.90 %
Late Apop./ Dead (UR) :	4.33E+02	0.20 %
Debris (UL) :	2.24E+04	10.35 %
Total Apoptotic :	4.54E+03	2.10 %

Şekil 6. 40×10^{10} AD-Ekso/mL uygulanan MCF10A hücrelerinde 72 saat sonucunda yüzde total apoptotik değeri (%)

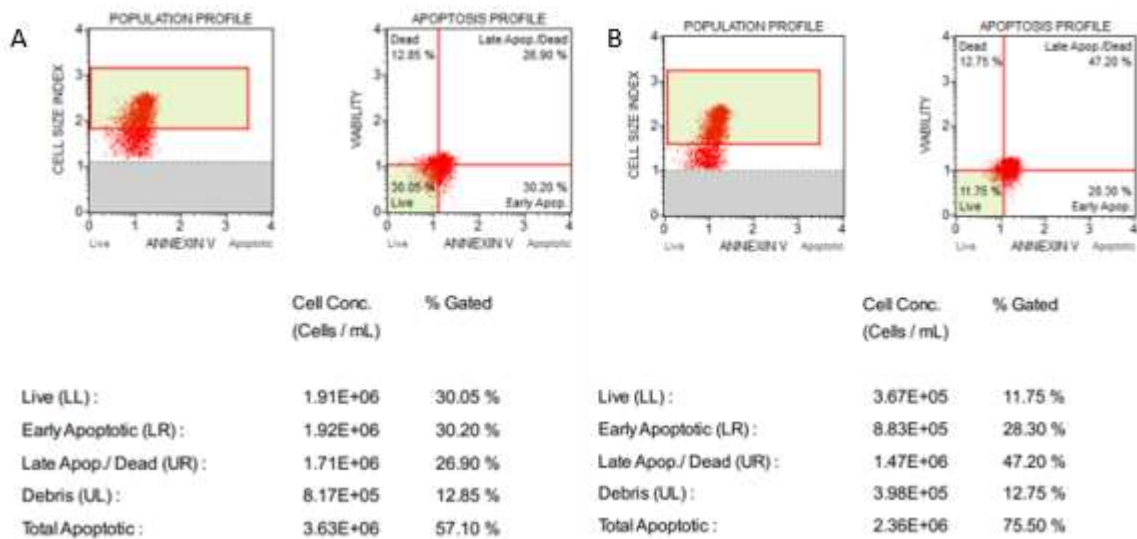
AD-Ekso, MCF-7 hücrelerine uygulandıktan sonra her konsantrasyon ve zamana bağlı olarak 3 ayrı setin yüzde total apoptoz değerlerinin ortalaması ile yine SEM değerleri hesaplanmıştır. Her gruba ait 3 ayrı bağımsız veri setinin ortalamalarının yüzde total apoptotik sonuçları, zaman ve konsantrasyon açısından ve standart sapmaları (\pm) ile değerlendirildiğinde, 24 saat sonunda MCF-7/ 40×10^{10} AD-Ekso/mL ortalama $\%58.817 \pm 4.2$, 48 saat sonucunda MCF-7/ 20×10^{10} AD-Ekso/mL

grubunda ortalama 56.3 ± 9 ve 72 saat sonucunda $MCF-7/20 \times 10^{10}$ AD-Ekso/mL ortalama $70.9 \pm 4,1$ 'dir. Bu sonuçlar doğrultusunda AD-Ekso artan doz ve zamana bağlı olarak, MCF-7 hücrelerinde apoptozu indüklediği % total apoptotik değerleri ile görülmüştür (Şekil 7).



Şekil 7. MCF-7 gruplarında AD-Ekso uygulanan her konsantrasyon ve zamana bağlı olarak 3 ayrı setin yüzde total apoptotik değerleri ortalamaları (%)

İstatistiksel olarak % total apoptotik değerleri karşılaştırıldığında 24 ve 48 saat boyunca uygulanan AD-Ekso grupları arasında anlamlı fark gözlemlenmiştir ($p < 0.05$). AD-Ekso verilen MCF-7 hücre grupları hem kendi aralarında hem de AD-Ekso verilmeyen MCF-7 hücre grupları ve MCF10A hücre grupları ile karşılaştırıldığında zaman ve doza bağlı olarak aradaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0.05$). MCF10A ve MCF-7 kontrol grupları değerlendirilmiş ve anlamlı bir fark gözlenmemiştir ($p > 0.05$). Zaman ve doza bağlı olarak AD-Ekso uygulanmış MCF-7 hücrelerinde değişen apoptoz indüksiyonu erken evre apoptotik, geç evre apoptotik ve total apoptotik olmak üzere Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8. 48 saat sonunda tek veri değerlendirmesi sonucu ile yüzde total apoptotik değerleri. A) MCF-7/20x10¹⁰AD-Ekso/mL B) MCF-7/40x10¹⁰AD-Ekso/mL

Bu bulgular, eksozomların, tümörleri veya diğer hastalıkları hedefleyen değişken tedaviyi mümkün kılmak için büyük ölçekli tekrarlanabilir kalitede üretim için sınırsız bir kaynak olduğunu

göstermektedir. AD-MKH-Eksozomlarının MCF-7 hücrelerinin apoptozunu indüklemek için güçlü bir aday olduğunu göstermektedir. Eksozomların kullanımında donör hücre seçimi, ilaç yükleme yöntemi, taşıyıcı güvenliğin yönleri ve eksozom yüzeyinde hedefleme peptitlerine, her çalışmada dikkat edilmelidir. Eksozom kaynaklarının farklı olması, eksozomlar tarafından taşınan biyolojik bileşen içeriği yönünden de farklılaşacaktır. Eksozomların kararlılığı, boyutları ve konsantrasyonlarının da yine doku kaynağına göre değiştiği bundan dolayı etki mekanizmasının ve her hastalıktaki terapötik etkinliğinin değiştiği de görülmektedir. Adipoz doku kaynaklı MKH'lerden salınan eksozomların proteinler açısından çok daha yüksek oranda bulunduğu, lökosit aktivasyonu ile hücre adezyon moleküllerinin bağlanması görev aldığı bildirilmiştir. Bu nedenle AD-MKH'lerin hastalıkların modüle edilmesinde etkili olduğu bilinmektedir (Eirin ve ark., 2016). Eksozomlar, MKH sekresyonundaki terapötik bir bileşen, karmaşık bir protein ve RNA yüküne sahip bir lipid veziküldür. Bu, çeşitli hastalık endikasyonlarında MKH'lerin terapötik etkinliği için bir gerekçe sağlayabilir. Ayrıca, MKH eksozomlarının, birçok patolojik durumda doku hasarını hafifletmek ve hücre onarımını geliştirmek için yardımcı tedavi sağlayabileceğini öne sürüyor. Umbilikal kord kaynaklı MKH'ler (UK-MKH) ise diğer MKH'ler ile karşılaştırıldığında çok farklı dokulara ve hücrelere farklılaşma yeteneği gösterirler ve bu durumda UK-MKH'lerinden salınan eksozomların yeni kan damar büyümesini destekleyebileceği ifade edilmiştir (Zhao ve ark., 2015). Ayrıca UK-MKH'ler spiral ganglion nöronların sayısını artırarak nörodejeneratif hastalıklarda daha etkindir (Choi ve ark., 2012). Şu anda kanser tedavisi için kemoterapi, birinci basamak terapötik stratejidir. Platin ilaçlar, adriamisin (ADR) ve 5-fluorourasil (5-FU) gibi ileri kanserli hastaların klinik sonuçlarını iyileştirmek için farklı özelliklere ve hedeflere sahip çoklu kemoterapötik ajanlar etkin bir şekilde uygulanmıştır (Weaver ve Cleveland, 2005). Bununla birlikte, çoklu ilaç direncinin (MDR) gelişimi, kemoterapinin başarısı için en büyük zorluk olmaya devam etmektedir (Guerra ve ark., 2017). Çok sayıda çalışma, MKH'den türetilen eksozomların, fonksiyonel proteinleri ve RNA'ları doğrudan ilettikleri için kanser kemoterapi direncine derinden dahil olduğunu göstermiştir. Apoptozdan kaçınma, kemorezistansın ana nedenlerinden biri olarak tanımlanmıştır ve MKH'den türetilen eksozomlar, kemorezistansa aracılık etmek için apoptozla ilişkili proteinleri modüle edebilir. MKH'den türetilen eksozomların mide kanserinde hem in vitro hem de in vivo olarak 5-Fluorourasil (FU)'ya karşı direnci arttırdığı bulunmuştur. Mekanik olarak, MKH'den türetilen eksozomlar, fonksiyonel proteinleri aktararak Calmodulin- gecikmeli doğrultucu K⁺'nin yavaş bileşeni akım (Ks'ler)/ Ras/Raf/mitojenle aktive olan protein kinaz (MEK)/ekstrasellüler sinyalle düzenlenen kinaz (ERK) yolu (CaM-Ks/Raf/MEK/ERK) sinyal kaskadını ve çoklu ilaç direnci (multipl drug resistance, MDR) ile ilişkili proteinleri aktive ederek 5-FU'nun neden olduğu apoptozu önlediği bildirilmiştir (Phan ve Croucher, 2020). İnsan AD-MKH'den salınan eksozomların, Wnt sinyal yolunun yukarı regülasyonu yoluyla meme kanseri MCF-7 hücrelerinin göçünü arttırdığını ve hücrelerin eksozom tüketilmiş orijinal AD-MKH şartlandırılmış ortamla tedavisinin, önemli ölçüde azalmış göç kapasitesiyle sonuçlandığını gösterdi (Lin ve ark., 2013). Wu ve ark. meme kanseri MCF-7 hücrelerine insan AD-MKH 'den türetilmiş eksozomları uyguladığında bu mikro ortamın tümör hücrelerinin göçünü ve istilasını arttırdığını ve transforme edici büyüme faktör-beta/Smad proteinleri (TGF- β /Smad) ve fosfatidilinositol 3-kinaz(PI3K)/serin/treyonin protein kinaz enzimi (AKT) sinyal yolları arasındaki çapraz karışma yoluyla epitelyal mezenkimal geçiş (EMT)'i arttırdığını göstermişlerdir (Wu ve ark., 2018) Hücre apoptozu, hasarlı veya gerekli olmayan hücrelerin temizlenmesinde çok önemli bir rol oynar. Birden fazla çalışma, apoptotik sinyallerin, mitokondriyal disfonksiyonu tetiklediğini ve bunun sonucunda reaktif oksijen türleri (ROS) üretiminde artışa ve oksidatif stres ortamının oluşmasına neden olduğunu göstermiştir (Hu ve

ark., 2019, Chen ve ark., 2018). Ek olarak, yağ kök hücrelerinden gelen eksozomlar, doku onarımını ve yenilenmesini desteklemek için makrofajlardaki oksidatif stresi hafifletmiştir (Shen ve ark., 2021).

Eksozomlar, prelinik verilere ve iyi üretim uygulama süreçlerinin doğrulanmasına dayalı olarak kanser tedavisinde, örneğin terapötik kanser aşılarda cazip sonuçlar vermiştir. Spesifik olarak, biyomühendislik eksozomları, kanser hücrelerine güçlü antitümör yükleri iletmek için heyecan verici yaklaşımlar geliştirmede kullanım için büyük umut vaat ediyor. Eksozomların kimyasal veya biyolojik modifikasyonu, kanserdeki terapötik güçlerini artırabilir veya genişletebilir (Santos ve ark., 2021).

SONUÇ

Güncel çalışmalar sonucunda eksozomlar ile biyofarmasötikler veya nano ilaçlar arasında hala büyük bir boşluk var ve bu yüzden henüz net bir şekilde tanımlanmamışlardır. Eksozomların fonksiyonel proteinleri ve nükleik asitleri aracılığıyla terapötik, teşhis ve diğer roller oynadığını göstermektedir. Biyolojik ajanların üretiminin ve uygulamasının karmaşıklığı göz önüne alındığında, eksozomların klinik dönüşüme ulaşması için kat edilmesi gereken daha çok yol vardır. Nanotıp ve teknoloji entegrasyonundaki hızlı ilerlemeyle, biyoteknoloji ve nanoteknoloji ile birleştirilmiş eksozomlar/EV'ler yeni uygulamalara sahiptir. Şu anda, EV'lerin incelenmesi için ana yönler, hücreler arası iletişim yoluyla hücre davranışına aracılık etmek, biyobelirteçlerin taranması ve ilaç taşıyıcılarının araştırılması ve geliştirilmesine yoğunlaşmıştır. Hastalıkların teşhis ve tedavisinde eksozomlar üzerindeki mevcut ilerleme, tıpta gelecekteki uygulamaları için önemli bir temel oluşturmaktadır. Bu çalışma da ise çeşitli sınırlılıklar bulunmaktadır. İlk olarak, deneyleri in vitro olarak gerçekleştirildiği için sonuçlar in vivo ortamda meydana gelenlerin göstergesi olmayabilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yapılmasında; laboratuvar olanak ve elverişli çalışma ortamı sunan, Erciyes Üniversitesi, Genom ve Kök Hücre Merkezi'ne teşekkürlerimi sunarım.

Çıkar Çatışması

Yazar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmiştir.

KAYNAKLAR

- Basoli, V., Santaniello, S., Cruciani, S., Ginesu, G., Cossu, M., Delitala, A., Maioli, M. (2017). Melatonin and vitamin D interfere with the adipogenic fate of adipose-derived stem cells. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(5), 981. <https://doi.org/10.3390/ijms18050981>
- Brydson, R., Brown, A., Hodges, C., Abellan, P., & Hondow, N. (2015). Microscopy of nanoparticulate dispersions. *Journal of Microscopy*, 260(3), 238–247. <https://doi.org/10.1111/jmi.12290>
- Cardoso, F., Cataliotti, L., Costa, A., Knox, S., Marotti, L., Rutgers, E., & Beishon, M. (2017). European Breast Cancer Conference manifesto on breast centres/units. *European Journal of Cancer*, 72(2017), 244–250. <https://doi.org/10.1016/j.ejca.2016.10.023>
- Chambers, I., & Tomlinson, S. R. (2009). The transcriptional foundation of pluripotency. *Development*, 136(14), 2311–2322. <https://doi.org/10.1242/dev.024398>
- Chen, S., Lv, X., Hu, B., Zhao, L., Li, S., Li, Z., Shao, Z. (2018). Critical contribution of RIPK1 mediated mitochondrial dysfunction and oxidative stress to compression-induced rat nucleus pulposus cells necroptosis and apoptosis. *Apoptosis*, 23(5–6), 299–313. <https://doi.org/10.1007/s10495-018-1455-x>
- Choi, M. Y., Yeo, S. W., & Park, K. H. (2012). Hearing restoration in a deaf animal model with intravenous transplantation of mesenchymal stem cells derived from human umbilical cord blood. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 427(3), 629–636. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2012.09.111>

- Dragovic, R. A., Gardiner, C., Brooks, A. S., Tannetta, D. S., Ferguson, D. J. P., Hole, P., ... Sargent, I. L. (2011). Sizing and phenotyping of cellular vesicles using Nanoparticle Tracking Analysis. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, 7(6), 780–788. <https://doi.org/10.1016/j.nano.2011.04.003>
- Eirin, A., Zhu, X.-Y., Puranik, A. S., Woollard, J. R., Tang, H., Dasari, S., Lerman, L. O. (2016). Comparative proteomic analysis of extracellular vesicles isolated from porcine adipose tissue-derived mesenchymal stem/stromal cells. *Scientific Reports*, 6(1). <https://doi.org/10.1038/srep36120>
- Guerra, F., Arbini, A. A., & Moro, L. (2017). Mitochondria and cancer chemoresistance. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics*, 1858(8), 686–699. <https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2017.01.012>
- Gurunathan, S., Kang, M.-H., Jeyaraj, M., Qasim, M., & Kim, J.-H. (2019). Review of the isolation, characterization, biological function, and multifarious therapeutic approaches of exosomes. *Cells*, 8(4), 307. <https://doi.org/10.3390/cells8040307>
- Hu, Y., Huang, L., Shen, M., Liu, Y., Liu, G., Wu, Y., Xiong, L. (2019). Pioglitazone protects compression-mediated apoptosis in nucleus pulposus mesenchymal stem cells by suppressing oxidative stress. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2019, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2019/4764071>
- Li, Wang, Peng, Huyan, & Cacalano. (2019). Exosomes: Versatile nano mediators of immune regulation. *Cancers*, 11(10), 1557. <https://doi.org/10.3390/cancers11101557>
- Lin, R., Wang, S., & Zhao, R. C. (2013). Exosomes from human adipose-derived mesenchymal stem cells promote migration through Wnt signaling pathway in a breast cancer cell model. *Molecular and Cellular Biochemistry*, 383(1–2), 13–20. <https://doi.org/10.1007/s11010-013-1746-z>
- Phan, T. G., & Croucher, P. I. (2020). The dormant cancer cell life cycle. *Nature Reviews Cancer*, 20(7), 398–411. <https://doi.org/10.1038/s41568-020-0263-0>
- Rasmussen, M. K., Pedersen, J. N., & Marie, R. (2020). Size and surface charge characterization of nanoparticles with a salt gradient. *Nature Communications*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15889-3>
- Santaniello, S., Cruciani, S., Basoli, V., Balzano, F., Bellu, E., Garroni, G., Maioli, M. (2018). Melatonin and vitamin D orchestrate adipose derived stem cell fate by modulating epigenetic regulatory genes. *International Journal of Medical Sciences*, 15(14), 1631–1639. <https://doi.org/10.7150/ijms.27669>
- Santos, P., & Almeida, F. (2021). Exosome-Based vaccines: History, current state, and clinical trials. *Frontiers in Immunology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.711565>
- Shen, K., Jia, Y., Wang, X., Zhang, J., Liu, K., Wang, J., ... Hu, D. (2021). Exosomes from adipose-derived stem cells alleviate the inflammation and oxidative stress via regulating Nrf2/HO-1 axis in macrophages. *Free Radical Biology and Medicine*, 165, 54–66. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2021.01.023>
- Shi, G., & Jin, Y. (2010). Role of Oct4 in maintaining and regaining stem cell pluripotency. *Stem Cell Research & Therapy*, 1(5). <https://doi.org/10.1186/scrt39>
- Takahashi, K., & Yamanaka, S. (2006). Induction of pluripotent stem cells from mouse embryonic and adult fibroblast cultures by defined factors. *Cell*, 126(4), 663–676. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2006.07.024>
- Wankhade, U. D., Shen, M., Kolhe, R., & Fulzele, S. (2016). Advances in adipose-derived stem cells isolation, characterization, and application in regenerative tissue engineering. *Stem Cells International*, 2016, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2016/3206807>
- Weaver, B. A. A., & Cleveland, D. W. (2005). Decoding the links between mitosis, cancer, and chemotherapy: The mitotic checkpoint, adaptation, and cell death. *Cancer Cell*, 8(1), 7–12. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2005.06.011>
- Wei, W., Ao, Q., Wang, X., Cao, Y., Liu, Y., Zheng, S. G., & Tian, X. (2021). Mesenchymal stem cell-derived exosomes: A promising biological tool in nanomedicine. *Frontiers in Pharmacology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fphar.2020.590470>
- Wu, S., Wang, Y., Yuan, Z., Wang, S., Du, H., Liu, X., Zhu, X. (2018). Human adipose-derived mesenchymal stem cells promote breast cancer MCF7 cell epithelial-mesenchymal transition by cross interacting with the TGF- β /Smad and PI3K/AKT signaling pathways. *Molecular Medicine Reports*. <https://doi.org/10.3892/mmr.2018.9664>
- Zhao, Y., Sun, X., Cao, W., Ma, J., Sun, L., Qian, H., Xu, W. (2015). Exosomes derived from human umbilical cord mesenchymal stem cells relieve acute myocardial ischemic injury. *Stem Cells International*, 2015, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2015/761643>

Atf İçin: Ulcay, S. (2023). Bazı Endemik *Linum* (Linaceae) Türlerinin Histo-Anatomik Özellikleri. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 925-931.

To Cite: Ulcay, S. (2023). Histo-Anatomical Characteristics of Some Endemic Species of *Linum* (Linaceae). *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 925-931.

Bazı Endemik *Linum* (Linaceae) Türlerinin Histo-Anatomik Özellikleri

Sibel ULCA Y¹

Öne Çıkanlar:

- Ekonomik bitki
- Tıbbi bitki
- Bitki anatomisi

Anahtar Kelimeler:

- *Linum*
- Linaceae
- Anatomi
- Endemik
- Keten

ÖZET:

Bu çalışmada Kırşehir’de (Türkiye) yayılış gösteren *Linum* cinsine ait endemik iki taksonun anatomik özellikleri araştırılmıştır. *Linum flavum* subsp. *scabrinerve* (P.H.Davis) P.H. Davis kök enine kesitine göre en dış tabakası epidermis hücreleri kaplıdır. Gövde kesitinde ise iletim demetleri devamlı bir halka şeklinde olup üzerinde sklerankima hücreleri belirlenmiştir. Taksonun yaprak mezofili bifasiyaldir. Yaprığın alt yüzeyi 88, üst yüzeyi ise 51 stomaya sahiptir. Az miktarda glandüler tüy bulundurmaktadır. *Linum hirsutum* subsp. *pseudoanatolicum* P. H. Davis sekonder kök yapısına sahiptir. En dıştaki periderm hücreleri oval veya izodiyametik şekillidir. Gövde kesitinde vasküler demetler devamlı bir halka şeklindedir. Korteks tabakası, oval veya dikdörtgen şekilli 9-10 sıra parankimatik hücrelerden oluşur. Taksonun yaprak mezofili ekvisiyaldir. Yaprığın alt yüzeyi ve üst yüzeyi sırasıyla 48 ve 46 stomaya sahiptir. Epidermiste, glandüler veya glandüler olmayan tüyler bulunmaz. Sonuç olarak bu çalışma ile aynı cinsde ait iki farklı taksonun anatomik karşılaştırması yapılmıştır. Elde edilen bulgulara göre türlerin kök yapıları, gövdede sklerankima varlığı, yaprığın stoma büyüklükleri, mezofil tipleri ve glandular tüylerin varlığı gibi özellikleri birbirlerinden farklıdır.

Histo-Anatomical Characteristics of Some Endemic Species of *Linum* (Linaceae)

Highlights:

- Economic plant
- Medicinal plant
- Plant anatomy

Keywords:

- *Linum*
- Linaceae
- Anatomy
- Endemic
- Flax

ABSTRACT:

In this study, two endemic species belonging to the genus *Linum* distributed in Türkiye were investigated. The outermost layer of the *Linum flavum* subsp. *scabrinerve* (P.H.Davis) P.H.Davis root, according to its cross-section, is covered with epidermis cells. In the stem cross-section, the vascular bundles are in the form of a continuous ring, upon which are sclerenchyma cells. The leaf mesophyll of the taxon is bifacial. The lower surface and the upper surfaces of the leaf have 88 and 51 stomata in order of. Leaf has a few glandular hairs. The root of *Linum hirsutum* subsp. *pseudoanatolicum* P.H. Davis has secondary growth. Periderm cells on the outside are oval or isodiametric in shape. In the stem cross-section, vascular bundles are in the form of a continuous ring. The cortex layer consists of 9-10 rows of oval or rectangular-shaped parenchymatous cells. The leaf mesophyll of the taxon is equifacial. The lower surface and the upper surfaces of the leaf have 48 and 46 stomata, respectively. No glandular or non-glandular hairs are found on the epidermis. As a result, an anatomic comparison of two different taxa belonging to the same genus was made with this study. According to the results, the root structures of the species, the presence of sclerenchyma on the stem, the size of the stomata of the leaf, mesophyll types, and the presence of glandular hairs are different from each other.

¹ Sibel ULCA Y ([Orcid ID: 0000-0002-2878-1721](https://orcid.org/0000-0002-2878-1721)), Kırşehir Ahi Evran University, Faculty of Agriculture, Department of Field Crops, Kırşehir, Türkiye

*Corresponding Author: Sibel ULCA Y, e-mail: sibelulcay@gmail.com

INTRODUCTION

The Linaceae (Flaxaceae) family is represented by 22 genera. The best known of these is *Linum* L. (Flax). The genus *Linum* includes more than 200 species (Zeven and Wet, 1975). It distributes mainly around the Mediterranean, mostly in the northern hemisphere, the Middle East (Near East), Europe, temperate regions of Asia, North Africa, and North America (Zohary and Hopf, 1993; Vromans, 2006). There are 36 species of *Linum* (Flax) in Europe, eight species in Cyprus, nine species in Israel, 13 species in Iraq, 45 species in Russia, 15 species in Iran, and 39 species in Türkiye. The Balkan Peninsula and Anatolia are among the most important distribution areas and diversity centers of *Linum* in the world. The high rate of endemism and the high number of subspecies and varieties indicate that Anatolia is one of the gene centers of this genus (Yılmaz et al., 2003).

In the western regions of Eurasia, flax is mostly grown for its fiber, and in the eastern regions, it is grown for its oil (Gill, 1987; Sankari 2000; Vromans, 2006). The agricultural history of flax dates back to the Stone Age. It is known that flax was cultivated 6000-8000 years ago in Egypt and Sumer-Mesopotamia, together with the oldest agricultural plants, barley and wheat (Hayward, 1948; Zohary and Hopf, 1993; Şahin, 2020).

Flax can be evaluated in many ways in terms of usage areas and benefits. In addition to being used in the production of linen fabric and the production of edible or non-edible industrial oil, it is used in ship rope and sail, tent cloth, hose production, gas mask, linoleum production, paint, the lacquer and varnish industry, hard plywood, paper, vegetable oil, oil puree and resin production, and heat insulation material production (Delorit et al., 1984; Schuster, 1992; Carter, 1993; Kurt, 1996). It has been determined that flax reduces some heart diseases, burns, cough, and asthma (Jhala and Hall, 2010; Ahmada et al., 2018). In addition, the ground seeds of flax, which are known by local names such as Zeyrek or Cimit among the people in Central Anatolia, are also used externally as a folk medicine with the effect of healing open wounds or ripening boils (Ezer and Avcı, 2004). In recent years, podophyllotoxin isolated from various flax species has been determined to have antibacterial, antiviral, and anticarcinogenic properties (Yılmaz, 2003).

This study aimed to reveal the anatomic similarities and differences between some endemic *Linum* species distributed around Kırşehir. Determining the differences between two species that are distributed in the same ecologic conditions will be important in distinguishing the species. In addition, anatomic studies on *Linum* are limited. For this reason, this research will be a source for future studies on the genus *Linum*.

MATERIALS AND METHODS

In this study, the taxa belonging to the genus *Linum* were examined. Specimens of the species used in the research were collected from Kırşehir (Türkiye) and its surroundings from the edges of fields and open fields between April and September 2020, when the plants were in bloom (Table 1).

Table 1. Information about the studied taxa

Taxa	Locality	Altitude (m)	Voucher, Date	Alcohol stock number
<i>Linum flavum</i> subsp. <i>scabrinerve</i> (P.H.Davis) P.H.Davis	Akçakent-Kırşehir	1415	Sulcay60, 2019.06.13	A141
<i>Linum hirsutum</i> subsp. <i>pseudoanatolicum</i> P.H.Davis	Kırşehir-Province	1037	Sulcay60, 2019.05.30	A86

Plant samples were identified according to Flora of Turkey (Davis, 1967). Some of the collected materials were stored as herbarium samples in Kırşehir Ahi Evran University, Faculty of Agriculture, Field Crops Laboratory, and some of them were fixed in 70% alcohol.

To determine the anatomic characteristics, first, parts of the plant such as the root, stem, and leaf were divided into small parts. Sections were taken by hand. Glycerin was used as the examination medium in the sections. Semi-permanent preparations were prepared by sealing the edges of the preparations using glycerin-gelatin (Vardar, 1987) and photographs were taken with an Amscope MU1803-HS camera attached to a Nikon microscope. In addition, an average of 25 anatomic measurements were made from tissues such as the epidermis, parenchyma, collenchyma, and trachea seen in the sections (Table 2)

RESULTS AND DISCUSSION

Linum flavum subsp. *scabrinerve* (P.H. Davis) P.H. Davis.

Roots

In the outermost part of the root, there is a single layer of epidermis. The cortex is highly narrowed and consists of multiple rows of parenchymatous cells. Sclerenchymatous cells are formed on the phloem, which is in 4-5 rows. The xylem is in 9-10 rows towards the center. The pith region consists of circular-shaped parenchymatous cells (Figure 1 A, B).

Stem

In cross-sections of the stem, there is a single layer of epidermis in the outermost layer. Epidermis cells are thick-walled and oval-shaped. The cortex layer is formed by oval or rectangular parenchyma cells. Vascular bundles are in the form of a continuous ring. Phloem occupies a narrower area than the xylem. The cambium is indistinct. Sclerenchyma cells are formed on the vascular elements. Pith is composed of parenchyma cells and the size of the parenchyma cells increases towards the center (Figure 2 C).

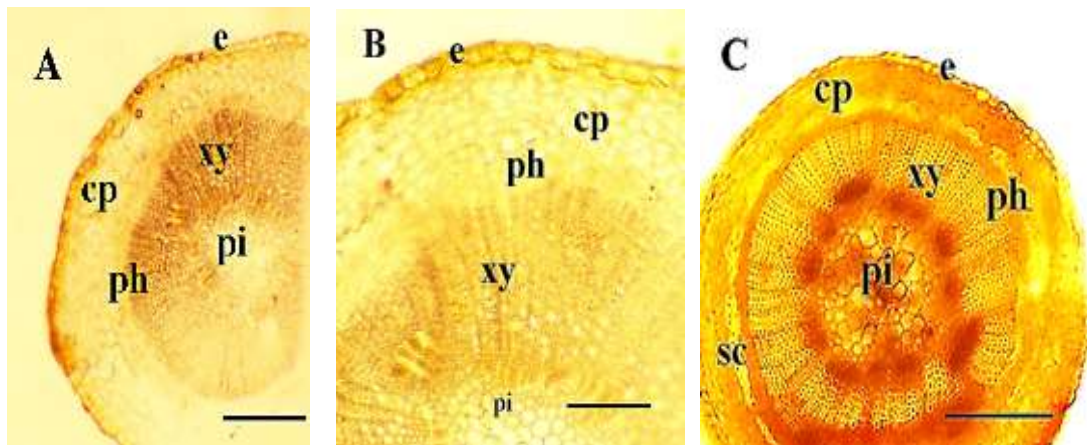


Figure 1. Cross-sections of *L. flavum* subsp. *scabrinerve* (A-B) Root cross-section, (C) Stem cross-section, cp: cortex parenchyma, e; epidermis, ph; phloem, pi; pith, xy; xylem (Scale 100 μ m)

Leaf

The upper and lower surfaces of the leaf are surrounded by a single-layered epidermis. Glandular hairs are scant on the upper and lower surfaces of leaves. The mesophyll layer is of bifacial type and consists of 1-2 layers of spongy parenchyma and 1-2 layers of palisade parenchyma. Paracytic-type stomata are scattered on both the lower and upper surfaces. The lower surface and the upper surface of the leaf have 88 and 51 stomata, respectively (Figure 2 C, D).

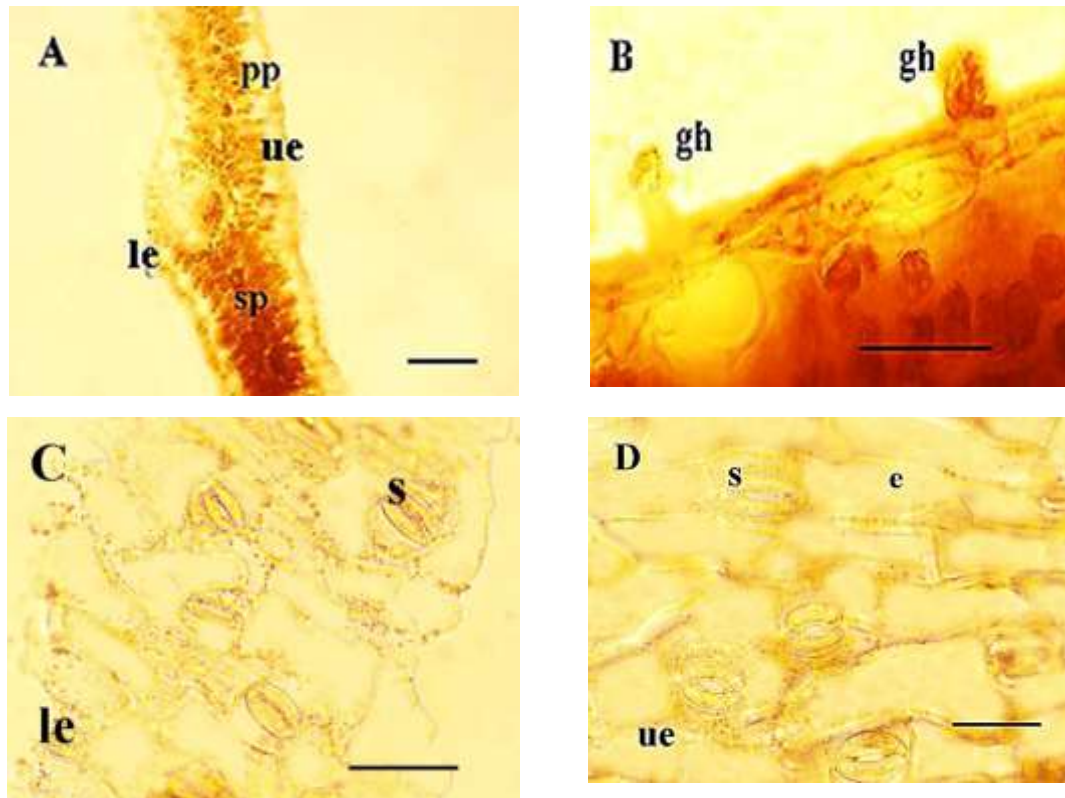


Figure 2. Cross-sections (A, B) and superficial of *L. flavum* subsp. *scabrinerve* (C, D). e; epidermis, gh; glandular hair, le; lower epidermis, s; stomata, ue; upper epidermis (Scale 100 µm)

***Linum hirsutum* subsp. *pseudoanatolicum* P. H. Davis**

Roots

The root is a secondary structure. Periderm cells on the outside are oval or isodiametric in shape. Phellem elements are dark in color and fragmented in places. Cortex parenchyma cells are cylindrical and 6-7 layered. Phloem covers a narrow area. The secondary xylem has 9-10 layers. Secondary xylem elements are quite prominent and cover a large area (Figure 3 A, B).

Stem

In the cross-section of the stem of the taxon, there are oval and rectangular epidermis cells arranged in a single row on the outer surface. The cortex layer consists of 9-10 rows of oval or rectangular-shaped parenchymatous cells. In the vascular bundles, the xylem occupies a larger area than the phloem, and the vascular elements form a continuous ring. The cambium is not prominent. There is a parenchymatous pith in the center. Parenchyma cells increase in size towards the center (Figure 3 C, D).

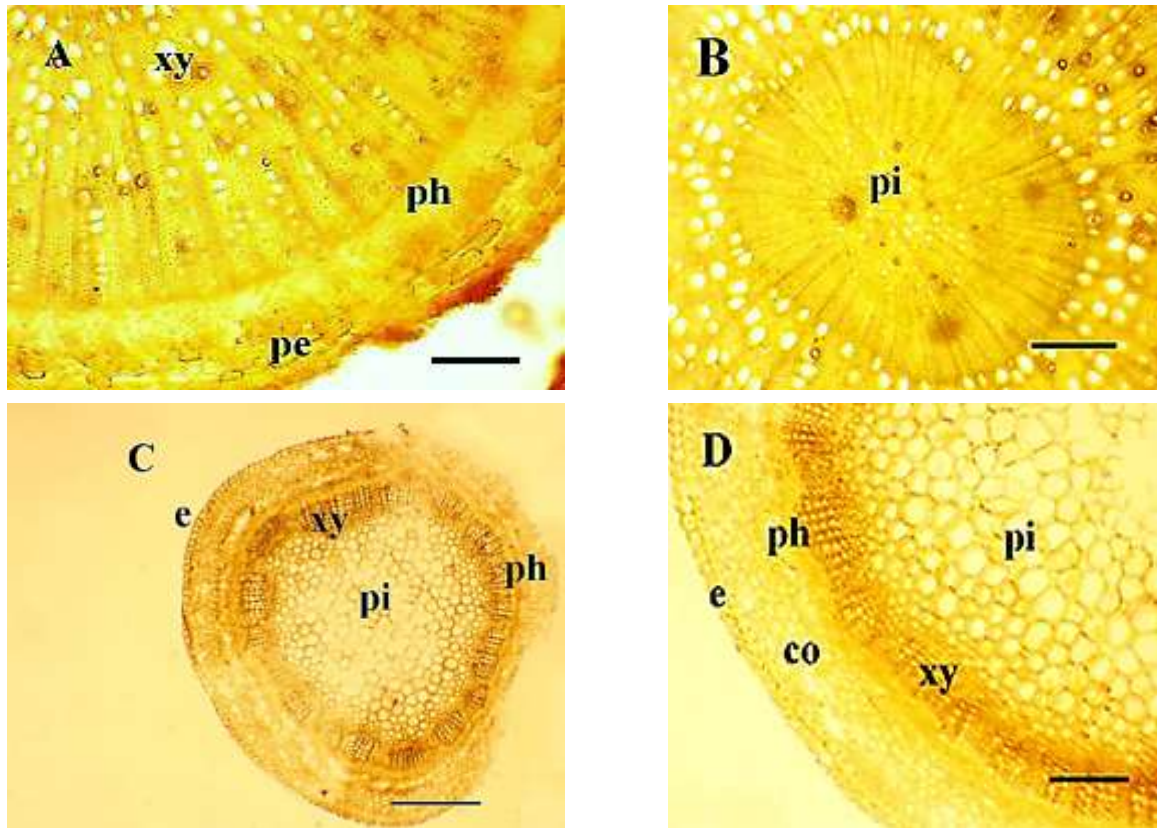


Figure 3. Cross-sections of *L. flavum* subsp. *scabrinerve* (A, B) Root cross-section (C, D) Stem cross-section co; cortex parenchyma, e; epidermis, pe; periderm, ph; phloem, pi; pith, xy; xylem (Scale 100 μ m)

Leaf

The epidermis on the lower and upper surfaces of the leaf of the taxon is single-layered and the walls are undulating. No glandular or non-glandular hairs are found on the epidermis. The mesophyll layer is of equifacial type and consists of 1-2 layers of palisade parenchyma and 2-3 layers of spongy parenchyma (Figure 4 A, B). Stomata are scattered on both surfaces of the leaf. There are paracytic-type stomata on the upper and lower surfaces of the leaves. The lower surface and the upper surface of the leaf have 48 and 46 stomata, respectively (Figure 4 C, D).

In this study, the anatomic features of two species belonging to the genus *Linum*, which are medically and economically valuable in Kırşehir and its surroundings, were examined. The root structures of the species are different from each other. According to the sections taken from the roots of the species, the outermost layer of the root is the epidermis in the *L. flavum* subsp. *scabrinerve* and is the periderm in the *L. hirsutum* subsp. *pseudoanatolicum*. The outermost layer of *Linum nervosum* Waldst. is the periderm (Serebryanaya et al. 2014). In both species, xylem components cover a larger area than phloem components, and the pith is filled with xylem elements. The pith region of the root of the *Linum luteolum* M.Bieb. is filled with xylem elements (Serebryanaya et al. 2014). The species are similar to each other in that the vascular bundles form a continuous ring. Findings related to the root anatomy of the species are presented for the first time in this study.

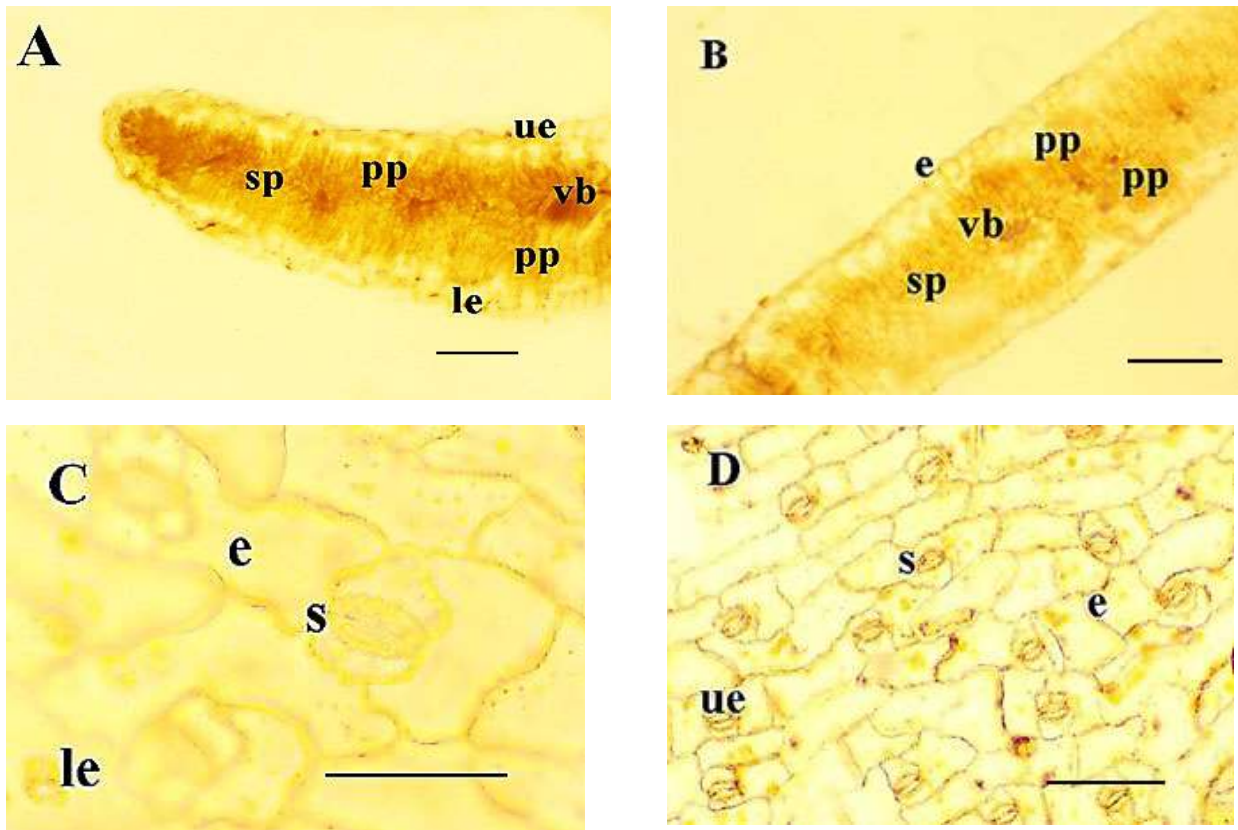


Figure 4. Cross-sections (A, B) and superficial of the leaf of *L. hirsutum* subsp. *pseudoanatolicum* (C, D). e; epidermis, le; lower epidermis, s; stomata, ue; upper epidermis (Scale 100 μ m)

Table 2. Anatomic measurements obtained from *Linum* species

Characters	<i>L. flavum</i> subsp. <i>scabrinerve</i>		<i>L. hirsutum</i> subsp. <i>pseudoanatolicum</i>	
	Width (μ m)- Mean \pm Se	Length (μ m)- Mean \pm SE	Width (μ m)- Mean \pm SE	Length (μ m)- Mean \pm SD
Root	Epidermis	54.39 \pm 1.59	76.03 \pm 1.79	
	Periderm			62.81 \pm 0.93
	Pith parenchyma	44.10 \pm 18.36		132.50 \pm 11.43
	Cortex parenchyma	33.47 \pm 2.56	88.52 \pm 17.50	45.73 \pm 3.95
Stem	Xylem	22.42 \pm 7.61		40.79 \pm 13.28
	Epidermis	26.87 \pm 0.65	57.40 \pm 0.45	42.16 \pm 2.30
	Pith parenchyma	57.40 \pm 3.45		69.70 \pm 3.89
	Cortex parenchyma	26.05 \pm 0.43	36.9629 \pm 2.29	36.96 \pm 2.29
	Xylem	33.68 \pm 1.67		27.12 \pm 4.42
Leaf	Epidermis	43.47 \pm 13.50	44.62 \pm 4.63	80.72 \pm 14.00
	Palisade parenchyma	29.01 \pm 2.62	67.9975 \pm 9.12	45.60 \pm 2.36
	Spongy parenchyma	32.01 \pm 3.34		85.59 \pm 2.32
	Lower surface stomata	41.68 \pm 3.59	56.31 \pm 6.25	71.39 \pm 6.86
	Upper surface stomata	55.02 \pm 2.51	82.31 \pm 2.43	51.49 \pm 1.60

Metcalf and Chalk (1950) reported that *Linum* stem and leaf anatomy were important in plant taxonomy. The stem cross-sections of the species differ from each other in shape. The stem cross-section of the *L. flavum* subsp. *scabrinerve* is a complete circle, whereas the cross-section shape of *L. hirsutum* subsp. *pseudoanatolicum* is not a regular circle. The stem shapes of *Linum album* Ky.ex Boiss. and *L. mucronatum* Bertol. subsp. *mucronatum* are polygonal (Talebi et al. 2015). The mesophyll of *L. hirsutum* subsp. *pseudoanatolicum* is equifacial (isolateral). The leaves of *L. nervosum* var. *nervosum*, *L. nervosum* var. *bungei*, *L. strictum* var. *strictum*, *L. strictum* var. *spicatum*, *L. glaucum*, *L. mucronatum* subsp. *mucronatum*, *L. usitatissimum* var. *usitatissimum* and *L. corymbulosum* are isobilateral (Talebi et al. 2015). The stomata width and length measurements on both the lower and upper surfaces of *L. hirsutum* subsp. *pseudoanatolicum* are higher.

CONCLUSION

As a result, with this study, the anatomic features of two endemic taxa of the same genus distributed in the same ecological conditions were compared. According to the findings, the root structures of the species, the presence of sclerenchyma on the stem, the size of the leaf stomata, and the presence of glandular hairs and mesophyll types are different from each other.

Conflict of Interest

The article authors declare that there is no conflict of interest between them.

Author's Contributions

The authors declare that they have contributed equally to the article.

REFERENCES

- Ahmada M, Zafara M, Shahzadia N, Yaseena G, Terence M, Sultana S, (2018). Ethnobotanical importance of medicinal plants traded in Herbal markets of Rawalpindi- Pakistan. *Journal of Herbal Medicine*, 11:78-89.
- Carter J, (1993). Flax seed as a source of alpha-linolenic acid. *Journal of the American College of Nutrition*, 12 (5):551-551.
- Davis PH, 1967. *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*, Edinburgh, England, University Press.
- Delorit RJ., Greub LJ. and Algren HL. (1984). *Crop Production*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Ezer N, Avcı K, (2004). Folk medicines of Çerkeş (Çankırı) in Turkey. *Hacettepe University Journal of the Faculty of Pharmacy*, 24 (2): 67-80.
- Gill KS, (1987). *Linseed*. Indian Council of Agricultural Research, New Delhi: 186 pp.
- Hayward CL, 1948. Biotic communities of the Wasatch chaparral, Utah. *Ecological Monographs*, 18 (4):473-506.
- Jhala AJ, Hall LM, (2010). Flax (*Linum usitatissimum* L.): Current Uses and Future Applications, *Australian Journal of basic and Applied Sciences*, 4(9):4304-4312.
- Kurt O, Doğan H, Demir A, (2006). A research on the determination of winter flax varieties suitable for Samsun ecological conditions. *Anatolian Journal of Agricultural Sciences*, 21 (1):1-5.
- Metcalf M.N., Calk L. (1950). *Anatomy of the Dicotyledones*. Clarendon Press, Oxford.
- Metcalf CR, Chalk, L, (1972). *Anatomy of the Dicotyledons. Leaves, Stem, and Wood in Relation to Taxonomy. With Notes on Economic Uses*, Oxford University Press, Oxford, 1459.
- Sankari H, (2000). Towards bast fibre production in Finland: stem and fibre yields and mechanical fibre properties of selected fibre hemp and linseed genotypes. *Agricultural Research Centre of Finland Plant Production Research Crops and Soil, Finland*.
- Schuster WH, (1992). *Lein/Flachs (Linum usitatissimum L.)*, in: *Ulpflanzen in Europa*, DLG-Verlag, Frankfurt am Main, 239.
- Serebryanaya, F. K., Kozlova, E. I., & Popova, S. G. (2014). Comparative morphological and anatomical study of *Linum* genus: *Linum nervosum* Waldst. and *Linum luteolum* M.Bieb. of Linaceae S.F.Gray. *Pharmacy & Pharmacology*, 2(3), 51-62.
- Talebi, S. M., Rashnou-Taei, M., Sheidai, M., & Noormohammadi, Z. (2015). Use of anatomical characteristics for the taxonomical study of some Iranian *Linum* taxa. *Environmental and Experimental Biology*, 13, 123-131.
- Şahin G, (2020). A multidimensional agricultural product: Flax (*Linum usitatissimum* L.). *International Journal of Social Sciences Academic Research*, 4(1):119-147.
- Vardar Y, (1987). *Preparation in Botany Techniques*. Ege University Faculty of Science Printing Works, Izmir, No 1.
- Van Welzen, PC, Baas P, (1984). A leaf anatomical contribution to the classification of the Linaceae complex. *Blumea: Biodiversity, Evolution and Biogeography of Plants*, 29(2):453-479.
- Watson, L., and Dallwitz, M.J. (1992) onwards. *The families of flowering plants: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval*. Version: 1st June 2007. delta-intkey.com.
- Yılmaz Ö, Kaynak G, Vural M, (2003). A new taxon of *Linum* (Linaceae) from NW Anatolia, Turkey. In *Annales Botanici Fennici*, 147-150. Finnish Zoological and Botanical Publishing Board.
- Zarinkamar F, (2007). Stomatal observations in dicotyledons. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10 (2):199-219.
- Zeven AC, Wet JMJ, (1975). *Dictionary of cultivated plants and their regions of diversity*. Pudoc, Centre from Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, The Netherlands: 263.
- Zohary D, Hopf M, (1993). *Domestication of Plants in the Old World*. Clarendon Press, Oxford.

Atf İçin: Kahraman Ilıkkan, Ö. (2023). Laktik Asit Bakterilerinde Tetrasiklin Direncinin Fenotipik ve Tüm Genom Dizilerinde in silico Genotipik Olarak Araştırılması. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 932-940.

To Cite: Kahraman Ilıkkan, Ö. (2023). Investigation of Tetracycline Resistance of Lactic Acid Bacteria by in silico Genotypically in Whole Genome Sequences and Phenotypically. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 932-940.

Laktik Asit Bakterilerinde Tetrasiklin Direncinin Fenotipik ve Tüm Genom Dizilerinde in silico Genotipik Olarak Araştırılması

Özge KAHRAMAN ILIKKAN^{1*}

Öne Çıkanlar:

- Laktik asit bakterilerinde tetrasiklin dirençliliği
- Laktik asit bakterilerinde tetA O dirençlilik genleri aranması
- Laktik asit bakterilerinde antibiyotik dirençliliği

Anahtar Kelimeler:

- Tetrasiklin direnci
- Laktik asit bakterisi
- Tüm genom sekansı
- MFS dışı atım pompası
- tetO geni

ÖZET:

Laktik asit bakterileri, endüstride starter kültür veya probiyotik olarak kullanılmaktadırlar. European Food Safety Authority (EFSA) tarafından 2021 yılında yayımlanan raporda gıdalarda kullanılacak bakterilerin tüm genom dizileri üzerinden risk değerlendirmesi yapılması gerekliliği vurgulanmıştır. Bu nedenle, laktik asit bakterilerinde dirençlilik geni araştırmaları önem kazanmıştır. Çünkü antibiyotik direnç genlerinin bağırsak sisteminde bulunan patojen bakterilere aktarılma olasılığı vardır ya da laktik asit bakterilerini barındıran gıdalar aracılığıyla alınmaları olasıdır. Bu nedenle, çalışmada, farklı fermente gıdalardan izole edilen dört laktik asit bakterisi (*Lentilactobacillus buchneri* Egmn17, *Levilactobacillus brevis* Atlas17, *Levilactobacillus namurensis* Ozge01, *Lactiplantibacillus plantarum* Gmze16) ve probiyotik bir bakteri olan *Lactiplantibacillus plantarum* 299v suşu kullanılmıştır. Çalışmada, laktik asit bakterileri arasında en yaygın antibiyotik dirençliliği gözlenen tetrasiklin seçilmiştir. 3 bakterinin tetrasiklin antibiyotiğine orta derecede dirençli (zon çapı 15-18 mm) (299v, Gmze16 ve Egmn17) ve 2 bakterinin duyarlı (zon çapı >19 mm) (Atlas17 ve Ozge01) olduğu belirlenmiştir. Laktik asit bakterilerinin tüm genom sekanslarının incelenmesi sonucu, orta dirençli bakterilerin tetrasikline bağlı antimikrobiyal direnç (AMR) genlerinden *tetA* (MFS dışı atım pompası) ve *tetO*'ya (ribozomal koruma proteini) sahip oldukları görülmüştür. *Levilactobacillus brevis* Atlas17'de ise TetA proteini mevcutken 322. aminoasit sekansında M → T değişimi gözlenmiştir. Ayrıca probiyotik bakteri olan *Lactiplantibacillus plantarum* 299v'nin direnç genlerine sahip olması bu genlerin bağırsaktaki patojenlere aktarılma riskini de arttırmaktadır. *tetA* genine sahip olduğu gözlenen *Levilactobacillus brevis* Atlas17 gibi fenotipi duyarlı olan türler de sessiz dirençlilik genlerine sahip olduklarında bunu diğer bakterilere aktarabilmeleri olasıdır. Bu nedenle genotip ve fenotip birlikte incelenmesi önemlidir.

Investigation of Tetracycline Resistance of Lactic Acid Bacteria by in silico Genotypically in Whole Genome Sequences and Phenotypically

Highlights:

- Tetracycline resistance in lactic acid bacteria was investigated
- Search for in silico tetracycline resistance genes in lactic acid bacteria
- tetA* and *tetO* resistance genes were found in lactic acid bacteria

Keywords:

- Tetracycline resistance
- Lactic acid bacteria
- Whole genome sequence
- MFS efflux pump
- tetO* gene

ABSTRACT:

Lactic acid bacteria are used in industry as starter cultures or probiotics. In the report published by the European Food Safety Authority in 2021, it was emphasized that risk assessment should be carried out on the whole genome sequences of bacteria to be used in foods. Therefore, resistance gene research in lactic acid bacteria has gained importance. Because antibiotic resistance genes are likely to be transmitted to pathogenic bacteria in the intestinal tract or are likely to be ingested through foods containing lactic acid bacteria. Therefore, in this study, four lactic acid bacteria (*Lentilactobacillus buchneri* Egmn17, *Levilactobacillus brevis* Atlas17, *Levilactobacillus namurensis* Ozge01, *Lactiplantibacillus plantarum* Gmze16) isolated from different fermented foods and *Lactiplantibacillus plantarum*, a probiotic bacterium, were used. In the study, tetracycline, which has the most common antibiotic resistance among lactic acid bacteria, was selected. It was determined that 3 bacteria were moderately resistant (zone diameter 15-18 mm) (299v, Gmze16 and Egmn17) to tetracycline antibiotic and 2 bacteria were susceptible (zone diameter >19 mm) (Atlas17 and Ozge01). As a result of examining the whole genome sequences of lactic acid bacteria, it was seen that intermediate resistant bacteria have tetracycline-dependent antimicrobial resistance (AMR) genes *tetA* (MFS efflux pump) and *tetO* (ribosomal protection protein). In *Levilactobacillus brevis* Atlas17, while TetA protein was present, M→T change was observed in the 322nd amino acid sequence. In addition, the fact that the probiotic bacteria *Lactiplantibacillus plantarum* 299v has resistance genes also increases the risk of transferring these genes to pathogens in the intestine. Species that are susceptible to the phenotype, such as *Levilactobacillus brevis* Atlas17, which has been observed to have the *tetA* gene, are also likely to be able to pass it on to other bacteria when they have silent resistance genes. Therefore, it is important to examine genotype and phenotype together.

¹Özge KAHRAMAN ILIKKAN (Orcid ID: 0000-0001-5843-6868), Başkent Üniversitesi, Kahramankazan Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Ankara, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Özge KAHRAMAN ILIKKAN, e-mail: okilikkan@baskent.edu.tr

GİRİŞ

Laktik asit bakterileri (LAB), glikozu homofermentatif ve heterofermentatif olarak katabolize eden ve insan ve hayvanların gastrointestinal (GI) sistemleri ve gıdalar gibi geniş bir ekolojik aralıkta doğal olarak bulunan türlerdir. Bu grubun önemli cinsleri arasında *Carnobacterium*, *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Lactosphaera*, *Leuconostoc*, *Melissococcus*, *Oenococcus*, *Pediococcus*, *Streptococcus*, *Tetragenococcus*, *Vagococcus* ve *Weisella* bulunmaktadır (Rezac vd., 2018). LAB uzun süredir ABD Gıda ve İlaç İdaresi tarafından “Genel olarak güvenli (GRAS)” statüsüne sahiptir (Dec vd., 2018; Narvhus ve Axelsson, 2003; Yörük, Gamze Nuray; Güner, 2010). Ancak, EFSA (European Food Safety Authority) tarafından 2021 yılında yayımlanan raporda artık gıdalarda kullanılacak bakterilerin tüm genom dizileri üzerinden risk değerlendirmesi yapılması gerekliliği vurgulanmıştır (EFSA, 2021). 2018 yılında ise, tüm genom dizileme dahil omiks teknolojilerin bu risk değerlendirmesi için kullanımına ilişkin bir rapor yayımlamıştır (EFSA vd., 2018). Fermente gıdalar tüketildiğinde insan vücuduna çok miktarda canlı bakteri girer. Bu durumda, bu bakteriler eğer mevcutsa antibiyotik direncini patojenik bakterilere aktarabilir. Son 10 yılda, gıda ve yem uygulamalarında LAB kültürlerinin güvenli kullanımına ilgi artmaktadır. Bu ilginin nedeni LAB' nin antibiyotiğe direnç genleri üzerine yapılan önemli çalışmalardır. Tüm dünyada antibiyotik direncindeki tehlikeli artış, yaygın enfeksiyonların tedavi edilmesini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle LAB' nin direnç genlerini barındırması ve iletmesi önemlidir (Sirichoat vd., 2020). LAB, diğer direnç genlerine sahip bakterilerden yatay gen transfer mekanizması ile direnç genlerini alarak çevreye uyum sağlamaktadır (Colautti vd., 2022). Ancak, LAB sadece direnç genlerinin yatay gen transferi ile aktarılmasıyla değil de novo mutasyonlar yoluyla da dirençli hale gelebilmektedir. Ayrıca, yeni direnç mekanizmaları ortaya çıkmakta ve yayılmaktadır (Dec vd., 2018). Bu durum antibiyotiklerin yem, tarım ve veterinerlik uygulamalarında yanlış ve aşırı kullanımı nedeniyle daha da zararlı hale gelmiştir. Fermente süt ürünlerinin bu döngüde hayvansal ürünlerden elde edildiği ve insanlar tarafından tüketildiği düşünüldüğünde bunun önemli bir konu olduğu ortaya çıkmaktadır. Fermente ürünlerden elde edilen LAB' nin starter kültür olarak kullanılabilmesi için belirli özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bu özelliklerden biri de antibiyotiklere karşı direnç genlerinin gelişmiş olmasıdır. Ancak çalışmaların çoğu, LAB' nin birçok antibiyotik direnç geni (ARG) barındırdığını ve linkomisin, tetrasiklin, meropenem, ampisilin, gentamisin, eritromisin, siprofloksasin, kloramfenikol ve vankomisin gibi antibiyotiklere karşı direnç oluşturabileceğini göstermiştir (Ma vd., 2021). ARG'lerin araştırılması, potansiyel yayılma riskini ortaya çıkarmak için önemlidir. Yapılan çalışmalar, tetrasiklin direnç genlerinin fermente süt ve sosislerde LAB arasında yayıldığını göstermiştir (Samtiya vd., 2022). Bu sebeple, Danimarka, Norveç, İsveç, Hollanda, Amerika ve Kanada gibi ülkeler antibiyotik dirençlilik araştırma raporları yayınlamıştır (CDC, 2019; Høg vd., 2021; PHAC, 2021; WHO, 2022). Özellikle starter kültürleri ve probiyotikler antibiyotik direnç genleri açısından değerlendirilmelidir. Son zamanlarda, yüksek verimli dizileme teknikleri ve omiks teknolojileri, antibiyotik direncine olan ilgiyi artırmıştır ve bu yöntemlerle fenotipik ve genotipik dirençliliğin birlikte incelenmesi gerektiği vurgulanmıştır (Nunziata vd., 2022). Çünkü fenotip olarak duyarlı bulunan bir türün tetrasiklin direncine genellikle dışa atım (efflux) pompası, enzimatik veya ribozomal koruma aracılık eder (Chopra ve Roberts, 2001; Thaker vd., 2010; Villedieu vd., 2003). Tetrasiklin direnci, bu mekanizmalarla ilişkili 63 genden oluşur, yani, 36 gen dışa atım (efflux) pompası, 13 gen ribozomal korumayla, 13 gen enzimatik, 11 gen mozaik ribozomal protein koruması ile ilgilidir ve 1 genin (tetU) rolü de bilinmemektedir (Roberts, 2005; Villedieu vd., 2003; Wang vd., 2022). Dışa atım pompaları aynı zamanda çoklu ilaç direnci (MDR) ile de ilişkilidir. Bu pompalar ilaçları ve toksik maddeleri

hücre dışına pompalayarak ilacın hücreyi etkilemesini engellemektedirler (Catalano vd., 2022). MDR ile ilişkili beş dışa atım pompası süper ailesi vardır: ATP Binding Cassette (ABC), Major Facilitator (MFS), Multidrug and Toxic Compound Extrusion (MATE), Resistance- Nodulation - Division (RND) ve Small Multidrug Resistance (SMR) (Piddock, 2006). Sekonder tip ilaca direnç pompalarından olan “Major Facilitator Superfamily (MFS)” nin tetrasikline karşı oluşan dirençten sorumlu olduğu düşünülmektedir (Kaya ve Sarıbaş, 2012). Pek çok çalışmada çeşitli mutasyonların direnci düşürebildiği bazılarının ise etki etmediği gösterilmiştir. Örneğin, 65. pozisyonda bulunan S → A veya C dönüşümü aktiviteyi etkilemezken, 66. pozisyonda bulunan D → E dönüşümü tetrasikline orta seviyede dirençliliği ortaya çıkarmış, yine 66. pozisyonda bulunan D → N dönüşümü ise tetrasiklinin dışarı atımının engellenmesine neden olmuştur (Shen vd., 2019). 257. pozisyonda bulunan H → D veya H → E dönüşümü H⁺ translokasyonunun olmamasına neden olmuştur (Yamaguchi vd., 1991). Yapılan çalışmalarda pek çok tetrasiklin ile alakalı gen dirençlilik ile ilişkilendirilmiştir. Örneğin bir çalışmada, *tetM*, *tet W/N/W*, *tetL*, *tetS*, *tet45*, *tetW*, *tetO* genlerinin tek başına veya kombinasyonu dirençle ilişkilendirilmiştir (Thumu ve Halami, 2012). Bu nedenlerden dolayı, mevcut çalışmada, farklı fermente gıdalardan izole edilen dört laktik asit bakterisi (*Lentilactobacillus buchneri* Egmn17, *Levilactobacillus brevis* Atlas17, *Levilactobacillus namurensis* Ozge01, *Lactiplantibacillus plantarum* Gmze16) ve bir endüstriyel probiyotik bakterinin (*Lactiplantibacillus plantarum* 299v) tetrasiklin direnç genleri *in silico* olarak taranmış, aminoasit dizileri karşılaştırılmış ve fenotipik olarak tetrasiklin direnci Kirby-Bauer Disk Difüzyon Duyarlılık Testi (30 µg/ml TE) ile belirlenmiştir.

MATERYAL VE METOT

Bakteri kültürleri

Bu çalışmada dört adet laktik asit bakterisi, probiyotik bir laktik asit bakteri suşu kullanılmıştır. Tetrasiklin dirençlilik çalışmalarında kontrol suşu olarak *S. aureus* ATCC 29213 seçilmiştir. Egmn17 ve Atlas17 peynirden, Ozge01 salatalık turşusundan ve Gmze16 Kombucha'dan izole edilmiştir, tüm genom dizilimi ile karakterize edilmiş ve genom verileri NCBI'de depolanmıştır. Sadece probiyotik bakteri suşunun draft genom dizisi NCBI'den indirilmiştir. Kullanılan bakteriler ve NCBI accession kodları şu şekildedir; i) *L. buchneri* Egmn17 (Accession: CP110846), ii) *L. brevis* Atlas17 (Accession: CP110089), iii) *L. namurensis* Ozge01 (Accession: JAPDOC000000000), iv) *L. plantarum* Gmze16 (Accession CP107727), v) *L. plantarum* 299v (NCBI'den indirildi, Erişim numarası: GCA_001888735.1)

Bakteri kültürlerinin hazırlanması ve Kirby-Bauer disk difüzyon duyarlılık testi

Laktik asit bakterileri MRS Broth'ta (Merck, Almanya) geliştirilirken, *S. aureus* ATCC 29213 ise Nutrient Broth'ta (Merck, Almanya) geliştirilmiştir. Bakteriler McFarland 0.5 standardına göre ayarlanmıştır. Laktobasiller için MRS agar (Merck, Almanya) veya *S. aureus* için Plate Count Agar (Merck, Almanya) üzerine 0.1 ml bakteri yayılmıştır. Tetrasiklin antibiyotik diskleri (TE, 30 µg/ml, Bioanalyse, Türkiye) steril forseps ile yerleştirilmiştir. *S. aureus* ATCC 29213 37°C'de, 24 saatte, aerobik koşullarda inkübe edilmiştir. Laktik asit bakterileri ise, 37°C'de, 24 saatte, anaerobik kavanozda inkübe edilmiştir. Değerlendirme “Clinical and Laboratory Standards Institute” M02-A11 dokümanına göre yapılmıştır (R: Dirençli (<19mm), M: Orta dirençli (15-18mm), S: Duyarlı (>19mm)) (Franklin R. Cockerill ve ark., 2012).

Tetrasiklin direnç genlerinin *in silico* olarak taranması

Tüm laktik asit bakterilerinin gen bank dosyaları (*.gb formatında) Galaxy-Europe (<https://usegalaxy.eu/>, erişim tarihi Ocak 2023) web aracında, prokka genom anotasyon aracı ile elde

edilmiş ve Geneious Prime® 2022.2.2 (Biomatters Ltd) programına yüklenerek tetrasiklin dirençliliği ile ilişkili genler belirlenmiştir. Belirlenen genler aynı program ile görüntülenmiştir. Ayrıca antibiyotik dirençlilik araştırması için hazırlanan The Comprehensive Antibiotic Resistance Database (CARD) veri tabanı da gen taraması için değerlendirilmiştir (<https://card.mcmaster.ca/home>, erişim tarihi Ocak 2023).

TetA ve TetO proteinlerinin aminoasit dizileri Geneious Prime® ile elde edilmiş ve MEGAX (v.10.0.5) programında MUSCLE alignment aracı ile hizalanmıştır, hizalanan diziler Geneious Prime® 2022.2.2 programında görüntülenmiştir. Bulunan genlere ait aminoasit dizileri NCBI BlastP (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>) aracı ile kontrol edilmiştir.

İstatistiksel analiz

Tetrasiklin direnci ile ilgili istatistiksel analiz JMP Pro 14 programında ANOVA, Tukey HSD yöntemi ile yapılmıştır.

Çizelge 1. Bakterilerin zon çapı (Ortalama \pm SD, n =3). *S. aureus* ATCC 29213 kontrol olarak kullanılmıştır. R: Dirençli (<19mm), M: Orta dirençli (15-18mm), S: Duyarlı (>19mm) (Franklin R. Cockerill ve ark., 2012; Hudzicki, 2016). Birbirinden farklı küçük harfler istatistiksel olarak farkı belirtmektedir (p<0.05).

Bakteriler	Zon çapı (mm)	Duyarlılık
<i>Lactiplantibacillus plantarum</i> 299v	16.0 \pm 0.8 ^c	M
<i>Lentilactobacillus buchneri</i> Egmn17	16.5 \pm 0.6 ^c	M
<i>Lactiplantibacillus plantarum</i> Gmze16	13.5 \pm 1.5 ^d	M
<i>Levilactobacillus brevis</i> Atlas17	22.3 \pm 0.6 ^b	S
<i>Levilactobacillus namurensis</i> Ozge01	20.5 \pm 1.0 ^b	S
<i>S. aureus</i> ATCC 29213	45.3 \pm 0.6 ^a	S

BULGULAR VE TARTIŞMA

In vitro olarak yapılan dirençlilik taramasında probiyotik bakteri de dahil 3 bakteri suşunun orta derecede dirençli olduğu (299v, Egmn17, Gmze16) ve referans bakterisi olan *S. aureus* ile 2 laktik asit bakterisinin de (Atlas17 ve Ozge01) duyarlı olduğu gözlenmiştir (Çizelge 1). Dirençlilik açısından istatistiki olarak Gmze16 anlamlı şekilde farklı çıkarken, Egmn17 ve 299v dirençlilik bakımından farklı çıkmamıştır (Şekil 1). Tetrasiklin için Avrupa Antimikrobiyal Duyarlılık Testi Komitesi tarafından verilen dirençlilik değerlendirmesinde cut-off değeri *Salmonella* ve *E. coli* için 8 μ g/ml verilmiştir (EFSA vd., 2021). Laktik asit bakterileri için henüz net olarak tanımlanmasa da EFSA tarafından *L. plantarum* için 32 μ g/ml olarak verilmiştir (EFSA, 2012).

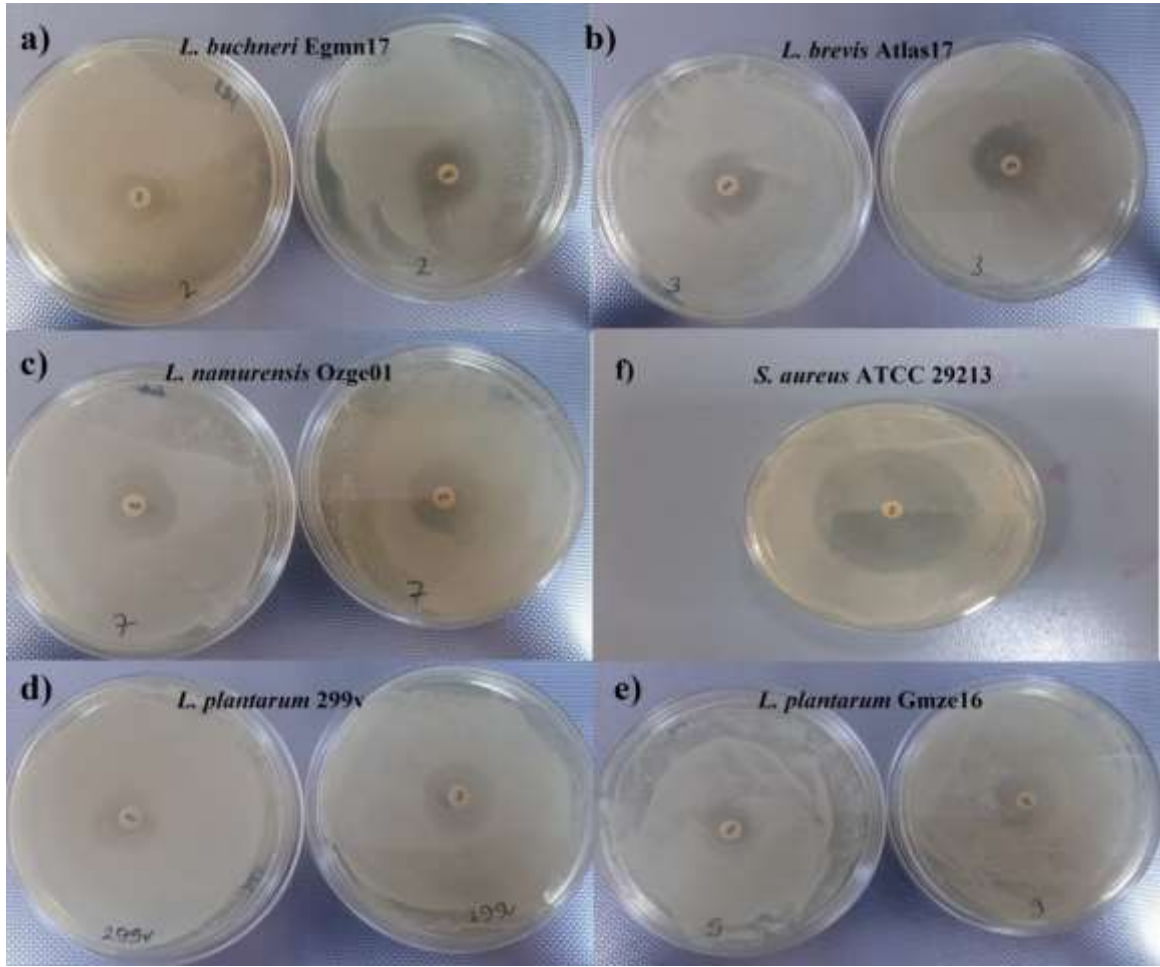
Dirençlilik gen taramasında, orta dirençlilik gözlenen Gmze16 ve 299v'nin bir Major Facilitator Süper Ailesine (MFS) ait "metal-tetracycline/H⁺ antiporter"ı olan dışa atım pompası tetA ve ribozomal koruma proteinini kodlayan tetO genlerine sahip olduğu gözlenirken, Atlas17 ve Egmn17'nin sadece tetA genlerine sahip olduğu gözlenmiştir. Ozge01'in ise hiçbir tetrasiklin dirençlilik genine sahip olmadığı gözlenmiştir (Şekil 2). Gmze16 ve 299v'nin sahip olduğu TetA proteini NCBI protein blast aracı ile kontrol edildiğinde %100 *L. plantarum* "tetracycline resistance MFS efflux pump" olarak bulunurken, Atlas17 için bu oran %99.75 *L. brevis* "tetracycline resistance MFS efflux pump", Egmen17 için %96.77 *L. buchneri* "tetracycline resistance MFS efflux pump" olarak sonuçlanmıştır. Gmze16 ve 299v'nin sahip olduğu diğer direnç geni olan tetO incelendiğinde blast sonucu %100 eşleşme ile *L. plantarum* "TetM/TetW/TetO/TetS family tetracycline resistance ribosomal protection protein" olarak bulunmuştur. TetO proteini için şimdiye kadar mutasyon

belirtilmemiştir. *tetA* ve *tetO* genlerinin birlikte bulunması dirençliliği arttırmaya katkıları olduğunu düşündürmektedir. Şimdiye kadar *tetA* ve *tetO* genini aynı anda barındıran tetrasiklin dirençli laktik asit bakterileri tanımlanmıştır. Ancak, yapılan bir çalışmada, içme suları biyofilmlerinden izole edilen *E. coli* suşlarında *tetA*, *tetB*, *tetC*, *tetD*, *tetE*, *tetG*, *tetK*, *tetL*, *tetM*, *tetO*, *tetS* genleri multipleks polimeraz zincir reaksiyonu yöntemi ile araştırılmıştır. Tetrasikline dirençli suşların *tetA*, *tetB* veya bazı suşların bunların her ikisine birden sahip olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, tetrasiklin dirençliliği için en çok rapor edilen belirteçler arasında enerji bağımlı dışa atım sistemleri olarak *tetA*, *tetB*, *tetC*, *tetE* genleri, ribozomal koruma proteinleri ile ilişkili olarak *tetM*, *tetO*, *tetS* genleri bulunmaktadır (Nikodinoska vd., 2023).

Bakterilerin tüm genom sekansları “The Comprehensive Antibiotic Resistance Database” ile tarandığında bakterilerin hiçbirinde herhangi bir dirençlilik genine rastlanmamıştır bunun sebebi veri tabanının patojen bakteriler için hazırlanmış olmasıdır. Bu da bu veri tabanının laktik asit bakterilerinin pek çoğu için uygun olmayabileceğini göstermektedir.

Tetrasiklin direnç proteini TetA, bir metal-tetrasiklin/H⁺ antiporter olarak işlev gören bir tetrasiklin dışa atım proteindir (Sapunaric vd., 2005; Thaker vd., 2010). Bu çalışmada, Gmze16 ve 299v’de TetA yönünden herhangi bir mutasyon görülmezken, Atlas17’de 322. pozisyonda M→T dönüşümü gözlenmiştir. Egmn17’de ise hem boşluklar hem de aminoasit değişimleri gözlenmiştir (Şekil 3). Yapılan diğer çalışmalarda, *tet(M)* ve *tet(K)*’nin bazı *Lactobacillus* sp. suşlarında tetrasikline fenotipik direnç olmasa bile tespit edildiği gösterilmiştir (Das vd., 2020). Bazı çalışmalarda ise, tetrasiklin direnç genleri olmasa bile fenotipik direnç tespit edilmiştir (Ma vd., 2021). Bu da dirençlilik konusunda bizi sadece tetrasiklin ilişkili genlerin rolü olmadığı belki çoklu direnç genleri ile alakalı başka mekanizmaların dirençliliğe yardımcı olabileceği kanısına yönlendirmektedir.

Laktik asit bakterilerinde dirençlilik fenotipe yansımaya bile bu genlerin bağırsak sisteminde bulunan patojen mikroorganizmalara aktarılma olasılığı vardır ve aktarılan genlerin aktarıldığı bakteride fenotipe nasıl yansıyacağı konusunda henüz bilgilerimiz net değildir (Tóth vd., 2021). Yapılan çalışmalarda laktik asit bakterilerinden bağırsak sisteminde bulunan enterik bakterilere yatay gen transferi olduğu gösterilmiştir (Reenen ve Dicks, 2011). Bu çalışmada kullanılan bakterilerin fermente ürünlerden elde edildiği düşünüldüğünde gıdalarla beraber dirençlilik genlerinin alınma olasılığı yüksektir. Daha önce laktik asit bakteri, bifidobakteriler ve probiyotikler ile yapılan çalışmalarda beş tetrasiklin dirençlilik geni bulunmuştur bunlar; *tet(M)*, *tet(W/N/W)*, *tet(L)*, *tet(S)* ve *tet(45)* olarak belirtilmiştir (Ma vd., 2021). Yeni nesil sekanslamadan önce yapılan dirençlilik çalışmaları geleneksel PCR yöntemleri ile gerçekleştirildiğinden çalışmalar belirli genler üzerinde yoğunlaşmıştır. Yeni nesil sekanslama yöntemleriyle beraber artık tüm genom taranabildiğinden dirençlilik genleri hakkında bilgimiz daha da artacaktır. Laktobasiller şu anda yaygın olarak probiyotik takviyesi olarak kullanılmaktadır ve seçilen suşların antibiyotik duyarlılığı da dahil olmak üzere çeşitli kriterleri karşılaması gerekmektedir. EFSA’nın tavsiyeleri doğrultusunda, dirençli suşları duyarlı suşlardan ayırt etmek için Minimum İnhibisyon Konsantrasyonu (MİK) değerleri belirlenmelidir. EFSA tarafından laktik asit bakterileri ile ilgili çalışmalar yapılmaya başlanmıştır ve tür bazında çeşitli değerlendirmeler yapılmaktadır. Ancak, şu ana kadar çalışılan türler çok sınırlıdır.

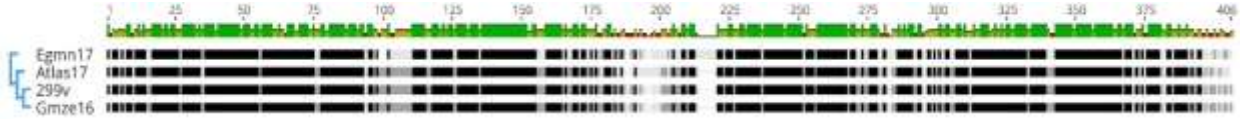


Şekil 1. Laktik asit bakterilerinin tetrasikline direnci, a) *L. buchneri* Egmn17, b) *L. brevis* Atlas17, c) *L. namurensis* Ozge01, d) *L. plantarum* 299v (probiyotik bakteri), e) *L. plantarum* Gmze16 f) *S. aureus* ATCC 29213



Şekil 2. Tetrasiklin dirençliliği ilişkili genlerin genomda yerleşimleri a) *L. brevis* Atlas17 tetA (ClassB), b) *L. plantarum* Gmze16 tetA ve tetO c) *L. plantarum* 299v tetA ve tetO d) *L. buchneri* Egmn17 tetA, *L. namurensis* Ozge01 bakterisinin herhangi bir dirençlilik genine sahip olmadığı görülmüştür

a)



b)



Şekil 3. tetA(a) ve tetO (b) aminoasit sekansı karşılaştırmaları

SONUÇ

Antibiyotik dirençliliği son zamanlarda en çok üzerinde durulan konulardan biridir. Çünkü hem gereksiz antibiyotik kullanımının artışı hem de dirençliliğin bakteriden bakteriye geçme olasılığı antibiyotiklere dirençliliği arttırmıştır. Bu nedenle, son zamanlarda hem gıdalarda hem de starter kültür ve probiyotik özellikteki laktik asit bakterilerinde ve hatta gıdalarda dirençlilik gen arama çalışmaları metagenom ya da tüm genom sekans yaklaşımları ile araştırılmaya başlanmıştır. Araştırmalar artıkça yeni dirençlilik genleri tanımlanmaya ve dirençlilik konusunda yeni bilgiler edinilmeye başlanmıştır. EFSA özellikle son yıllarda yayımladığı raporlarda metabolomik ve tüm genom sekanslama gibi omik teknolojilerle gıdalara entegre edilen bakterilerin antibiyotik dirençliliği ve virulens faktörleri gibi özelliklerinin çalışılması gerektiğini vurgulamaktadır. Bu nedenle bu çalışmada gıdalardan izole edilen ve bir de probiyotik özelliğe sahip bir bakterinin tetrasiklin dirençliliği genotipik ve fenotipik olarak ortaya konulmaya çalışılmıştır. *L. plantarum* daha önce çalışılan bir bakteri olsa da *tetA* geni daha önce tanımlanmamıştır. *L. buchneri*, *L. brevis* ve *L. namurensis* ilk defa bu çalışmada kullanılmış ve dirençlilik bakımından değerlendirilmiştir. *L. brevis*' de olduğu gibi direnç genlerinden birine sahip ve fenotipe yansıtmayan türlerin mevcut olması bu direnç genlerinin tüm genom sekanslama yöntemleriyle araştırılması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

TEŞEKKÜR

Çalışma Başkent Üniversitesi, Gıda Analiz laboratuvarında yapılmıştır. Yazar, teknik destek için Başkent Üniversitesi'ne teşekkür eder.

Çıkar Çatışması

Yazar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmiştir.

KAYNAKLAR

- Catalano, A., Iacopetta, D., Ceramella, J., Scumaci, D., Giuzio, F., Saturnino, C., Sinicropi, M. S. (2022). "Multidrug Resistance (MDR): A Widespread Phenomenon in Pharmacological Therapies". *Molecules*, 1–18.
- CDC. (2019). "Antibiotic Resistance Threats in The United States 2019". Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, 10(1).
- Chopra, I., Roberts, M. (2001). "Tetracycline Antibiotics: Mode of Action , Applications , Molecular Biology , and Epidemiology of Bacterial Resistance", 65(2), 232–260.
- Colautti, A., Arnoldi, M., Comi, G., Iacumin, L. (2022). "Antibiotic resistance and virulence factors in lactobacilli : something to carefully consider". *Food Microbiology*, 103(February 2021), 103934.

- Das, D. J., Shankar, A., Johnson, J. B., Thomas, S. (2020). "Critical insights into antibiotic resistance transferability in probiotic *Lactobacillus*". *Nutrition*, 69, 110567.
- Dec, M., Nowaczek, A., St, D., Wawrzykowski, J., Urban-chmiel, R. (2018). "Identification and antibiotic susceptibility of lactobacilli isolated from turkeys". *BMC Microbiology*, 18(168), 1–15.
- EFSA. (2012). "Guidance on the assessment of bacterial susceptibility to antimicrobials of human and veterinary importance". *European Food Safety Authority Journal*, 10(6), 1–10.
- EFSA. (2021). "EFSA statement on the requirements for whole genome sequence analysis of microorganisms intentionally used in the food chain". *European Food Safety Authority journal*, 19(March).
- EFSA, Aguilera, J., Aguilera-gomez, M., Barrucci, F., Coconcelli, P. S., Davies, H., ... Matthew, C. (2018). "EFSA Scientific Colloquium 24 – ' omics in risk assessment : state of the art and next steps". *European Food Safety Authority Journal*, EN-1512(November), 30.
- EFSA, Amore, G., Beloeil, P.-A., Fierro, R. G., Guerra, B., Papanikolaou, A., ... Stoicescu, A.-V. (2021). "Manual for reporting 2021 antimicrobial resistance data within the framework of Directive 2003 / 99 / EC and Decision 2020 / 1729 / EU European Food Safety Authority (EFSA),". *European Food Safety Authority Journal*, EN-6652(April), 31.
- Franklin R. Cockerill, Wikler, M. A., Alder, J., Dudley, M. N., Eliopoulos, G. M., Ferraro, M. J., ... Hecht, D. W. (2012). "Performance Standards for Antimicrobial Disk Susceptibility Tests ; Approved Standard — Eleventh Edition". *Clinical and Laboratory Standards Institute*, 32(1).
- Høg, B. B., Sønksen, U. W., Duarte, A. S. R., Müller-Pebody, B., Attaoui, M., Lindegaard, M. (2021). "Use of antimicrobial agents and occurrence of antimicrobial resistance in bacteria from food animals, food and humans in Denmark-Danmap". *National Food Institute, Technical University of Denmark*.
- Kaya, N. M., Sarıbaş, Z. (2012). "Mikobakterilerde Dışa Atım Pompaları ve İlaç Direnci". *Türk Mikrobiyol Cem Derg*, 42(3), 81–84.
- Ma, Q., Pei, Z., Fang, Z., Wang, H., Zhu, J., Lee, Y. K., Chen, W. (2021). "Evaluation of tetracycline resistance and determination of the tentative microbiological cutoff values in lactic acid bacterial species". *Microorganisms*.
- Narvhus, A., Axelsson, L. (2003). "Lactic acid bacteria". *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, (1989), 3465–3472.
- Nikodinoska, I., Heikkinen, J., Moran, C. A. (2023). "Antimicrobial Susceptibility Data for Six Lactic Acid Bacteria Tested against Fifteen Antimicrobials". *Data*, 8(1), 1–7.
- Nunziata, L., Brasca, M., Morandi, S., Silveti, T. (2022). "Antibiotic resistance in wild and commercial non-enterococcal Lactic Acid Bacteria and Bifidobacteria strains of dairy origin : An update". *Food Microbiology*, 104(February), 103999.
- PHAC. (2021). "Canadian Antimicrobial Resistance Surveillance System Report-2021". *Public Health Agency of Canada*, 1–118. Tarihinde adresinden erişildi <https://www.canada.ca/en/public-health/services/publications/drugs-health-products/canadian-antimicrobial-resistance-surveillance-system-report-2016.html>
- Piddock, L. J. V. (2006). "Multidrug-resistance efflux pumps — not just for resistance", 4(August), 629–636.

- Reenen, C. A. Van, Dicks, L. M. T. (2011). "Horizontal gene transfer amongst probiotic lactic acid bacteria and other intestinal microbiota: what are the possibilities? A review". *Archives of Microbiology*, 193, 157–168.
- Rezac, S., Kok, C. R., Heermann, M., Hutkins, R. (2018). "Fermented foods as a dietary source of live organisms". *Frontiers in Microbiology*, 9(AUG).
- Roberts, M. C. (2005). "Update on acquired tetracycline resistance genes". *FEMS Microbiology Letters*, 245(2), 195–203.
- Samtiya, M., Matthews, K. R., Dhewa, T., Puniya, A. K. (2022). "Antimicrobial Resistance in the Food Chain: Trends, Mechanisms, Pathways, and Possible Regulation Strategies". *Foods*, 11(19), 1–20.
- Sapunaric, M., Levy, S. B., Levy, S. B. (2005). "Substitutions in the interdomain loop of the Tn10 TetA efflux transporter alter tetracycline resistance and substrate specificity". *Microbiology*, 151, 2315–2322.
- Shen, Y., Stedtfeld, R. D., Guo, X., Bhalsod, G. D., Jeon, S., Tiedje, J. M., ... Zhang, W. (2019). "Pharmaceutical exposure changed antibiotic resistance genes and bacterial communities in soil-surface- and overhead-irrigated greenhouse lettuce". *Environment International*, 131(June), 105031.
- Sirichoat, A., Flórez, A. B., Vázquez, L., Buppasiri, P., Panya, M., Lulitanond, V., Mayo, B. (2020). "Antibiotic susceptibility profiles of lactic acid bacteria from the human vagina and genetic basis of acquired resistances". *International Journal of Molecular Sciences*, 21(7).
- Thaker, M., Spanogiannopoulos, P., Wright, G. D. (2010). "The tetracycline resistome". *Cellular and Molecular Life Sciences*, 67, 419–431.
- Thumu, S. C. R., Halami, P. M. (2012). "Presence of erythromycin and tetracycline resistance genes in lactic acid bacteria from fermented foods of Indian origin", 541–551.
- Tóth, A. G., Csabai, I., Judge, M. F., Maróti, G., Becsei, Á., Spisák, S., Solymosi, N. (2021). "Mobile Antimicrobial Resistance Genes in Probiotics". *Antibiotics*, 10, 1–16.
- Villedieu, A., Diaz-Torres, M. L., Hunt, N., McNab, R., Spratt, D. A., Wilson, M., Mullany, P. (2003). "Prevalence of tetracycline resistance genes in oral bacteria". *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 47(3), 878–882.
- Wang, T., Yao, L., Qu, M., Wang, L., Li, F., Tan, Z., ... Jiang, Y. (2022). "Whole genome sequencing and antimicrobial resistance analysis of *Vibrio parahaemolyticus* Vp2015094 carrying an antimicrobial-resistant plasmid". *Journal of Global Antimicrobial Resistance*, 30(106), 47–49.
- WHO. (2022). "Antimicrobial resistance surveillance in Europe-2022". World Health Organization.
- Yamaguchi, A., Adachi, K., Akasaka, T., Ono, N., Sawai, T. (1991). "Metal-tetracycline/H⁺ antiporter of *Escherichia coli* encoded by a transposon Tn10. Histidine 257 plays an essential role in H⁺ translocation.". *Journal of Biological Chemistry*, 266(10), 6045–6051.
- Yörük, Gamze Nuray; Güner, A. (2010). "Laktik Asit Bakterilerinin Sınıflandırılması ve *Weissella* Türlerinin Gıda Mikrobiyolojisinde Önemi". *Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi*, 6(2), 163–176.

Atf İçin: Çalışkan, B. ve Aksoy, M. (2023). Bazı Yapay Gözyaşı Damllarının İnsan Karbonik Anhidraz Enzimi-II (hCA-II) Üzerindeki İnhibitör Etkileri. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 941-947.

To Cite: Çalışkan, B. & Aksoy, M. (2023). Inhibitor Effects of Some Artificial Tears Drops on Human Carbonic Anhydrase Enzyme-II (hCA-II). *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 941-947.

Bazı Yapay Gözyaşı Damllarının İnsan Karbonik Anhidraz Enzimi-II (hCA-II) Üzerindeki İnhibitör Etkileri

Büşra ÇALIŞKAN^{1*}, Mine AKSOY²

Öne Çıkanlar:

- CA inhibitörleri göz içi basıncını düşürmede ve glokom tedavisinde önemlidir.
- DES ile glokom ilaçları arasında bir ilişki olduğu bilinmektedir.
- DES tedavisinde kullanılan suni gözyaşı damllarının CAII inhibisyonu araştırıldı.

ÖZET:

Karbonik anhidrazlar (CA), canlılarda karbondioksitin hidrasyonu ve bikarbonat anyonunun dehidrasyonu reaksiyonlarını tersinir olarak katalize eden, aktif bölgelerinde çinko iyonları içeren bir metalloenzimdir. Bu çalışmada, insan eritrositlerinden karbonik anhidraz II (hCAII), afinite (sefaroze 4B/L-tirozin-sülfanilamid) kolonu ile saflaştırıldı. Yapay gözyaşı damllarının hCAII izoenzimi üzerindeki inhibitör etkisi araştırıldı. IC₅₀ değerleri sodyum hiyalüronat için 1.01 µL, polivinil alkol+povidon için 140.06 µL, polietilen glikol+propilen glikol için 49.51 µL olarak hesaplandı. Sodyum hiyalüronat için K_i değeri 0.339±0.121 mM olarak bulundu. Bu sonuçlara göre, incelenen üç ilaç arasında uygulama hacmi (mikrolitre) açısından en etkili inhibitörün sodyum hiyalüronat olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler:

- İnsan karbonik anhidraz II
- suni gözyaşı damlları
- inhibisyon

Inhibitor Effects of Some Artificial Tears Drops on Human Carbonic Anhydrase Enzyme-II (hCA-II)

Highlights:

- CA inhibitors are essential in lowering intraocular pressure and treating glaucoma
- There is a relationship between DES and glaucoma medication.
- hCAII inhibition of artificial tear drops used in DES treatment was investigated.

ABSTRACT:

Carbonic anhydrases (CAs) are a metalloenzyme that contains zinc ions in their active sites, and they reversibly catalyze the reactions of hydration of CO₂ and dehydration of HCO₃⁻ in the living. In this study, human carbonic anhydrase II (hCAII) isoenzyme was purified from human erythrocytes by affinity column (Sephacrose 4B-L-tyrosine-sulfanilamide). The inhibitory effect of artificial tear drops on hCAII isoenzyme was investigated. IC₅₀ values were calculated as 1.01 µL for sodium hyaluronate, 140.06 µL for polyvinyl alcohol+povidone, and 49.51 for polyethylene glycol+propylene glycol. The K_i value for sodium hyaluronate was found as 0.339±0.121 mM. According to these results, sodium hyaluronate was the most effective inhibitor in terms of application volume (microliter) among the three drugs examined.

Keywords:

- Human carbonic anhydrase II,
- artificial tears drops,
- inhibition

¹ Büşra ÇALIŞKAN ([Orcid ID: 0000-0002-2430-8769](https://orcid.org/0000-0002-2430-8769)), Republic of Türkiye Ministry of Health, Kağızman State Hospital, Ophthalmology, Kars, Türkiye

² Mine AKSOY ([Orcid ID: 0000-0002-2430-8769](https://orcid.org/0000-0002-2430-8769)), Ataturk University, Faculty of Science, Department of Chemistry, Erzurum, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Büşra ÇALIŞKAN, e-mail: drbusracaliskan@gmail.com

INTRODUCTION

Carbonic anhydrase (CA) is a critical metalloenzyme that contains zinc ions in their active site. It reversibly catalyzes the reactions of hydration of CO₂ and dehydration of HCO₃⁻ in the living organism. CA is widely present in all organisms and participates in varied pathological and physiological processes, such as fluid balance, pH regulation, carbohydrate oxidation and glaucoma (Taslimi et al. 2016).

Various studies have shown that CA I, CA II, and CA IV are the most common isoforms in the human eye. Only CA I and CA II are expressed in the corneal endothelium, while CA II is expressed in both retina and ciliary processes. Isoform CA IV is found in the choriocapillaris and retinal pigment epithelium. These isoforms play an essential role in aqueous humor secretion, which is the main controller of intraocular pressure in the eye (Sugrue, 2000; Mincione et al., 2007; Scozzafava and Supuran, 2014).

CA enzyme activity may play an essential role in maintaining the acid-base balance of the corneal surface fluid by enabling the transepithelial flow of carbon dioxide and bicarbonate anions. The acid-base state of the corneal surface is inevitably affected by this flow. CA I-II-IV are possible candidates for maintaining acid-base balance in the corneal epithelium (Supuran and Simone 2015).

The CA VI activity in rat tears and the CA I-II activities in the interlobular ducts were found by Ogawa et al. (1995). In the rabbit, CA was detected in the acinar cells of the lacrimal gland where lacrimal fluid is secreted. CA II-IV are possible candidates that play a role in tear secretion (Bromberg et al., 1993).

Dry eye syndrome (DES) is a common, chronic and multifactorial disease characterized by tear film instability and damage to the ocular surface, causes symptoms such as burning, pain and visual impairment. The surface of the cornea and conjunctiva, meibomian glands, lacrimal glands and ocular surface innervation form a functional unit (Stern et al., 2013).

Artificial eye drops are the primary drugs used to cure dry eye in all degrees of severity. Many preparations are available, such as sodium hyaluronate, hydroxypropyl guar, polyvinyl alcohol, povidone, and cellulose derivatives (Messmer, 2015)

Loss of tear film and homeostasis of the ocular surface causes dry eye (Craig et al., 2017). Carbonic anhydrase may be one of the critical enzymes providing ocular hemostasis. Therefore, we investigated the inhibitory effects of artificial tear drops containing sodium hyaluronate, polyvinyl alcohol+povidone and polyethylene glycol-propylene glycol, which are frequently used in the cure of dry eye, on human carbonic anhydrase II isoenzyme.

MATERIALS AND METHODS

Materials

Artificial tears

Artificial tear medicines were obtained from the pharmacy. **Sodium hyaluronate**: A single dose drop of 0.3 mL solution contains 0.45 mg sodium hyaluronate (C₂₈H₄₄N₂NaO₂₃: MW: 799.6 g/mol). **Polyvinyl alcohol + povidone**: 0.4 ml contains 5.6 mg of polyvinyl alcohol and 2.4 mg of povidone. **Polyethylene glycol + propylene glycol**: 1 mL of the drug contains 4 mg of polyethylene glycol 400 and 3 mg of propylene glycol.

Method

Enzyme activity assay

The enzyme activity assay described by Verpoorte et al. (1967) was used to measure the esterase activity of the hCA-II isoenzyme. This method is based on the hydrolysis of p-nitrophenyl acetate (PNF) to p-nitrophenol with maximum absorption at 348 nm, catalyzed by the enzyme CA. The increase in absorbance occurring at 348 nm is recorded. The amount of enzyme that hydrolyzes one μmol of PNF to p-nitrophenol in one minute is defined as an enzyme unit.

The affinity chromatography method (Sepharose 4B/L-Tyr-sulfanilamide) was used to purify of CA-II from human erythrocyte cells. First, erythrocyte cells were hemolyzed with ice water. It was centrifuged to remove cell debris (10.000 g, 15 min.). The hemolysate was loaded onto a pre-prepared affinity column (Nalbantoğlu et al., 1996). The hCA-I was firstly eluted from the column using 25 mM pH:6.3 phosphate buffer+1 M NaCl, followed by hCA-II using 0.1 M pH:5.6 acetate buffer+0.5 M NaClO_4 . Purified hCA-II was used in this study. It was dialyzed with tris buffer at pH 7.4.

Polyacrylamide gel electrophoresis (PAGE) in denatured conditions

SDS (sodium dodecyl sulfate)-PAGE method was used at 3% stacking-8% separation gel concentrations to control enzyme purity (Laemmli, 1970). Protein bands were made clear by staining with Coomassie Brilliant Blue R-250. Photographs were taken after the protein bands became apparent.

Inhibition studies

To examine the effects of artificial tear drops on hCA-II activity, enzyme activities were measured at various (at least five different) drug concentrations. 100% activity is measured without artificial tear drops and is considered a control. Activity%-[Inhibitor] graphs were drawn with the calculations made due to the measurement. IC_{50} values (drug concentration causing 50% inhibition) were calculated from these graphs.

The K_i value was determined only for sodium hyaluronate because other teardrops have two active ingredients. For sodium hyaluronate, $1/V-1/S$ values were calculated by measuring activities at five substrate concentrations and three different inhibitor concentrations. Inhibition type and K_i were determined by Lineweaver-Burk plots.

RESULTS AND DISCUSSION

hCA-II was obtained by affinity chromatography with a specific activity of 4771 EU/mg protein. Purification results are given in Table 1.

Table 1. Purification table for hCAII

	Activity (EU/mL)	Protein (mg/mL)	Total volume (mL)	Total activity	Total protein (mg)	Specific activity (EU/mg protein)	Purification fold
Hemolysate	1521.93	65.98	49	74574.57	3233.02	23.07	1
hCA-II	143.13	0.03	3	429.39	0.09	4771	206.81

The purity of the enzyme was demonstrated using the SDS-PAGE method, and a single band visible in Figure 1 confirmed the purity.

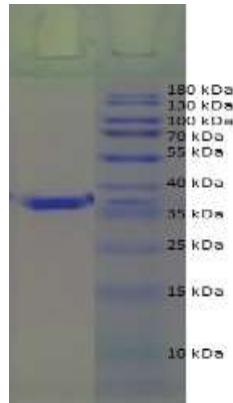


Figure 1. SDS-PAGE photo for hCA-II

Activity%-inhibitor graph and Lineweaver-Burk graph for sodium hyaluronate, %Activity-inhibitor graphs for polyvinyl alcohol+povidone and polyethylene glycol+propylene glycol are given in Figure 2.

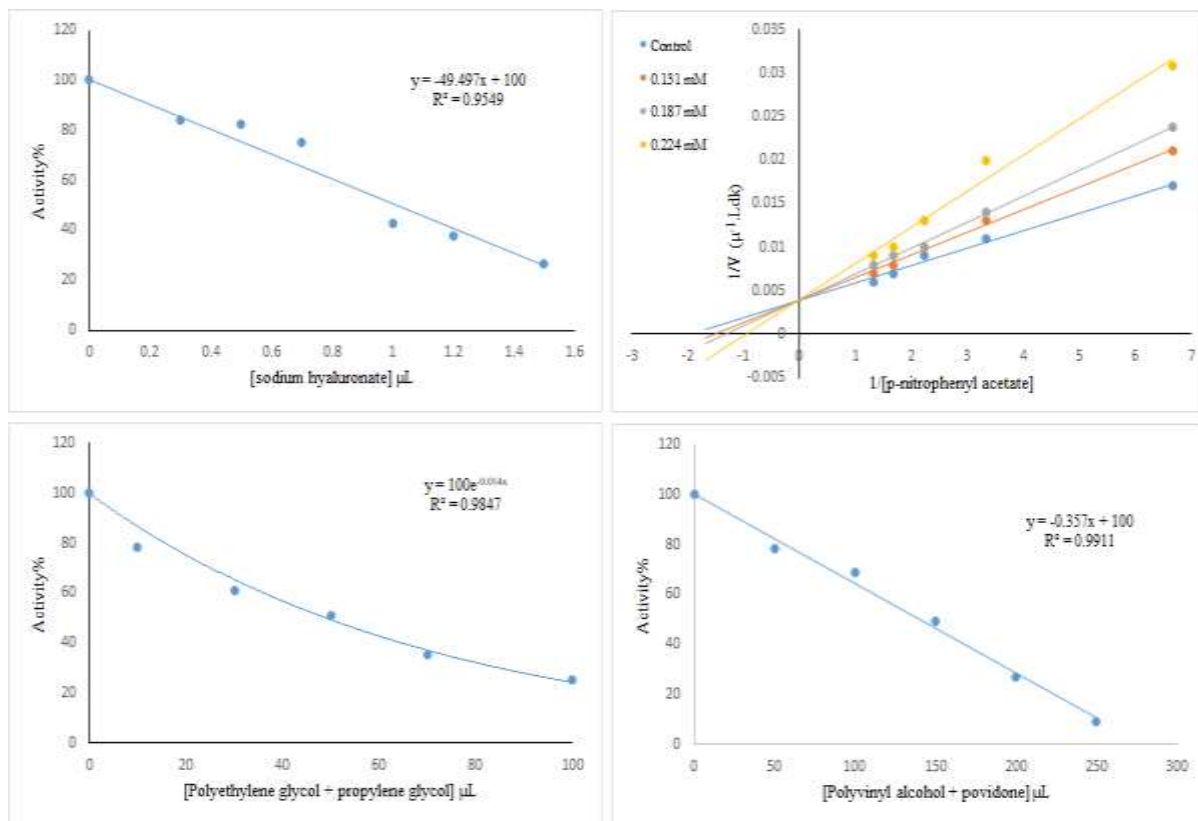


Figure 2. Activity%-inhibitor graph and Lineweaver-Burk graph for sodium hyaluronate, Activity%-inhibitor graphs for polyvinyl alcohol+povidone and polyethylene glycol+propylene glycol

All three artificial tear drops (sodium hyaluronate, polyvinyl alcohol+povidone, and polyethylene glycol+propylene glycol) were found to have an inhibitory effect, and IC_{50} values were determined as 1.01, 140.06 and 49.51 μ L, respectively. While the K_i contents could not be determined since polyvinyl alcohol+povidone and polyethylene glycol+propylene glycol contain two active ingredients, the K_i value for sodium hyaluronate was determined as 0.339 ± 0.121 mM (Table 2). In addition, this inhibitor showed a competitive inhibition type.

Table 2. The inhibition results of artificial tear drops

Inhibitör	IC ₅₀ (µL)	K _i mM
<i>Sodium hyaluronate</i>	1.01	0.339±0.121
<i>Polyvinyl alcohol + povidone</i>	140.06	ND*
<i>Polyethylene glycol + propylene glycol</i>	49.51	ND*

*Not determined

DES is an ocular disorder that causes blurred vision, deterioration of the corneal barrier, eye irritation, and irregular cornea (Bron et al., 2014; Milner et al., 2017). Strong junctions in the apical corneal epithelium have been proven to be disrupted in DES patients, an essential increase in the level and activities of matrix metalloproteinase have been observed in the ocular surface and tear (Wei and Asbell, 2014; Pflugfelder and de Paiva, 2017).

MMPs are a family of calcium and Zn²⁺ ion-dependent enzymes involved in physiological processes such as wound healing, embryogenesis, and bone growth (Cerdà-Costa and Xavier Gomis-Rüth, 2014; Cui et al., 2017). Since MMPs are associated with changes in corneal barrier function observed in the pathophysiology of dry eye, there are many studies investigating the inhibition of MMPs in treatment (Lanza et al., 2016). Considering the structural similarity between carbonic anhydrases and MMPs, which are physiologically expressed metalloenzymes in the eye, there is also a study examining the inhibition of CA isoenzymes (Richichi et al., 2016). Also, glaucoma itself and intraocular pressure-lowering agents have been found to be associated with impaired basal tear cycle (Kuppens et al., 1995; Erb et al., 2008). It has also been reported that patients taking glaucoma medication more often showed symptoms of dry eye syndrome than participants not taking glaucoma medication (Rossi et al., 2009). Glaucoma itself and intraocular pressure lowering agents are associated with impaired basal tear cycle. The incidence of dry eye symptoms in patients with glaucoma 59%. Dry eye causes optical aberrations that may be associated with decreased the retinal image and visual function (Kuppens et al., 1995; Erb et al., 2008; Leung et al., 2008). CA inhibitors play an essential role in ophthalmology as they reduce high intraocular pressures and are used in the treatment of glaucoma (Carradori et al., 2015). CA inhibitors (CAIs) reduce ocular pressure in glaucomatous patients by lowering the rate of bicarbonate formation and, thus the secretion of the aqueous humor (Supuran et al., 2019). If CA in the lacrimal gland is involved in tear secretion, it has been reported in the literature that ionic composition and tear flow may be affected after topical medication use of CA inhibitors to the eye (Wistrand, 2000).

Although none of the current treatment options for patients with DES can successfully regenerate the regular human tear film, the topical application of artificial tear agents to patients to supplement the natural tear film is a safe approach (Labetoulle et al., 2022). In this study, we investigated whether three types of artificial tear drops used in patients with DES cause inhibition of the hCAII isoenzyme (Figure 2). The active ingredients of the artificial tear drops are sodium hyaluronate, polyvinyl alcohol+povidone and polyethylene glycol+propylene glycol.

CONCLUSION

In our study, we investigated the inhibitory effects of artificial tears containing sodium hyaluronate, polyvinyl alcohol+povidone and polyethylene glycol+propylene glycol on hCAII isoenzyme. According to these results, sodium hyaluronate was determined as the most effective inhibitor application volume (microliter) among the three drugs.

CA inhibitors are used in reducing intraocular pressure in the treatment of glaucoma. Antiglaucomatous agents are known to be associated with ocular surface problems. Considering the possible roles of CA activity on acid-base balance in corneal epithelium, tear production and homeostasis

of the ocular surface, the inhibition effect of drugs used in dry eye treatment is suggestive in terms of the effectiveness of treatment.

Also, considering that inhibition of metalloproteinases is essential in the treating of DES, it is noteworthy that CA isoenzymes (especially membrane-dependent CAIV and cytosolic CAII) show similarities with zinc-dependent metalloproteinases. It is suggest that the inhibition effect of artificial tear drops used in the treatment of DES in the study will help to consider the assumptions of a connection between DES treatment and CA inhibition in future studies.

Conflict of Interest

The article authors declare that there is no conflict of interest between them.

Author's Contributions

The authors declare that they have contributed equally to the article.

REFERENCES

- Bromberg, B.B., Welch, M.H., Beuerman, R.W., Chew, S-J., Thompson, H.W., Ramage, D., Githens, S., (1993). Histochemical distribution of carbonic anhydrase in rat and rabbit lacrimal gland. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 34: 339-348
- Bron, A. J., Tomlinson, A., Foulks, G. N., Pepose, J. S., Baudouin, C., Geerling, G., ... & Lemp, M. A. (2014). Rethinng dry eye disease: a perspective on clinical implications. *The Ocular Surface*, 12(2), S1-S31.
- Candia, O.A., (1996). A novel system to measure labelled CO₂ and HCO₃ fluxes across epithelia: corneal epithelium as model tissue. *Experimental Eye Research*, 63:137–149
- Carradori S, Mollica A, De Monte C, Ganese A, Supuran CT. (2015) Nitric oxide donors and selective carbonic anhydrase inhibitors: a dual pharmacological approach for the treatment of glaucoma, cancer and osteoporosis. *Molecules*, 20:5667-5679.
- Cerdà-Costa, N., & Xavier Gomis-Rüth, F., (2014). Architecture and function of metallopeptidase catalytic domains. *Protein Science*, 23(2), 123-144.
- Craig, J.P., Nelson, J.D., Azar, D.T., (2017). TFOS DEWS II Report Executive Summary. *Ocular Surface*,15(4):802–812.
- Cui, N., Hu, M., & Khalil, R. A. (2017). Biochemical and biological attributes of matrix metalloproteinases. *Progress in Molecular Biology and Translational Science*, 147, 1-73.
- Erb, C., Gast, U., & Schremmer, D. (2008). German register for glaucoma patients with dry eye. I. Basic outcome with respect to dry eye. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 246, 1593-1601.
- Kuppens, E. V., VAN BEST, J. A., Sterk, C. C., & DE KEIZER, R. J. (1995). Decreased basal tear turnover in patients with untreated primary open-angle glaucoma. *American Journal of Ophthalmology*, 120(1), 41-46.
- Labetoulle, M., Benitez-del-Castillo, J. M., Barabino, S., Herrero Vanrell, R., Daull, P., Garrigue, J. S., & Rolando, M. (2022). Artificial tears: biological role of their ingredients in the management of dry eye disease. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(5), 2434.
- Laemelli, D. (1970). Cleavage of structural proteins during in assembly of the head of bacteriophage. *Nature*, 15;227(5259):680.
- Leung, E. W., Medeiros, F. A., & Weinreb, R. N. (2008). Prevalence of ocular surface disease in glaucoma patients. *Journal of Glaucoma*, 17(5), 350-355.
- Lanza, N. L., Valenzuela, F., Perez, V. L., & Galor, A. (2016). The matrix metalloproteinase 9 point-of-care test in dry eye. *The Ocular Surface*, 14(2), 189-195.
- Messmer EM, (2015). The pathophysiology, diagnosis and treatment of dry eye disease. *Deutsches Arzteblatt International*, 112: 71–82.
- Milner, M. S., Beckman, K. A., Luchs, J. I., Allen, Q. B., Awdeh, R. M., Berdahl, J., ... & Yeu, E. (2017). Dysfunctional tear syndrome: dry eye disease and associated tear film disorders–new strategies for diagnosis and treatment. *Current Opinion in Ophthalmology*, Jan;27 Suppl 1(Suppl 1):3-47.

- Mincione F, Scozzafava A, Supuran CT. (2007) The development of topically acting carbonic anhydrase inhibitors as anti-glaucoma agents. *Current Topics in Medicinal Chemistry*, 7:849-854.
- Nalbantoğlu, B., Demir, N., Özdemir, H., & Küfrevioğlu, Ö. İ. (1996). A new method for the purification of carbonic anhydrase isozymes by affinity chromatography. *Turkish Journal of Medical Sciences*, 21, 159–162.
- Ogawa Y, Toyosawa S, Inagaki T, Hong SS, Ijuhin N, (1995). Carbonic anhydrase VI in rat lacrimal gland. *Histochemistry and Cell Biology*, 103: 387-394
- Parham Taslimi, İlhami Gulcin, Bunyamin Ozgeris, Suleyman Goksu, Ferhan Tumer, Saleh H. Alwasel & Claudiu T. Supuran (2016). The human carbonic anhydrase isoenzymes I and II (hCA I and II) inhibition effects of trimethoxyindane derivatives, *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 31:1, 152-157
- Pflugfelder, S. C., & de Paiva, C. S. (2017). The pathophysiology of dry eye disease: what we know and future directions for research. *Ophthalmology*, 124(11), S4-S13.
- Richichi, B., Baldoneschi, V., Burgalassi, S., Fragai, M., Vullo, D., Akdemir, A., & Nativi, C. (2016). A divalent PAMAM-based matrix metalloproteinase/carbonic anhydrase inhibitor for the treatment of dry eye syndrome. *Chemistry–A European Journal*, 22(5), 1714-1721.
- Rossi, G. C. M., Tinelli, C., Pasinetti, G. M., Milano, G., & Bianchi, P. E. (2009). Dry eye syndrome-related quality of life in glaucoma patients. *European Journal of Ophthalmology*, 19(4), 572-579.
- Scozzafava A, Supuran CT. (2014) Glaucoma and the applications of carbonic anhydrase inhibitors. *Subcell Biochemistry*, 75:349-359.
- Stern ME, Schaumburg CS, Pflugfelder SC, (2013). Dry eye as a mucosal autoimmune disease. *International Reviews of Immunology*, 32: 19–41
- Sugrue MF. (2000) Pharmacological and ocular hypotensive properties of topical carbonic anhydrase inhibitors. *Progress in Retinal and Eye Research*, 19:87-112.
- Supuran, C. T., & De Simone, G. (Eds.). (2015). *Carbonic anhydrases as biocatalysts: from theory to medical and industrial applications*. Elsevier.
- Supuran, C. T., Altamimi, A. S. A., & Carta, F. (2019). Carbonic anhydrase inhibition and the management of glaucoma: a literature and patent review 2013-2019. *Expert Opinion on Therapeutic Patents*, 29(10), 781-792.
- Verpoorte, J. A., Mehta, S., & Edsall, J. T. (1967). Esterase activities of human carbonic anhydrases B and C. *Journal of Biological Chemistry*, 242, 4221–4229.
- Wei, Y., & Asbell, P. A. (2014). The core mechanism of dry eye disease (DED) is inflammation. *Eye & Contact Lens*, 40(4), 248.
- Wilbur, K. M., & Anderson, N. G. (1948). Electrometric and colorimetric determination of carbonic anhydrase. *Journal of Biological Chemistry*, 176(1), 147–154.
- Wisstrand, P. J. (2000). Carbonic anhydrase inhibition in ophthalmology: carbonic anhydrases in cornea, lens, retina and lacrimal gland. *EXS*. 2000;(90):413-24

Low Power Electronic Voltage Transformer Design and Construction

Yusuf KILINÇ^{1*}, Ali Fuat BOZ²

Highlights:

- Voltage sensor
- Resistive Transformer
- IEC 61689-11

Keywords:

- Voltage sensor
- Electronic voltage transformer
- Instrument transformer
- Ferroresonance
- Voltage transformer

ABSTRACT:

The use of advanced low-power sensing technologies instead of traditional solutions used in the distribution, measurement and control of the power grid has introduced core instrument transformers due to their physical limitations and other reasons. This situation has also brought about the design of low-power voltage transformers. As can be understood from here, analogue measurement and control systems used in power centres are approaching the end of their useful life. This substations need digital automation solutions and new technologies for more efficient performance. Since no iron core is used in the low-power electronic voltage transformer structure, it is robust against network disturbances such as ferroresonance and ferroresonance formation is not encountered. In this study, a low-power electronic voltage transformer is designed and performed experiments are presented. The most essential feature expected in a voltage sensor is that the conversion rate is precise and unchanging. For this reason, the temperature coefficient and leakage capacitance values of the voltage sensor have been designed to have the lowest margin of error. Performance tests were applied to the voltage sensor using mains frequency endurance, partial discharge, accuracy class, linearity and temperature distribution tests. The results of the performance tests show that it has been successfully applied for the design of a precision voltage sensor with an accuracy class conforming to the IEC 61689-11 standard.

¹ Yusuf KILINÇ ([Orcid ID: 0000-0002-2480-5765](https://orcid.org/0000-0002-2480-5765)), Sakarya Applied Sciences University, Faculty of Technology, Department of Electrical and Electronic Engineering, Sakarya, Türkiye

² Ali Fuat BOZ ([Orcid ID: 0000-0001-6575-7678](https://orcid.org/0000-0001-6575-7678)), Sakarya Applied Sciences University, Faculty of Technology, Department of Electrical and Electronic Engineering, Sakarya, Türkiye

***Sorumlu Yazar/Corresponding Author:** Yusuf KILINÇ, e-mail: kilincyusuf2281@gmail.com

Was produced from the master thesis of Yusuf KILINÇ.

INTRODUCTION

Inductive voltage transformers are widely used in medium voltage measurement systems, mainly for voltage measurement. With the increasing capacity of the power system and the higher voltage of the power transmission system, the inductive voltage transformer insulation structure becomes more and more complex, high cost and heavier. Therefore, it is a more complex structure for installation. In addition, many problems arise in inductive voltage transformers, such as magnetic saturation, the formation of ferroresonance and a short circuit. As the demands of improving and improving the power system have increased, measurement and protection systems have become intelligent, computerized and digital. In the systems developed due to this, there is no need for a transformer output signal with high-rated power. The system essentially needs electronic voltage transformers. Therefore, the development and application of low-power electronic voltage transformers (voltage sensors) have become an inevitable demand. This kind of transformer uses electric voltage divider technology, without using any iron core in the structure. Electronic voltage transformers are based on the principle of resistive and capacitive voltage dividers as the working principle(Wang et al., 2009).

Knowledge of power network state variables is an essential requirement for power system stability in innovative grid systems. It uses instrument transformers to measure node voltages and currents as state variables. Due to the widespread use of distributed generation, especially at a medium voltage levels, studies on medium voltage instrument transformers are still used today. While inductive voltage and current transformers are old or traditional medium voltage instrument transformers, low-power electronic voltage and current transformers are called new generation low-power electronic instrument transformers. Low-power electronic voltage transformers (voltage sensors) have a smaller size and lighter weight than inductive voltage transformers. It also provides easier installation in harsh environments compared to inductive voltage transformers. The secondary rated voltage of the voltage sensor (3.25 V and this voltage divided by $\sqrt{3}$) is lower than the inductive voltage transformer (100-110-115-120-200-230 V and these voltages divided by $\sqrt{3}$). Therefore, considering distributed networks, voltage sensors are preferred in smart grids(Ghaderi et al., 2020).

In addition, while searching for a fault in the feeder on the grid, inductive voltage transformers in the medium voltage measuring cells give a short-circuit error when the insulation test is applied on this feeder to find out which transformer the fault originates from. For this reason, all inductive voltage transformers on the feeder must be separately controlled. This is a significant waste of time. On the other hand, when the insulation test is applied to the feeder on the grid where the voltage sensor is used, the voltage sensor will not show a short circuit feature. Thus the problem of controlling all transformers in the feeder will be eliminated.

All electrical measurements required to organise the power system are generally obtained from voltage and current signals extracted from instrument transformers. The metrological requirements of instrument transformers are unified under the IEC 61689 standard. While IEC 61869-2 and 3 chapters deal with inductive current and voltage transformers, respectively, IEC 61869-10 and 11 explain the new generation low-power electronic instrument transformer requirements for current and voltage, correspondingly. The purpose of the above standards is to express the requirements of transformers in terms of accuracy and tests to be performed for possible different operating conditions. However, standards do not always cover and address all possible existing conditions that may apply(Mingotti et al., 2020).

Recently, electronic voltage transformers have received more attention in the literature than inductive voltage transformers. One of the most important features of electronic voltage transformers is

ability to perform real-time network control with the highest efficiency, speed and accuracy with smart grids and distributed energy sources. These reasons have necessitated new features for inductive voltage transformers. For the systems to work under real-time feedback control, an accurate measurement process must be performed. Regarding non-nominal frequency, the protection relays should now turn on faster than before (within a few ms instead of tens of ms). However, given that energy no longer flows in one direction (since multiple producers or consumers are now connected to the feeder on the same grid), in order to correctly divide energy production revenues and for proper reactive energy injection into the grid, accurate energy and power measurements must be made. Again, the mass placement of secondary substations and metering nodes has also caused space and size restrictions. For this reason, reducing the dimensions of all electrical apparatus and systems has become a crucial parameter (Mingotti et al., 2018).

The conversion rate, temperature coefficient and leakage capacitance of the voltage sensor are mainly taken into account in the design. For this reason, high-voltage resistors with high value and good stability have been selected compared to other voltage sensors made in the literature. A toroid-type electrode was used to ensure the accuracy of the accuracy class, the minimum size of the corona discharge and leakage capacitors. The mould design of the voltage sensor is proportional to the resistors. Thus, the electrical shielding method is also applied, and leakage capacitance and leakage currents are minimized in the mould design.

In this study, modelling, design, testing and measurements of the voltage sensor according to IEC 61689-11 standards were performed, and the obtained data were shared.

MATERIALS AND METHODS

Low-Power Electronic Voltage Transformer Modelling

Low-power electronic voltage transformers work based on the voltage divider principle. Voltage dividers with resistive or capacitive elements are used as a typical design.

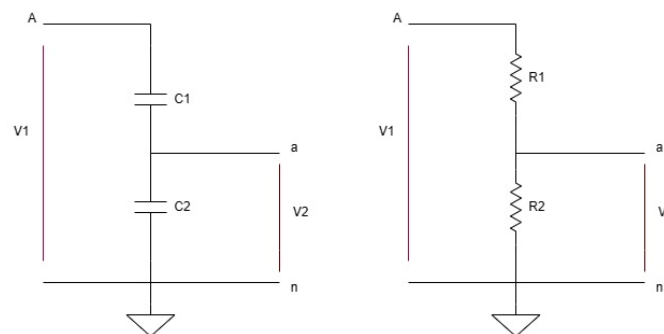


Figure 1. Working principle of capacitive and resistive low-power electronic voltage transformer

The most widely used type in the literature is the low-power electronic voltage transformer based on the resistive voltage divider principle. This structure consists of two voltage divider resistors into which the high voltage V_1 (in kV orders) is divided, as seen in Figure 1. The aim here is to reach a voltage value that will represent V_1 but proportionally much lower. Therefore, the resistor value R_1 is chosen very high compared to R_2 and is fixed according to the turn ratio requirements. The input-output relationship of a resistive transformer is as follows:

$$v_2 = v_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (1)$$

The voltage divider principle is also valid for capacitive low-power electronic voltage transformers. However, since the capacitor resistance (capacitive reactance) is inversely proportional to

the capacitance, the capacitor C2 is chosen to be larger in order to obtain a lower capacitive reactance than C1. Thus, as with a resistive electronic voltage divider, the input-output relationship of a capacitive transformer can be shown as follows (Mingotti et al., 2020).

$$v_2 = v_1 \frac{c_1}{c_1+c_2} \quad \text{or} \quad v_2 = v_1 \frac{Xc_2}{Xc_1+Xc_2} \quad (2)$$

Design

Measurement in high voltage systems is more complicated than in low voltage systems due to the very high voltage amplitude and cannot be measured directly. Therefore, the measurement process in these systems is only possible by reducing the high voltage to the voltage level that can be measured with low voltage measuring devices. For this process, a voltage divider or a voltage measurement transformer (converting elements) is used. The high voltage value is converted into a low voltage value, and measurement is made with different measuring instruments (such as voltmeters, oscilloscopes, instruments for imaging and monitoring). The accuracy of the measurements varies according to the characteristics of the transducer elements. The output voltage of the converter elements used for high voltage measurements should be proportional to the characteristics of the value at their inputs (Ryan, 2001).

Resistive voltage dividers are the most widely used systems in the literature for high voltage measurements. The arm in which the output voltage value is measured in the resistive voltage divider is called the low voltage resistance arm, while the resistance arm in which the high voltage value is applied is called the high voltage resistance arm. Depending on the conversion ratio of the voltage divider, the values of the resistors used in the resistor arms may vary. The conversion ratio of a voltage divider must be measured with absolute accuracy. The voltage divider conversion ratio should be independent of current, voltage and temperature. As the voltage value applied in the divider increases, the resistance value can also change. According to Ohm's law, with the increase in voltage value, the current value passing through the resistor increases and a temperature increase is observed in the resistor in direct proportion to the increasing current value. With heating, the resistance value will change depending on the temperature coefficient. A change in the resistance value will cause a change in the voltage divider conversion ratio. The value of the voltage, the insulation materials used in the divider structure, and the surface and ambient conditions cause leakage currents. As the voltage value applied in the voltage divider increases, the electric field level also increases. The increase in the electric field level causes the formation of a corona. The power loss caused by the corona, on the other hand, affects the conversion rate accuracy with its effects, such as electromagnetic compatibility and heating (Kuffel et al., 2000).

The resistors used in the voltage sensor are placed in series between the high-voltage electrode and the low-voltage electrode. In this way, the irregularity caused by the voltage distribution that will occur in the low and high-voltage arms of the voltage sensor is minimized. With the toroid-type electrode used on the top of the voltage sensor, leakage currents and the effect of the corona are prevented.

Resistor selection

The resistors should be high-voltage resistors with high value and good stability. Types of resistors with these properties include solid-film resistors, metal-film resistors, single-winding resistors, and metal-oxide film resistors.

While the maximum value of the film resistors in production can only reach 10 Mega Ohm, the maximum operating voltage is 35 kV. Although the synthetic carbon film resistor can be made of a high-value and high-tensile type, its voltage stability is poor. Therefore, they are not preferred in practical use. Moreover, high-voltage and high-value metal film resistors can reach up to 200 Mega Ohms. With

this feature, they look like a suitable resistance structure for maximum operating voltage. The value of wire-wound resistors can be up to 5 Mega Ohms. Therefore, the maximum operating voltage is limited to around a few hundred volts; in other words, it is not a suitable candidate for a high-voltage divider. Moreover, with the development of materials and electronic technology, resistors chosen for voltage measurement in medium voltage power systems can become high-voltage and high-value thick film resistors. Thick film resistors are made by printing resist paste on a substrate, followed by heating and drying. It consists of resistance paste, conductive materials, glass binders and some organic binders. Thick film resistors with different properties can be obtained by changing the ratio of the materials used in the resistor paste. The value of the resistors produced in this way can reach a maximum of 2 Giga Ohms, and the operating voltage can reach 40 kV. The voltage and temperature coefficient can be made lower, which can meet the design requirements of the voltage sensor. The resulting resistor size is small as can be seen in Figure 2.



Figure 2. High voltage thick film resistor

Performance analysis of voltage divider

Resistive voltage dividers have excellent dynamic properties and are suitable for measuring AC, DC voltage and impulse voltage. Moreover, there is also a measurement error caused by the resistive voltage divider. The leading cause of this error is the distributed capacitance value caused by the natural electric field between the resistive voltage divider and the surrounding earth's potential objects. In addition, the stability of the resistor element will bring errors such as corona discharge of the high voltage electrode and leakage current of the insulator support.

Effect of changes in heat or ambient temperature

The influence of temperature on the resistance value is expressed by the temperature coefficient. The transformation ratio of the voltage divider will be as shown in Equation 3 for temperature changes ΔT , where K_y and K_a are the temperature coefficients of the resistance of the high and low voltage branches, respectively.

$$k = \frac{R_1 + \Delta R_1}{R_2 + \Delta R_2} = \frac{R_1 + K_y \Delta T R_1}{R_2 + K_a \Delta T R_2} \quad (3)$$

If the temperature coefficients of the two arms are equal, that is, the resistance value of the high and low voltage arms varying with temperature is the same.

Equation 4 shows that although the temperature change causes the resistance change, after the proportional relationship, the resistance change is balanced, and the ratio of the voltage divider is not affected.

$$k = \frac{R_1 + \Delta R_1}{R_2 + \Delta R_2} = \frac{R_1 + K_y \Delta T R_1}{R_2 + K_a \Delta T R_2} = \frac{R_1}{R_2} \quad (4)$$

If the temperature coefficients of the two arms are not equal, it will cause errors in the measurement. Equation 5 shows the proportional relationship of the temperature difference between the high and low-voltage arms.

$$\Delta K = K_y - K_a \quad (5)$$

Equation 6, below shows that the temperature coefficient difference between the high and low-voltage branch resistors is directly proportional to the effect of temperature on the conversion rate.

$$k = \frac{R_1 + K_y \Delta T R_1}{R_2 + K_a \Delta T R_2} = \frac{R_1 + K_y \Delta T R_1 + \Delta K \Delta T R_1}{R_2 + K_a \Delta T R_2} = \frac{R_1}{R_2} \left(1 + \frac{\Delta K \Delta T}{1 + K_a \Delta T} \right) \quad (6)$$

Voltage Sensor Technical Values

The turning ratio of the designed voltage sensor will be $20/\sqrt{3} / 3.25/\sqrt{3}$. While determining the turning ratio of the voltage sensor, the operating voltage of the product has the same characteristics as the inductive voltage transformer. The most significant difference is in the secondary rated voltage values. Secondary rated voltage values of inductive voltage transformers; 100-110-115-120-200-230 V, and these voltages are divided by $\sqrt{3}$. In a standard voltage sensor, the secondary rated voltage value is 3.25 V, and this voltage is divided by $\sqrt{3}$.

In inductive voltage transformers, the secondary rated voltage is generally preferred as $100/\sqrt{3}$ V for meter counters and $100/3$ V for protection devices. Therefore, the nominal values of the electronic device (measurement and protection devices) to be connected to the secondary must be of a type that can provide this voltage value. An example of this is the REF615 relay. In addition, the input impedances ($2M\Omega$ -50pF) of the measuring instruments to be connected to the secondary should be selected at the appropriate value, and the loading effects on the secondary should be minimized. Thus, measurement errors will be minimized.

As mentioned above, while the secondary rated voltage of a standard voltage sensor is 3.25 V and this voltage is equal to $\sqrt{3}$, there may be differences in this value depending on the transformer design to be requested. Depending on the demand, a voltage sensor design with the same value as the secondary rated voltage of the inductive voltage transformer is also possible. The most crucial point to be considered in such a tension sensor is that the rotation ratio can be provided with a real sensitivity. The designed tension sensor and its technical values are given in Figure 3.



Figure 3. Technical values of the designed tension sensor

Tension Sensor Structure

The designed tension sensor is shown in Figure 4. As seen in the figure, two different resistors are used in the sensor structure. These resistors have low tolerance (0.5%) and low-temperature coefficient. In order to keep the contact resistances of these resistors connected in series with each other low, copper alloy connection material is used and the formation of spikes in the connection is avoided. While the resistance on the high voltage side has a very high power (watt) in the Mega Ohm range, and due to the lightning impact effect, the resistance on the low voltage side has a low-power in the order of Kilo Ohms.

A surge arrester is connected in parallel with the resistor on the low voltage side against sudden voltages. It is aimed to minimize the error in the measurement by applying electrical shielding on the resistors due to pollution, humidity, electromagnetic disturbances and leakage currents. Necessary connections in the mould design of the transformer were made using brass blind nuts, and insulation was provided by pouring epoxy resin. A coaxial cable is used at the secondary output of the voltage sensor.



Figure 4. Design view of the transformer

RESULTS AND DISCUSSION

In this section, the tests and measurements made with the designed and built tension sensor are discussed, and the results are given.

Mains frequency voltage withstand the test

The corona effect in the voltage sensor can change the electric field distribution proportionally. Parts such as the electrodes of the voltage sensor, connecting materials and electrical components are designed in a way that does not allow a corona formation. In this section, the voltage withstands the test of the voltage divider under high voltage with mains frequency has been carried out. Since the highest mains voltage of the designed voltage sensor is 24 kV; For the insulation test, the mains frequency breakdown voltage was chosen as 50 kV, and this value was applied to the sensor for one minute. During the insulation test, a high-voltage connection was made to the primary terminal of the voltage sensor, and the secondary circuit was grounded by short-circuiting. As seen in Figure 5, no puncture, jumping or corona formation was observed in the voltage sensor applied to 50 kV for one minute.

The specified test procedure was carried out according to the standard given in Table 1, depending on the maximum voltage value that can be seen in the grid and the insulation amount of the transformer design.

Table 1. Main's frequency voltage withstands standard test values

Maximum U_m voltage for hardware (Active) kV	Rated mains frequency breakdown voltage (Active value) kV
3.6	10
7.2	20
12	28
17.5	38
24	50
36	70
Operating Voltage of the Product	Breakdown Voltage of the Product



Figure 5. Insulation test image of the transformer below 50 kV

Partial discharge test

Electrical partial discharge is a general name given to the electrical discharge or sparks that occur with the dielectric material between two conductive electrodes, which cannot form a full bridge due to gaps in its structure. In summary, the energy discharged through the insulation material between two active conductors for partial discharge can also be called.

In order to make partial discharge measurements at the rated voltage of the low-power electronic voltage transformer, a high voltage laboratory a partial discharge measuring apparatus was used. While measuring, two different partial discharge measuring devices were compared. These devices are a partial discharge oscilloscope an MPD600 device, a measurement and analysis unit that allows the most precise detection, recording and analysis of partial discharge events.

Omicron's partial discharge (partial discharge - PD) measurement system, MPD series, is an innovative and high-tech product developed to determine insulation errors as accurately as possible. Thus, it detects even the weakest partial discharge signals and ensures that insulation-related failures that may occur in expensive equipment produced and commissioned at high costs are detected much earlier.

At the beginning of the partial discharge test, the measuring apparatus was calibrated at 50 PC with the partial discharge calibrator. In order to test the voltage sensor with a nominal voltage of 24 kV by the standard, voltage levels of 16.6 kV ($1.2 \cdot U_m / \sqrt{3}$) and 28.8 kV ($1.2 U_m$) should be used, and in this situation, the partial discharge values should not exceed 50 PC. It has been set that the amount of discharge originating from the test environment varies between 10 and 5 PC. After applying a voltage to the transformer, it was observed. That the partial discharge load changed between 20 and 12 PC, that is, the transformer did not exceed the maximum value specified in the standard (50PC), and a partial discharge did not occur. In Figure 6, the image of the partial discharge event seen in the MPD600 device is given.

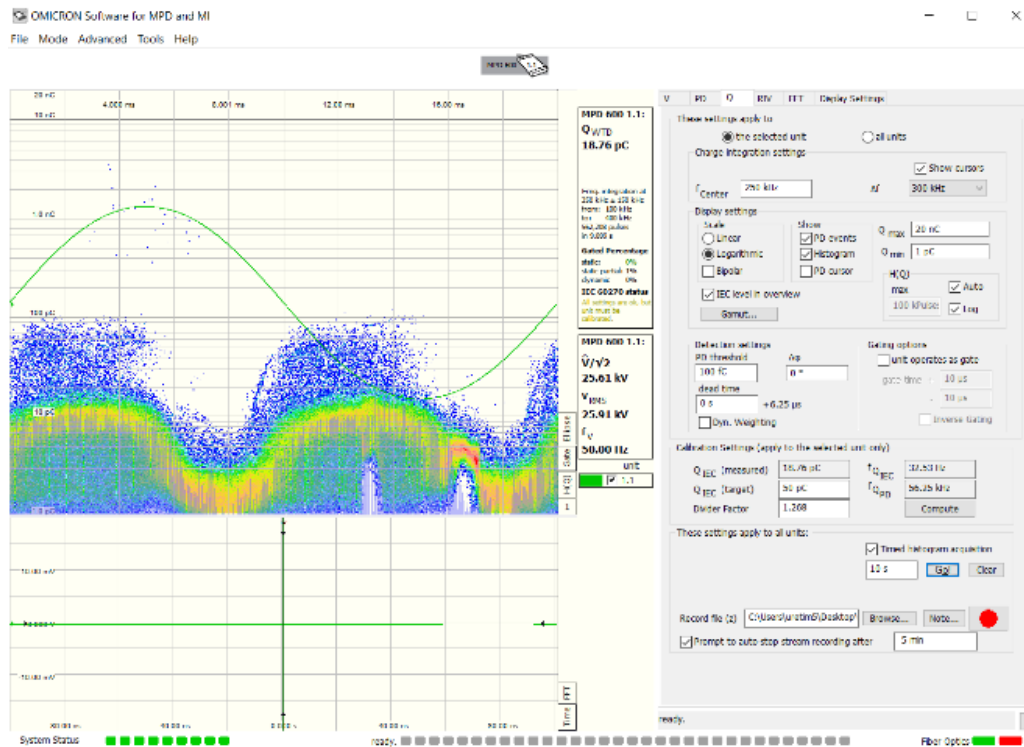


Figure 6. Image of partial discharges of the transformer at rated voltage

Accuracy class determination experiment

The most essential feature expected in the voltage sensor is that the conversion ratio is sure and unchanging. However, the conversion rate can vary depending on many factors. The most important of these factors is the voltage applied to the primary voltage sensor. For this reason, the voltage sensor was kept under a constant voltage of $U_1 = 20 \text{ kV}$ for 8 hours; during this time, the output voltage value of U_2 was measured every 30 minutes, and the conversion ratio value was calculated as $K = U_1/U_2$. It was determined that the conversion rate changed within the first 5 hours and remained constant between the 5th and 8th hours.

It took 5 hours to provide the current ($I = U/R$) passing through the voltage sensor depending on the voltage, the lost power ($P = RI^2$) and the thermal balance ($W = P.t$) depending on the current. It has been observed that the flat conversion rate reached at the end of the 5 hours differs from the actual conversion rate. It can be said that the reason for this is the measurement error resulting from changing the output equivalent resistance of the voltmeter with $10 \text{ M}\Omega$ impedance, which is connected to measure the U_2 voltage value on the resistor on the low voltage side. The voltage at the sensor output can be measured with precision voltmeters, as this measurement affects the sensitivity of the measurement system in the medium voltage system. Therefore, a precision measuring instrument was used in the accuracy class determination experiment.

The voltage divider in the designed sensor divides voltages up to 50 kV theoretically in a ratio of approximately $20/\sqrt{3} / 3.25/\sqrt{3}$. The turning ratio of the transformer should theoretically be 6153.846.

When the primary voltage of $20/\sqrt{3} \text{ kV}$ is applied to the designed transformer, the secondary output voltage is measured as $3.242/\sqrt{3} \text{ Volts}$. The error between the theoretical calculation and the designed transformer has been found to meet the requirements of accuracy class 0.5 for measurement purposes and accuracy class 3P for protection purposes. Thus, the 50 Hz frequency turning ratio and error class of the designed transformer are determined as follows.

$$\text{Desired conversion rate} = \frac{20000/\sqrt{3}}{3.25/\sqrt{3}} = 6153.846 \tag{7}$$

$$\text{Measured conversion rate} = \frac{20000/\sqrt{3}}{3.242/\sqrt{3}} = 6169.031 \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \text{Error class} &= \frac{(\text{desired conversion rate} - \text{Measured conversion rate})}{\text{desired conversion rate}} * 100 \\ &= \frac{(6153.846 - 6169.031)}{6153.846} * 100 = \% -0.24 \end{aligned} \quad (9)$$

Determination of linearity experiment

The linearity test of the low-power electronic voltage transformer was made by applying 5.3 kV, 10 kV and 15 kV to the divider and measuring the output voltage without allowing the transformer to heat up. From the test results given in Table 2, the linearity of the primary and secondary output voltages and the conversion ratio can be seen.

Table 2. Determination of linearity

Given voltage (kV)	Measured voltage (V)	Conversion rate (kV /V)
5.3	0.861	6155.63
10	1.625	6157.63
15	2.437	6155.10

Determination of temperature distribution

The low-power electronic voltage transformer was kept under a constant voltage of 20 kV for 8 hours, and temperature measurements were made every 30 minutes. The measurements made are the temperature values in the lower, middle and upper parts of the transformer. As a result of the experiment, as seen in Figure 7, it was observed that the temperature changed during the first 5 hours and remained constant at around 40°C between the 5th and 8th hours. The thermal analysis of the tension sensor was performed with the SolidWorks program, as seen in Figure 8.

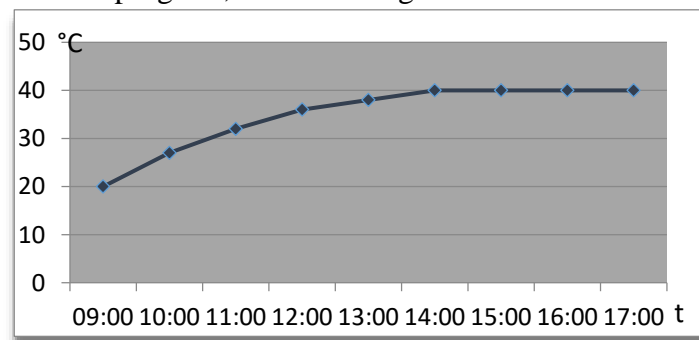


Figure 7. Temperature distribution graph of the transformer after 8 hours

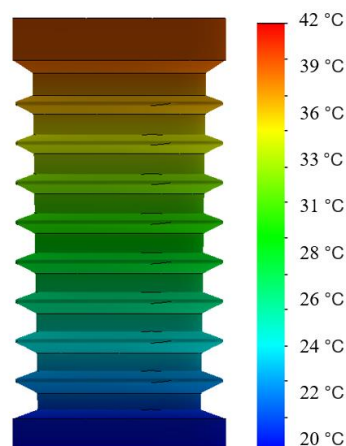


Figure 8. Tension sensor thermal analysis

Capacity and insulation loss factor measurement experiment

Power factor measurements were made to determine the insulation status of both the transformer windings to the ground and between the windings and to set an example for the measurements to be made during the operation. For dielectric loss factor measurement at the rated voltage of low-power electronic voltage transformer, a high voltage laboratory Tan Delta test device was used. In this experiment, the secondary output of the transformer was grounded by short-circuiting, and the test was carried out in GST mode by applying 10 kV from the primary. After applying a voltage to the transformer, the tan delta value was measured as 0.43%. It has been observed that the designed transformer does not exceed the maximum 2.5% insulation value determined in the standard.

CONCLUSION

In this study, the design of a low-power electronic voltage transformer produced for the first time in Turkey was carried out.

High-value resistors with good stability have been used in the voltage sensor design. In addition, the effect of the electric field on the surface of the resistance winding wires is relatively high. For this reason, resistance paste was printed on the surface, and heated resistors were selected. Since the characteristics of the resistors used in the high and low-voltage arms of the voltage sensor directly affect the conversion rate of the voltage sensor, the resistor selection was carried out taking into account some parameters. When voltage is applied to resistors, it is aimed to keep the change in resistance values at a minimum level. For this reason, resistors with sensitive temperature coefficients were selected in the high and low voltage arms compared to the studies conducted in the literature. It was ensured that the leakage capacitance value had the lowest margin of error and the accuracy class was sensitive.

The transformer network, by examining the design IEC 61689-11 compliance against the standard frequency resistance, partial discharge, accuracy class, linearity and temperature distribution measurements, was made by applying tests and performance tests. The data from the performance experiments and measurements show that it has been successfully applied for a precision voltage sensor design of accuracy class that complies with the IEC 61689-11 standard.

The voltage sensor designed has compact dimensions, does not provide ferroresonance formation and does not show a short circuit fault on the feeder. For the first time in Turkey, produced and demanded by these new voltage sensors, in conjunction with various engineering companies, with domestic production through distribution companies provide significant added value, as well as to contribute to the country's economy is considered. The image of the sensor whose design has been completed is given in Figure 9. The image of the sensor whose design has been completed is given in Figure 9.



Figure 9. The final state of the designed transformer

Conflict of Interest

The article authors declare that there is no conflict of interest between them.

Author's Contributions

The authors declare that they have contributed equally to the article.

REFERENCES

- Ghaderi, A., Mingotti, A., Peretto, L., & Tinarelli, R. (2020). Low-Power Voltage Transformer Smart Frequency Modeling and Output Prediction up to 2.5 kHz, Using Sinc-Response Approach. *Sensors*, 20(17), 4889.
- IEC 61000-4-7, International Standard, EMC - Testing and Measurement Techniques- General Guide on Harmonics and Interharmonics Measurements and Instrumentation, for Power Supply Systems and Equipment Connected Thereto, Edition 2.1 2009-10
- IEC 60044-7, International Standard, Instrument Transformers-Electronic Voltage Transformers, First Edition 1999-12
- IEC 61869-6: 2016. (2016). Instrument Transformers-Part 6: Additional General Requirements for Low-Power Instrument Transformers.
- International Electrotechnical Commission. (2011). IEC 61869-3 Additional Requirements for Inductive Voltage Transformers. IEC: Geneva, Switzerland.
- Kuffel, J., & Kuffel, P. (2000). High voltage engineering fundamentals. *Elsevier*.
- Mingotti, A., Peretto, L., Nalli, A., Pau, M., & Ponci, F. (2020, May). Analysis of Ratio and Phase Errors over Time for Low-power Voltage Transformers. In *2020 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)* (pp. 1-6). 25-28 June 2020, Hrvatistan.
- Mingotti, A., Peretto, L., & Tinarelli, R. (2018, May). Low-power Voltage Transformer Accuracy Class Effects on the Residual Voltage Measurement. In *2018 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)* (pp. 1-6). 14-17 May 2018, ABD.
- Mingotti, A., Bartolomei, L., Peretto, L., & Tinarelli, R. (2020). On the Long-Period Accuracy Behavior of Inductive and Low-Power Instrument Transformers. *Sensors*, 20(20), 5810.
- Park, J. H., (1962). Special Shielded Resistor for high-voltage DC measurements. *J. Res. Nat. Bur. Stand.*, 66(19–24).
- Ryan, H. M., (2001). High-Voltage Engineering and Testing, *Institution of Electrical Engineers' Publication*, 726, Wiltshire.

Atıf İçin: Bulut, M. ve Dumlu, A. (2023). Manyetik Levitasyon Sistemleri için Doğrusal Olmayan Kontrol Yöntemlerinin Geliştirilmesi. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 960-972

To Cite: Bulut, M. & Dumlu, A. (2023). Development of Nonlinear Control Methods for Magnetic Levitation Systems *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 960-972.

Manyetik Levitasyon Sistemleri için Doğrusal Olmayan Kontrol Yöntemlerinin Geliştirilmesi

Mustafa BULUT¹, Ahmet DUMLU²

Öne Çıkanlar:

- Manyetik levitasyon sisteminin tam dinamik modeli elde edilmiştir.
- Sistem modeline dayalı kayan kipli kontrolcü tasarlanmıştır.
- Kayan kipli kontrolcü diğerlerine göre daha iyi bir performans sağlamıştır.

ÖZET:

Manyetik Levitasyon işlemi, en temel haliyle bir manyetik kuvvet dışında herhangi bir fiziksel büyüklüğün yardımı olmadan manyetik olarak hareketi mümkün olan bir cismin kaldırılması, döndürülmesi veya ilerletilmesini sağlayan bir işlemdir. Endüstrideki en büyük problemlerden birinin sürtünme problemi olduğu varsayıma dayanarak, manyetik levitasyonda fiziksel bir temasın olmamasına bağlı olarak sürtünme probleminin de önüne geçilmiş olması bu işlemi ekonomik yönden oldukça cazip kılmaktadır. Sürtünme probleminin önüne geçmek malzeme aşınması ve ısınmaya bağlı olarak ortaya çıkan deformasyonları ortadan kaldırmakla kalmayıp aynı zamanda daha hızlı ve sorunsuz çalışma koşullarını da sağlamaktadır. Manyetik olarak manüple edilebilen bir cismin havada asılı kalması, havada belirli bir hızla dönmesi ve yine havada belirli bir hızla ilerlemesi beraberinde bir kontrol sistemi ihtiyacı doğurmaktadır. Bu çalışmada manyetik levitasyon sistemlerinden biri olan CE 152 sistemi üzerine uygulanmış olan, PID kontrol ve İkinci Dereceden Kayan Kipli Kontrol metodları ile kontrolçüye cevap verme süresi ve kontrol işlemi sürecindeki kararlılıkları karşılaştırılarak kontrolcü talebine uygun bir cevap önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler:

- Manyetik
- Levitasyon
- Kontrol

Development of Nonlinear Control Methods for Magnetic Levitation Systems

Highlights:

- A full dynamic model of the magnetic levitation system has been obtained
- A sliding mode controller is designed based on the system model.
- Sliding mode controller provided better performance than others.

ABSTRACT:

Magnetic levitation process can be defined basically as; lifting, rotating or shifting of an object that can move magnetically without help of any physical magnitude other than a magnetic force. Based on the assumption that one of the biggest problems in the industry is the friction problem, the fact that the friction problem is avoided due to the absence of physical contact in magnetic levitation makes this process quite economically preferable. Preventing the friction problem not only eliminates the deformations due to material wear and heating, but also provides faster and smooth conditions. Suspension, rotation at a certain speed, motion at a certain speed of an object that can be manipulated magnetically creates the need for a control system. In this thesis the response time of the two control methods and their stability during the control process is compared by applying them on CE 152 system, which is one of the magnetic systems, and an appropriate solution is given to the controller demand is proposed. The control systems used in this study are; PID control and second order sliding mode control. In this thesis an appropriate response to the controller demand is proposed, by comparing the response time to their controller and their stability in the control process with PID Control and Second Order Sliding Mode Control methods on CE152 system, which is one of the magnetic levitation systems.

Keywords:

- Magnetic
- Levitation
- Control

¹* Mustafa BULUT ([Orcid ID: 0000-0001-8251-4387](https://orcid.org/0000-0001-8251-4387)), Atatürk Üniversitesi, Elektrik Elektronik Bölümü, Erzurum, Türkiye

²Ahmet DUMLU ([Orcid ID: 0000-0002-2181-5386](https://orcid.org/0000-0002-2181-5386)), Erzurum Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Bölümü, Erzurum, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Mustafa BULUT, e-mail: mustafa.bulut@atauni.edu.tr

GİRİŞ

Manyetik levitasyon işlemi, manyetik alanlar tarafından manipüle edilebilir olan bir cismin, manyetik alanlardan başka hiçbir fiziksel destek olmadan havada asılı kalması veya süzülmesi amaçlayan ve yaklaşık 100 yıldır bilim dünyasında kendine yer bulan bir işlemdir. Manyetik Levitasyonun bilim ve üretim dünyasına sunduğu en temel artısı ise aşınma ve sürtünme problemlerini ortadan kaldırmasıdır. Bu yönüyle; verimliliğin artması, bakım maliyetlerinin azalması ve kullanım ömrünün uzaması gibi teknolojik aletler için oldukça önemli olan kısımlarda getirdiği faydalar ile birçok endüstride etkili bir teknoloji olarak anılmaktadır (Eroğlu, 2016).

Manyetik Levitasyonu daha detaylı bir şekilde anlayabilmek için öncelikle söz konusu manyetik alanlar tarafından manipüle edilebilir olan cismin levitasyon süreci boyunca etkisi altında kaldığı kuvvetler incelenmelidir. En temel levitasyon işlemi, yani yalnızca düşey ekseninde hareketi amaçlayan, bir başka deyişle bir cismin sadece kaldırılıp indirilmesi hedeflenen, bunun dışında kaldırılmış olan bir cismin ileri veya geri yönde hareketini kapsamayan tek boyutlu levitasyon ele alınarak bu işlemin matematiksel modeli hakkında fikir sahip olunabilir.

CE 152 sistemi, yalnızca düşey eksenindeki tek boyutlu hareketi sağlayan klasik levitasyon sistemlerinden biridir. Manyetik levitasyonun asıl olarak meydana geldiği kısım ise metal küre ve bobin alt sistemidir. Burada metal küreye levitasyon tanımına uygun olarak manyetik alan harici hiçbir fiziksel kuvvet uygulanmadan bir kaldırma kuvveti uygulanmaktadır. Uygulanan bu manyetik kuvvet gereğince, metal küre hava asılı halde kalabilmektedir. Metal küreye toplamda etki eden kuvvet sayısı ise üçtür, bunlar; yukarı doğru uygulanan ve metal küreyi havaya kaldırmayı hedefleyen manyetik kuvvet, aşağı doğru uygulanan ve metal küreyi yere inmeye zorlayan yer çekimi kuvveti ve yine aşağı doğru olan ve metal kürenin yukarı çıkarken kazandığı hızından kaynaklanan sürtünme kuvvetidir. Newton'un hareket yasası gereğince cisme etki eden net kuvvetin sıfır olması durumunda söz konusu cismin ivmesinin de sıfır olması gerekmektedir. Bu bağlamdan hareket edilerek, manyetik levitasyona tabi tutulan bir cismin havada asılı kalması için ivmesinin sıfır olması ve haliyle de cisme uygulanan net kuvvetin sıfır olması gerekmektedir. Metal küreye etki eden üç kuvvet ele alınırsa; küreyi yukarı doğru çeken manyetik kuvvetin, küreyi aşağı doğru çeken yerçekimi ve hızdan kaynaklanan sürtünme kuvvetlerinin toplamına eşit olması CE 152 sisteminin gerçekleştirme amaçladığı kriter olacaktır. (Honc, 2019)

Manyetik levitasyon işlemi, gürbüz bir kontrolcü ile denetlendiği takdirde, temassız bir hareket olanağı sağladığından dolayı entegre edildiği sistemlerde materyal sürtünmelerini ortadan kaldırmaktadır. Bir başka deyişle, ilgili materyaller yalnızca hava sürtünmesi etkisi altında olacaktır. Bu sayede; sessiz çalışma, materyal yıpranmasının önüne geçebilme ve yüksek hızlara çıkabilme gibi endüstride oldukça önemli olan kazanımlar elde edilebilmektedir. Gündelik hayatta sıklıkla kullanılan manyetik levitasyon temelli sistemlerden birisi de MagLev trenleri olarak da bilinen manyetik levitasyon trenleridir.

1934 yılında Alman bilim insanı Hermann Kemper tarafından patenti üstlenilen maglev trenleri, geleneksel trenlerin ilerleyiş mekanizması olan ray ve tekerler arasındaki sürtünme fiziğinin kullanılmasına alternatif olarak elektromanyetik kuvveti tekerlerin yerine koyarak oluşturulan bir itme kuvveti ile treni ilerletmeyi amaçlayan bir sistemdir. (Lee ve ark., 2006) Yüksek hız, düşük hız, uzun yol, kısa yol gibi farklı sahalarda tercih edilen bu trenler, yük taşımacılığının yanı sıra insan taşımacılığı da yaptıklarından doğru işleyen bir kontrolcü mekanizmasına ihtiyaç duyarlar. Özellikle Temmuz 2021 ayında, Çin'de üretilen bir maglev treninin saatte 600 kilometreye varan bir hıza ulaştığı düşünülürse stabil şekilde çalışan bir kontrolcünün ne denli önemli olduğu bir kez daha ortaya çıkmış olur.



Şekil 1. Çin’de üretilen Maglev treni (Anonim, 2022)

MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada tasarlanan kontrol metotları CE 152 olarak bilinen bir basit ve tek boyutlu manyetik levitasyon düzeneğinin matematiksel modeli kullanılarak tasarlanmıştır. Söz konusu sistemin matematiksel modeli kullanılırken Newton’un Hareket Yasası doğrultusunda ilerlenmiştir. CE 152 sistemi Humusoft isimli bir Çekyalı şirket tarafından geliştirilen deney tabanlı bir sistemdir. Buradaki deney tabanlı sistem terimi, bu sistemin gerçek hayatta herhangi bir kullanım alanının olmadığı, sadece gözlem yapabilmek adına tasarlanan bir sistem anlamına gelmektedir.

CE 152 sisteminde bir demir bilye, elektromıknatis tarafından üretilen bir elektromanyetik kuvvet tarafından havaya kaldırılır ve bu kaldırma işlemi belirli bir seviyeye kadar gerçekleştirilir. Söz konusu referans seviyeden sonra ise ana amaç, bilyeyi havada asılı bir şekilde tutmaya devam etmektir. CE 152 sistemi, tek giriş ve tek çıkışa sahip olması (SISO (Single Input Single Output)), belirgin bir şekilde doğrusal olmayan karakteristiği ve kararsız bir sistem olması sebebiyle sistem dinamikleri üzerinde çalışmak ve klasik veya modern kontrol teorilerini üzerinde uygulayabilmek adına ideal bir düzenektir.

Kontrol sistemleri ile levitasyonun entegre halde kullanıldığı ilk çalışmalardan biri.1974 yılında Kombine Manyetik Alanlara Bağlı Kaldırma Erişiminde Sıcaklık Kontrolünde Araştırmalar isimli makale ile Holger Domke ve Madan Lal Kapoor isimli bilim insanları tarafından yapılmıştır. (Domke ve ark., 1974) Bu çalışmada kontrol işlemi için regresyon analizi denilen bir yöntem tercih edilmiştir. Bu terim için öz Türkçe olan karşılığı “bağlanım” kelimesini de kullanmak mümkündür. (Damodar ve Dawn, 2008) Regresyon analizinde iki veya daha fazla sayısal değişken arasındaki bağlantıyı hesaplamak amaçlanmaktadır. Bu analiz yönteminde iki veya daha fazla değişken arasındaki doğrusal ilişkinin fonksiyonel şekli, biri bağımlı diğerleri bağımsız değişkenler olarak bir denklem olarak ifade edilmektedir. Haliyle değişkenlerden birinin bilinmesi, diğer değişkenler arasında bir varsayım yapma şansı doğurmaktadır. Bu çalışma 1977 yılında yazılan 2 makale ile birlikte veri tabanlarında bulunabilen ve levitasyon ile kontrol mekaniklerini harmanlayan ilk çalışmalar olarak yer almaktadır. Bu çalışmalardan ilki Kontrollü Kalıcı Uyarmalı Manyetik Kaldırma isimli çalışmaları ile H. Weh ve M. Shalaby isimli bilim insanlarına aittir. Kontrollü kalıcı mıknatıslardan oluşan bir alan sistemi çerçevesinde işlenen bu çalışmada senkron olarak çalıştırılan ulaşım sistemlerinde kullanılmak üzere yapılmıştır. Aracın ağırlığına denk bir manyetik kaldırma kuvveti kalıcı mıknatıslar tarafından uygulanmaktadır. Bu çalışmadaki kontrol sistemi ise, kontrol alan sargıları tarafından sağlanmaktadır. Bu sargıların kullanımındaki esas amaç akıyı azaltıp arttırarak hız kontrolü yapmakta kullanılan bir yöntemdir. (Weh ve Shalaby, 1977)

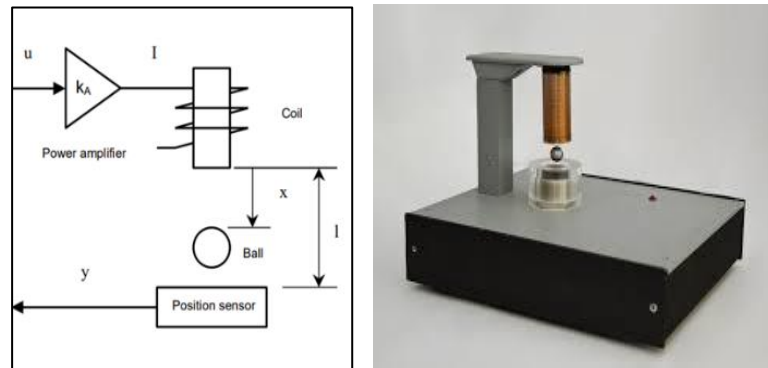
1977 yılında yapılan ikinci çalışmada ise; Eveline Gottzein, Karl-Heinze Brock, Ernst Schneider ve Johann Pfefferl isimli bilim adamları, Paletli Bir Manyetik Kaldırma Yüksek Hızlı Test Aracının Kontrol Yönleri isimli makaleleri bulunmaktadır. Bir Alman üretimi olan KOMET isimli hız aracının kontrol sistemlerinin ele alındığı bu çalışmada kontrol donanımını; dijital bilgisayar, sensörler, mıknatıs sürücüler ve mıknatıslar oluşturmaktadır. Bu çalışmadaki kontrol sistem sentezi, durum uzayı

yaklaşımına ve z-dönüşümünün klasik yaklaşımına dayalı olarak gerçekleşmektedir. Z dönüşümü, zaman tanım kümesinde gerçel ve sanal bileşenleri olan herhangi bir ayrık işareti, frekans tanım kümesindeki biçimine dönüştürmede kullanılan bir dönüşümdür. Aracın izlediği yoldaki düzensizlikler, dış kuvvetler ve kontrol deneyinin gerçekleştiği testteki parametre değişkenleri, zaman tanım kümesindeki gerçel ve sanal bileşenleri meydana getirmektedir. Durum vektörünü oluşturmak içinse; mıknatıs boşlukları, araç ivmeleri ve mıknatıs akımları gibi ölçümlerden faydalanılmaktadır. (Gottzein ve ark., 1977)

2018 yılında Matthew O.T. Cole ve Wichapon Fakkaew isimli bilim adamlarınca yazılan İnce Duvarlı Rotorlar için Aktif Manyetik Rulman: Titreşim Dinamiği ve Denge Kontrolü isimli çalışmada ise optimize edilmiş geri beslemeli kontrolcü tasarımı, bir başka alternatif olarak sunulmuştur. PD kontrolcü geri beslemeli bir şekilde levitasyon yoluyla manyetik yatak kullanımını daha kararlı bir şekilde mümkün kılmıştır. PD geri besleme kontrollü azaltılmış sıralı kapalı döngü modeli kullanılarak sistemdeki titreşim ve kararlılık özellikleri tahmin edilebilmiştir. Statik konumlandırma hatalarını ortadan kaldırmak adına bu kontrolcüye integral geri besleme fonksiyonu da dahil edilerek PD olarak tasarlanan kontrolcüyü PID kontrolcüye çevirmek de mümkün olabilirken, çalışmayı yürütenler, bu durumun titreşim kararlılığına etkisinin çok düşük seviyede olacağını düşündükleri için geri beslemeli kontrolcüyü PD şeklinde tasarlamışlardır. (Cole ve ark., 2018)

CE 152 sistemi en temel haliyle üç ana başlık altında incelenebilmektedir. Bunlar; bobin, elektronik aksam ve demir bilye olarak sıralanmaktadır. Bu üç parça bir veri toplama kartı (DAQ) ve bilgisayar ile tamamlandıktan sonra deney düzeneği de son halini almaktadır. Topun manyetik olarak havaya kaldırılması, DAQ kartının çıkışına bağlı D/A kısmındaki bobin tarafından üretilen manyetik alanın sağlanması ve demir bilyenin endüktif doğal konumunun, DAQ kartının A/D girişine bağlı doğrusal konum sensörü tarafından algılanması bu düzeneğin temel işleyiş sıralamasını oluşturmaktadır.

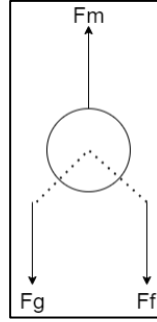
Sistemde kullanılan elemanlardan biri olan güç yükseltici, DAQ kartı tarafından üretilen giriş voltajı ile orantılı ve dengelenmiş bir akım kaynağı için kullanılmaktadır. Bu sisteme uygulanan 0 ile 5 V arası gerilim, 0 ile 1.5 A arasında değişen bir akım değeri sunmakta ve bobinler bu akımla ile indüklendikten sonra Earnshaw yasası gereğince doğrusal olmayan bir manyetik alan meydana getirebilmektedirler. Kullanılan elektrik bileşenlerinin parametrelerinden faydalanılarak bu güç yükseltcinin kazancının 0.297 olduğu sonucuna ulaşılabilmektedir. (Honc, 2019)



Şekil 2. CE 152 manyetik levitasyon sistemi şeması ve fotoğrafı (Honc.2019)

CE 152 sistemine dair bu kısma kadar anlatılanlar, yukarıdaki blok şema üzerinden de görülebilmektedir.

Manyetik levitasyon işlemi sırasında demir bilye üzerine etkiyen üç tane kuvvet vardır. Burada demir bilyeyi yukarıya doğru çeken F_m kuvveti aynı zamanda manyetik kaldırma kuvveti olarak geçmekte olup, şu şekilde ifade edilebilmektedir.



Şekil 3. Demir bilye manyetik levitasyona maruz kaldığında üzerine etkiyen kuvvetler

$$F_m = \frac{i^2 K_c}{(x-x_0)^2} \quad (1)$$

1 numaralı eşitlikteki ifadeler;

i = Bobin Üzerinden Akan Akım, K_c = Bobin Kazanç Sabiti, x = Demir Bilyenin En Altaki Pozisyon Sensörü ile Bobin Arasındaki Pozisyonu, x_0 = Demir Bilyenin Ofset Pozisyonu olarak verilmektedir.

Endüktif bir bobin kullanarak oluşturulan elektromıknatis sayesinde demir bilyenin etrafında bir potansiyel kuyusu oluşturulabilmektedir. Bu tip mıknatıslanmalar statik manyetik alanlara yol açmamaktadırlar. Levitasyon işlemini gerçekleştirmek için ihtiyaç duyulan manyetik alan, statik değil zamanla değişen manyetik alandır. Ters Kare Yasası gereğince manyetik kuvvetin kaynağından uzaklaştıkça uygulanan manyetik kuvvet karesel oranda azalacağı için kararlı bir kaldırma işlemini uygulamak statik manyetik alanlar ile mümkün olmamaktadır. CE 152 sisteminde mıknatıs olarak endüktif bir bobin kullanılmasının sebebi ise zamanla değişen bir manyetik alan yaratarak demir bilyenin etrafında oluşturulan potansiyel kuyusu yardımıyla, levitasyonun etkiyeceği alan boyunca homojen bir kaldırma kuvveti sağlayabilmektir.

Manyetik kaldırma kuvveti eşitliğinin temelini bobinin enerjisini veren eşitlikten almaktadır. Bu eşitliğe göre bobin enerjisi;

$$W_m = \frac{1}{2} \cdot L \cdot i^2 \quad (2)$$

olarak ifade edilmektedir. Bu eşitlikteki ifadeler;

W_m = Bobin Enerjisi, L = Bobin Endüktans Değeri, i = Bobin Üzerinden Akan Akım

olarak verilmektedir. Bu ifadedeki L değeri ise;

$$L = \frac{N^2}{R} \quad (3)$$

olarak ifade edilebilmektedir. Endüktans değerini veren bu ifadede;

N = Sarım Sayısı, R = Bobin Elemanın İç Direnci

şeklinde isimlendirilmektedir. Son olarak bobin elemanın iç direncini veren ifade;

$$R = \frac{l}{\mu A} \quad (4)$$

Biçiminde ifade edilmiştir. Bobin iç direncini ifade eden eşitlikteki semboller ise sırasıyla;

l = Bobin Uzunluğu, μ = Manyetik Geçirgenlik, A = Bobinin Yatay Kesit Alanı

ile verilmektedir. Eşitlik 2’de verilen L değerinin yerine eşitlik 3’te verilen ifade yazılırsa;

$$W_m = \frac{1}{2} \cdot \frac{N^2}{R} \cdot i^2 \quad (5)$$

eşitliği ortaya çıkacaktır. Bu eşitlikte bobin iç direncini ifade eden R gösterimi yerine ise eşitlik 4'te ifade edilen gösterim kullanıldığında;

$$W_m = \frac{1}{2} \cdot \frac{N^2}{\frac{l}{\mu A}} \cdot i^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{\mu AN^2}{l} \right) \cdot i^2 = \frac{\mu AN^2 i^2}{2l} \quad (6)$$

eşitliğine ulaşılmaktadır. Enerjinin, etki ettiği konuma göre olan türevi kuvveti vermektedir. Benzer şekilde işin yapıldığı konuma göre olan türevi de kuvveti vermektedir. Bobinin enerjisinin eşitliği bilindiğine göre bu eşitlikteki enerjinin etki ettiği konuma göre alınacak türev işlemiyle bobinin kuvveti, bir başka deyişle bobin tarafından demir bilyeye uygulanan manyetik kaldırma kuvvetinin eşitliğine ulaşmak mümkün olmaktadır. Türev işlemi yapılırsa;

$$F_m = \frac{dW_m}{dl} = \left(\frac{\mu AN^2 i^2}{2l} \right) \frac{d}{dl} = \frac{\mu AN^2 i^2}{2l^2} \quad (7)$$

ifadesi elde edilmektedir. Daha önce bobin kazanç sabit olarak da verilen K_C ifadesi aynı zamanda;

$$K_C = \frac{\mu AN^2}{2} \quad (8)$$

şeklinde ifade edilebildiğinden dolayı, eşitlik 7'deki $\frac{\mu AN^2}{2}$ kısmı yerine K_C yazılırsa;

$$F_m = \frac{K_C i^2}{l^2} \quad (9)$$

halini almaktadır.

Demir bilyeyi aşağıya doğru çeken kuvvetlerden ilki F_g olarak ifade edilen yer çekimi kuvvetidir. Yine Newton'un hareket yasasından yola çıkarak $F = m \cdot a$ eşitliği kullanılarak ifade edilebilir. Burada m ifadesi yerine demir bilyenin kütesini ifade eden m_k , ivmeyi simgeleyen a ifadesi yerine de yer çekimi ivmesi olarak alınan g ifadesi konulursa demir bilyeye etkiyen yer çekimi kuvveti ifade edilebilmektedir. Bu durumda;

$$F_g = m_k \cdot g \quad (10)$$

ifadesi demir bilyeyi aşağıya doğru çeken kuvvetlerden ilki olan yer çekimi kuvvetini ifade etmekte kullanılabilir.

Demir bilyeyi aşağıya doğru çeken kuvvetlerden ikincisi ise levitasyon işleminin başlamasıyla birlikte zeminden yukarıya doğru hareket eden demir bilyenin kalkış hızı ile birlikte oluşan hıza bağlı sürtünme kuvvetidir. Bu kuvvet CE 152 sistemi kullanılarak yapılan modellemelerde çok küçük olduğu için çoğunlukla hesaplamalara dahil edilmeyen bir kuvvet olmakla birlikte bu çalışmada hesaplamalara dahil edilmiştir. F_f olarak da ifade edilen bu sürtünme kuvvetinin formülü, tanımıyla da bağlantılı olarak;

$$F_f = K_{fv} \cdot v \quad (11)$$

ifade edilmektedir.

Nihayetinde CE 152 sisteminde bir manyetik levitasyon işlemi uygulandığı esnada demir bilyeye etki eden üç kuvvetin eşitliklerine ulaşılmıştır. Havada asılı kalma işleminin kararlı bir şekilde gerçekleşebilmesi için levitasyon işlemi başarılı bir şekilde gerçekleştikten hemen sonra, demir bilyeye etki eden net kuvvetin sıfır olması gerektiği bilindiğine göre;

$$F_{net} = F_m - F_g - F_f = 0 \quad (12)$$

durumunun sağlanması demir bilyeyi havada asılı bir halde tutmak için gerekmektedir. Bir başka deyişle, demir bilyeyi yukarı kaldırmaya zorlayan manyetik kaldırma kuvvetinin, demir bilyeyi aşağı indirmeye zorlayan yer çekimi kuvveti ve hıza bağlı sürtünme kuvvetinin toplamına eşit olması gerekmektedir. Elde edilen tüm eşitliklerle beraber nihai duruma demir bilye üzerine etki eden net kuvvet;

$$F_{net} = \frac{i^2 K_c}{(x-x_0)^2} - m_k \cdot g - K_{fv} \cdot v \quad (13)$$

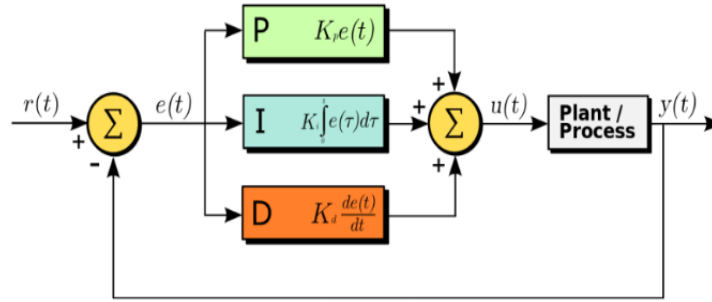
şeklinde ifade edilebilmektedir.

Sistemin durum uzay modelini elde edebilmek için gerekli dönüşümler yapıldığında ve ihtiyaç duyulan parametreler için CE 152 Manyetik Levitasyon Sistemi parametreler tablosundaki veriler kullanıldığında nihayetinde elde edilen transfer fonksiyonu;

$$G(s) = \frac{144.5962}{s^2 + 2.381s + 15821.6191} \quad (14)$$

olarak ifade edilmektedir. (El Najjar, 2013)

PID Kontrolcü



Şekil 4. PID kontrolcünün blok gösterimi (Ataşoğlu, 2020)

Şekil 4'te bir PID kontrolcünün şeması görülmektedir. Şekil üzerinden de anlaşılacağı gibi PID kontrolcünün amacı; sistem değişkeni, çıkış veya süreç değişkeni olarak da bilinen y yanıtının, sistemin girişini gösteren ve Şekil 4'te birim basamak fonksiyonu olarak belirlenmesine karşın herhangi bir fonksiyon olarak da belirlenebilecek olan r değişkenini takip edebilmesidir. Bunun sağlanabilmesi adına manipüle edilebilir u değişkeninin kontrolcünden gelen komutlar vasıtasıyla dinamik olarak değiştirilmesi gerekmektedir. Yukarıda şeması verilen PID kontrolcüsünün matematiksel denkliği ise;

$$u(t) = K_p e + K_d \frac{de}{dt} + K_i \int_0^t e(t) dt \quad (15)$$

olarak verilmektedir.

CE 152 Manyetik Levitasyon sistemi özelinde, demir bilyenin manyetik levitasyon sahası içerisindeki konumuna göre bir akım belirlenmeli ve belirlenen bu akım, bobin üzerinde farklı değerlerde indüklenmeler yaratarak farklı değerlerde manyetik çekim kuvveti sağlamalıdır. Örneğin demir bilyenin, levitasyon sahasının tam orta noktasında asılı kalması hedeflenirken, demir bilye üzerine uygulanacak olan aşağı yönlü küçük bir itirme kuvveti demir bilyeyi bobinden uzaklaştıracak için daha yüksek bir manyetik çekim kuvveti ve dolayısıyla daha yüksek bir akım büyüklüğüne ihtiyaç olacaktır. PID kontrolcünün $u(t)$ yanıtı, değişen bu duruma adapte bir şekilde güncellenerek yüksek akım değerini talep edecek ve demir bilyeyi levitasyon sahasının tam orta noktasına gelmeye zorlayacaktır.

Kesirli Dereceden PID Kontrolcü

Literatürde kullanılan diğer bir kontrolcü tekniği ise kesirli dereceden PID kontrol metodudur. Bu kontrolcünün en önemli özelliği kontrolcüde kullanılan integral ve türevin derecesi kesirli bir değere

sahip olmasıdır. Bu sayede özellikle klasik PID kontrolcüsüne göre sistem cevabının aşım değeri azaltılabilmekte ve sistem üzerindeki belirsizliklerin üstesinden gelinebilmektedir. Literatürde kesirli derece hesabını en anlaşılır bir şekilde ortaya koyan tanım Riemann-Liouville eşitliği olup her hangi bir $f(t)$ fonksiyonunun α inci kesirli dereceden türev ve integral ifadesi denklem (16) ile tanımlanmaktadır (Teng, 2020.)

$$\mathcal{D}^\alpha f(t) = \frac{d^\alpha f(t)}{dt^\alpha} = \frac{1}{\Gamma(n-\alpha)} \left(\frac{d^n}{dt^n} \right) \int_0^t \frac{f(\tau)}{(t-\tau)^{\alpha+1-n}} d\tau$$

$$\mathcal{D}^{-\alpha} f(t) = \mathcal{L}^\alpha f(t) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^t \frac{f(\tau)}{(t-\tau)^{1-\alpha}} d\tau \quad (16)$$

Buradaki n değeri bir tam sayı olmak üzere α değeri ($n - 1 < \alpha < n$) aralığında tanımlı olup \mathcal{D}^α kesirli dereceden türevi, \mathcal{L}^α ise kesirli dereceden integrali temsil etmektedir. Denklem (16)' da ifade edilen $\Gamma(\alpha)$ ise Euler' in Gamma fonksiyonu olup denklem (17) ile tanımlanmaktadır.

$$\Gamma(\lambda) = \int_0^\infty e^{-t} t^{\lambda-1} dt \quad (17)$$

Dolayısıyla, kesirli dereceden bir PID kontrolcüsünün hata fonksiyonuna ($e(t)$) bağlı zaman domenindeki matematiksel eşitliği denklem (18) ile ifade edilmektedir.

$$u(t) = K_p + K_i(\mathcal{L}^\alpha e(t)) + K_d(\mathcal{D}^\alpha e(t)), \quad (\alpha > 0) \quad (18)$$

Kayan Kipli Kontrolcü

Kayan kipli kontrolcüler; gürbüzlük, referans sinyalini izlemelerindeki tutarlılık ve parametre değişimlerinin kolay ayarlanabilmesi gibi olumlu yönleri sahip kontrolcülerdir. Kayan kipli sistemler, sistem durumlarını kayma yüzeyi olarak adlandırılan bir durum uzayına sürerek kontrol işlemini sağlamayı amaçlamaktadır. Kayma yüzeyine ulaşıldığında kayan kipli kontrol, sistemdeki durumları kayma yüzeyinin çok yakınındaki yerlerde tutmaya zorlayarak çalışmayı sağlamaktadır. Kayan kipli kontrolcüler, iki farklı blok halinde çalışan kontrolcüler olarak da tanımlamak mümkündür. Bu bloklardan ilki, tasarımdaki kriterleri sağlayacak bir kayan yüzey oluşturup kayma hareketi ile tasarım kriterlerinin grafiksel olarak uyuşmasını sağlamak adına tasarlanmaktadır. İkinci blok ise anahtarlama yüzeyi olarak adlandırılmakta olup, seçilen sistem kriterlerini, kayma yüzeyine yakın bir bölgede kalmaya zorlamak adına tasarlanmaktadır. Kayma yüzeyi tasarlanırken yapılan sistem kriterlerine uygun seçimler vasıtasıyla, dinamik sistem davranışını bu kontrolcüye uyarlamanın mümkün olması ve bazı belirsizliklere duyarsız halde olan kapalı döngü tasarımı, kayan kipli kontrolcülerin istenen sonuçları daha tutarlı bir şekilde vermesine neden olmaktadır. Bu açıklamada belirtilen “belirsizliklere duyarsız olma” durumu, bir sistem çalışırken dış etkenlere bağlı olarak meydana gelen küçük değişimlerin kontrolcü tarafından algılanmayıp herhangi bir bozunuma yol açmama hali olarak da açıklanabilmektedir.

$$\dot{x} = f(x, t) + g(x, t)u \quad (19)$$

$$y = h(x, t) \quad (20)$$

olarak ifade edilen bir tek giriş-tek çıkış (SISO (Single Input Single Output)) sistem ele alınırsa bir kontrolcüdeki ana amaç, y çıktı değişkeninin daha önceden belirlenen bir y_{DES} olarak da tanımlanan değişkenini takip etmesini sağlamaktır. CE152 Manyetik Levitasyon Sistemi ele alınırsa, bu açıklamada geçen y_{DES} değişkeninin, demir bilyenin kontrollü bir şekilde levitasyon sahasının tam orta noktasında durduğu pozisyon olduğu söylenebilmektedir. CE 152 Manyetik Levitasyon Sistemi'nin transfer fonksiyonu hesaplanırken aynı zamanda doğrusal olmayan durum matrislerini doğrusal hale getirmek

için de kullanılan bu değerin $a = \frac{T_d}{2} = 0.0095$ olduğunu söylemek mümkündür. Dolayısıyla CE 152 Manyetik Levitasyon Sistemi özelinde kontrolcü tasarlanırken gözetlenen ana amaç y çıktı değişkeninin, $a = \frac{T_d}{2} = 0.0095$ çıktısını izlemesini sağlamaktır.

Daha önceki açıklamada iki farklı blok halinde çalıştığı söylenen kayan kipli kontrolcünün ilk bloğu olan kayan yüzey bloğu matematiksel olarak tanımlanırsa, ilk adım sistem durumunun skaler bir fonksiyon olarak tanımlanması olacaktır.

$$\sigma(x) = R^n \rightarrow R \quad (21)$$

Kayma yüzeyi, e_y olarak tanımlanan izleme hatasını ve bu hatanın türevlerine bağlı bir dizgiyi kapsamaktadır.

$$s = s(e, \dot{e}, \ddot{e}, \dots, e^{(k)}) \quad (22)$$

s fonksiyonu, hata ve türevleriyle beraber sifıra yakınsayacak bir şekilde seçilmelidir. Kayma yüzeyi için en fazla karşılaşılan tercihler;

$$s = \dot{e} + c_0 e \quad (23)$$

$$s + c_1 \dot{e} + c_0 e \quad (24)$$

$$e(t) = y_r(t) - y_m(t) \quad (25)$$

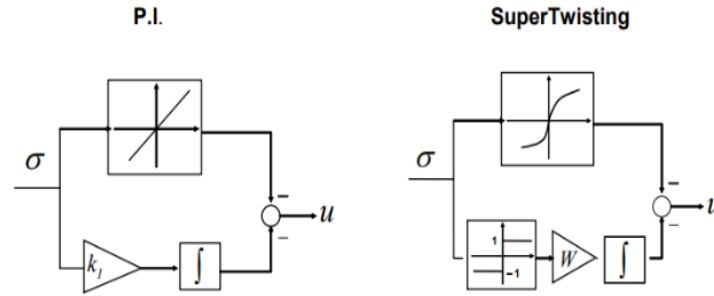
tercihleridir. Hata sinyali, giriş olarak gösterilen $y_r(t)$ sinyali ile çıkış olarak gösterilen $y_m(t)$ sinyali arasındaki farkı ifade etmektedir. Bu kayma yüzeyi tercihleriyle oluşturulan kayan kipli kontrolcüler sırasıyla, birinci dereceden kayan kipli kontrolcüler ve ikinci dereceden kayan kipli kontrolcüler olarak isimlendirilmektedirler. Dolayısıyla bir kayan kipli kontrolcüyü isimlendirirken, kayma yüzeyi fonksiyonunda hatanın kaçınıcı türevinin alındığını bilmek belirleyici olmaktadır. İdeal bir biçimde seçilen c_i katsayıları ile s değişkeni sifıra indirildiğinde bu değişkenle beraber hata ve türevleri de sifıra yaklaşmakta yani ideal bir kontrol şeması oluşmaktadır. Bu durum geometrik bir bakış açısıyla tekrardan açıklanırsa, $s = 0$ denklemi, hata uzayında kayan yüzey olarak isimlendirilen bir yüzeyi tanımlamaktadır. Kontrol edilen sistemin tüm yörüngeleri, sistem davranışlarının önceden belirlenen kriterleri karşıladığı bu kayma yüzeyine bağlı kalmaya zorlanarak gürbüz bir kontrolcü tasarlamak mümkün olmaktadır.

Dolayısıyla bir kayan kipli kontrolcü tasarlarırken ikinci aşama, sistemdeki tüm yörüngeleri, s değişkenini sonlu bir zamanda sifıra yönlendiren ve kayma yüzeyi olarak bilinen bu yüzeyde tutabilen bir fonksiyon tasarlamaktır. Bu çalışma kapsamında ikinci dereceden kayan kipli kontrolcüler inceleneceğinden, yörüngeleri yüzeyde kalmaya zorlayan ve anahtarlama fonksiyonu olarak da bilinen bu fonksiyonu tasarlarırken Üstün Burulma Algoritması (Super Twisting Algorithm) yöntemi kullanılmaktadır. Bu algoritmaya, s değişkeni entegre edilirse;

$$u = -\lambda \sqrt{|s|} \operatorname{sgn}(s) + w \quad (26)$$

$$\dot{w} = -W \operatorname{sgn}(s) \quad (27)$$

eşitlikleri meydana gelmektedir. $\lambda = \sqrt{U}$ ve $W = 1.1U$ kabulleri parametre dönüşümü yapabilmek adına kolaylık sağlayan kabuller olarak ele alınmaktadır. Bu kabullerdeki U değişkenine karar verebilmek için, incelenen kapalı döngü sistemlerde istenilen çıkış yanıtları elde edilene kadar kademeli olarak arttırılarak bulunan bir değer tercih edilmektedir. Bir başka deyişle U değişkeni, deneme yanılma yöntemi ile bulunabilmektedir. Üstün burulma algoritmasını, klasik PI kontrolcünün doğrusal olmayan bir versiyonu olarak da açıklamak mümkündür.



Şekil 5. PI kontrolcüsüyle üstün burulma algoritmasının benzerliğini gösteren devre şemaları

Şekil 5' e bakılarak bu açıklamayı görselleştirmek mümkündür. (Decarlo ve Žak, 2008)

Kayan kipli kontrolcülerde bilinmesi gereken bir diğer husus, ikiye ayrılan çalışma bloklarının ikincisi olan anahtarlama bloğundan kaynaklanan çatırdama (chattering) problemidir. Bu sorunun temelinde model tarafından ihmal edilen ve hızlı değişen dinamiklerden kaynaklanan anahtarlama fonksiyonundaki ani değişimlerdir. Çatırdama problemine yol açabilecek bir başka husus ise sonlu örnekleme hızına sahip dijital kontrolcülerin kullanılmasıdır. Bu durum ayrıklaştırma çatırdamasına neden olmaktadır. Teoride ideal bir kayma yüzeyi aynı zamanda sonsuz bir anahtarlama frekansı anlamına gelmektedir. Kontrol algoritmasını oluşturan işaret bir örnekleme aralığı içerisinde sabittir, anahtarlama frekansı ise söz konusu örnekleme aralığını aşmadığından bu durum da çatırdama problemine yol açmaktadır.

Verilen bu bilgiler bağlamında, ikinci dereceden kayan kipli kontrolcünün matematiksel ifadesi üç denklem grubu ile incelenebilmektedir;

Kayma yüzeyinin zamana göre ikinci türevi;

$$\ddot{s}(t) + \beta\dot{s}(t) = k_p\dot{e}(t) + k_i e(t) + k_d\ddot{e}(t) \quad (28)$$

$\dot{s}(t) = 0$ iken $u_{eq}(t)$ ile gösterilen bileşke kontrolün matematiksel ifadesi;

$$u_{eq}(t) = (k_d C_n)^{-1} (k_i e(t) + k_p \dot{e}(t) + k_d (\dot{y}_r(t) + A_n \dot{y}_m(t) + B_n y_m(t)) - \beta \dot{s}(t)) \quad (29)$$

son olarak anahtarlama kontrolünün, bir diğer adıyla anahtarlama fonksiyonunun $u_{sw}(t)$ ile gösterilen matematiksel ifadesi;

$$u_{sw}(t) = \lambda_1 s(t) + k_s \text{sign}(\dot{s}(t)) \quad (30)$$

Denklemden yer alan sgn fonksiyonu ise;

$$\text{sgn}(x) = -1 \text{ eğer } x < 0$$

$$0 \text{ eğer } x = 0$$

$$1 \text{ eğer } x > 0$$

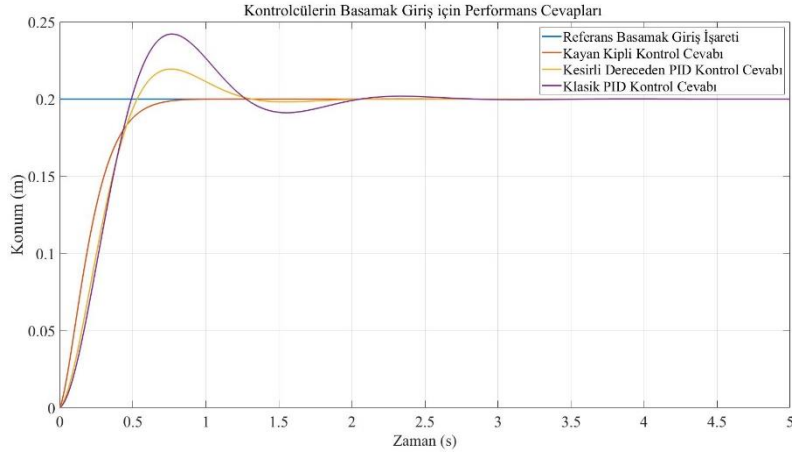
Olarak verilir, bu matematiksel ifadeler yardımıyla bir ikinci dereceden kayan kipli kontrolcü tasarlanabilmektedir.

$y_m = \text{Çıkış}$, $A_n, B_n, C_n = \text{Nominal Parametreler}$, $s(t) = \text{Kayma Yüzeyi}$, $e(t) = \text{Hata}$, $\lambda_1, \frac{1}{k_d C_n}$ İfadesinden Büyük Olma Koşuluyla Bir Pozitif Sabit Sayı, k_s, D_{\max} İfadesinin, $D_{\max} = \sup_{t, s, s'=0} \{D(t, u(t))\}$ Olmak Şartıyla $\frac{D_{\max}}{C_n}$ İfadesinden Büyük Bir Sayı, $k_p = \text{Oransal Kazanç Parametresi}$, $k_i = \text{İntegral Kazanç Parametresi}$, $k_d = \text{Türev Kazanç Parametresi}$, β , Bir pozitif sayı olarak verilmektedir. (Eker, 2010)

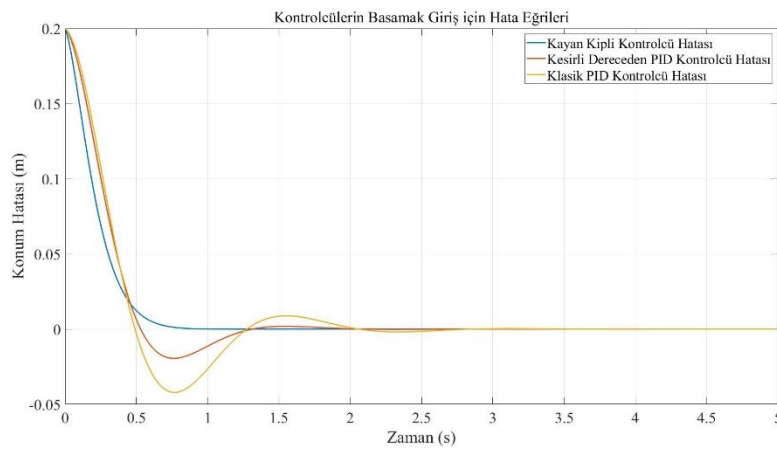
BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde söz konusu CE152 manyetik levitasyon sisteminin elde edilen matematiksel model temel alınarak Matlab Simulink programında karşılaştırılmalı kontrolcü performans simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Öncelikle söz konusu sisteme genliği 0.2 metre olan bir birim basamak konum girişi tanımlanmış ve ardından sırasıyla klasik PID, kesirli dereceden PID ve kayan kipli kontrolcülerin bu referans için performans cevapları araştırılmıştır. Şekil 6'da görüldüğü üzere kayan kipli kontrolcü diğer yöntemlere göre daha hızlı ve aşım yapmadan bir cevap üreterek söz konusu referansı daha az hata ile takibini sağlamıştır. Şekil 7'de gösterilen performans eğrilerine göre kayan kipli kontrolcünün hiçbir aşım yapmadan referans değere ulaştığı, kesirli dereceden PID kontrolcüsünde %9.72'lik ve klasik PID kontrolcüsünde ise %21.06' lik bir maksimum aşım meydana geldiği görülmektedir. Benzer şekilde yerleşme zamanı açısından kayan kipli kontrolcünün 0.8. saniyede, kesirli dereceden PID kontrolcüde 1.86. saniyede ve son olarak klasik PID kontrolcüsünde ise 2.6. saniyede %2 lik referans band aralığına girdiği görülmektedir. Oturma zamanının kontrolü sağlanmış bir sistemde ne denli önemli olduğunu görebilmek için manyetik levitasyon sistemlerinin günlük hayattaki kullanım alanlarına tekrardan bakmak gerekmektedir, bu alanlar; elektromanyetik yataklar, maglev trenleri, elektromanyetik vinçler, rüzgâr tünelleri, hassas makineler için titreşim izolasyonu, endüklemler, ocaklarda metal eritme, roket güdümü projeleri, fotolitografide plakaların yüksek hassasiyetle konumlandırılması, üretim esnasında metal levhaların kaldırılması olarak sıralanabilmektedir. Manyetik levitasyon işleminin bu alanlarda tercih edilmesinin, sürtünme problemini ortadan kaldırarak yüksek hız ve düşük malzeme deformasyonu sunması gibi nedenleri de göz önüne alınırsa sunulan yüksek hız avantajının daha da perçinlenmesi oturma zamanının düşük olmasıyla mümkün olmaktadır. Bir maglev treninin manyetik raylara olan mesafesindeki herhangi bir kaymanın mümkün olduğunca kısa bir sürede telafi edilmesi, insan taşımacılığı için oldukça büyük bir öneme sahiptir. CE 152 Manyetik Levitasyon Sistemi özelinde ikinci dereceden kayan kipli kontrolcünün oturma zamanı diğer kontrolcülerin oturma zamanından yaklaşık olarak 3 kat daha hızlı bir şekilde gerçekleştiğinden dolayı ikinci dereceden kayan kipli kontrolcülerin tercih edilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Şekil 7 ise kontrolcülerin basamak girişi için sergilemiş olduğu hata eğrileri sunulmuştur. Bu grafiğe baz alınarak performans kriterlerinden biri olan ortalama kare hatası (MSE) karşılaştırmasına göre kayan kipli kontrolcünün kullanılması durumunda söz konusu hata değeri 0.0228 olarak elde edilirken, bu değer kesirli dereceden PID kontrolcüsünde 0.0384 ve klasik PID kontrolcüsünde ise 0.0410 olarak elde edilmiştir. Bahsi geçen tüm performans değerleri için karşılaştırma tablosu Tablo 1' sunulmuştur.



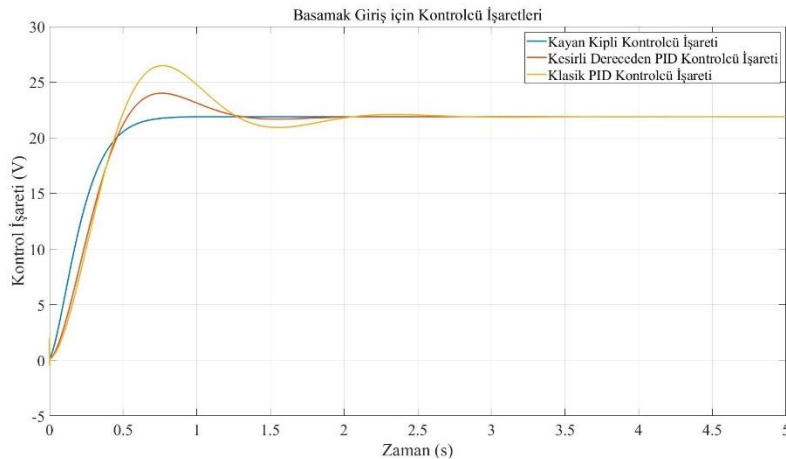
Şekil 6 Kontrolcülerin Basamak Giriş için Performans Cevap Eğrileri



Şekil 7. Kontrolcülerin Basamak Giriş için Hata Eğrileri

Çizelge 1. Performans karşılaştırma tablosu

	Kayan Kipli Kontrolcü	Kesirli Dereceden PID Kontrolcü	Klasik PID Kontrolcü
Yüzde Aşım Değeri (M_p)	%0.001	%9.72	%21.06
Oturma Zamanı (t_o)	0.8	1.86	2.6
Ortalama Kare Hatası (MSE)	0.0228	0.0384	0.0410



Şekil 8. Basamak girişi için kontrolcü işaret değişimleri

Şekil 8' ise söz konusu üç kontrolcünün basamak girişi için sergilemiş oldukları kontrol işaretleri gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde kayan kipli kontrolcünün diğerlerine göre daha az ve kararlı bir

enerji değişimi uyguladığı ve bu sayede aşım yapmadan daha kısa bir sürede referans takibini sağladığı görülmektedir.

SONUÇ

MATLAB Simulink üzerinden yürütülen simülasyon çalışmaları verileri incelendiğinde bir manyetik levitasyon işlemi için ikinci dereceden kayan kipli kontrolcünün, kesirli dereceden ve klasik PID kontrolcülerine kıyasla daha ideal bir tercih olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Kontrolcülerin referans takibi ve oturma zamanı performansları kıyaslanarak mevzu bahis çıkarımlar yapılmıştır. Aynı zamanda her bir kontrolcünün kontrol sinyali ve hata sinyali grafiklerine de yer verilerek yapılan çıkarımların tutarlılığı desteklenmiştir.

Bu çalışmada ele edilen bulguları, daha olumlu hale getirebilmek adına ikinci dereceden kayan kipli kontrolcülerin çatırdama problemleri üzerinde iyileştirme çalışmaları yapmak mümkündür. Buna ek olarak, farklı kontrol parametreleri belirleme yöntemleri kullanılarak yerleşme zamanı ve referans takibi konusunda da performans iyileştirmeleri sağlanabilir. Her iki iyileştirme önerisi için de hali hazırda mevcut olan çeşitli literatür çalışmaları üzerinden denemeler yapılarak daha gürbüz bir kontrol sistemi elde edilebilir.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

- Anonim, 2020, Python ile PID Kontrol Örneği, <https://ahmetatasoglu98.medium.com/python-ile-pid-kontrol-örneği-18d0b4cee2b2> (Erişim Tarihi: 01.10.2022).
- Anonim, 2021, World's first 600 km/h high-speed maglev train rolls off assembly line, web sitesi: http://www.xinhuanet.com/english/2021-07/20/c_1310072057.htm (Erişim Tarihi: 01.05.2022).
- Brock K, Gottzein E, Mannlein, E, Pfefferl J, 1975. Control aspects of a Tracked Magnetic Levitation High Speed Test Vehicle. IFAC Proceedings Volumes, 8(1), 743-759.
- Cole M, Fackaew W, 2018. An Active Magnetic Bearing for Thin-Walled Rotors: Vibrational Dynamics and Stabilizing Control, IEEE/ ASME Transactions and Mechatronics, 23(6), 2859-2869.
- Damodar N, Dawn P, 2008. Basic Econometrics. McGraw-Hill Education, 944, United States of America.
- Decarlo R, Žak S, 2008. A quick introduction to sliding mode control and its applications, Università' Degli Studi di Cagliari, Dipartimento di Ingegneria Electricia ed Electronica, 22, Cagliari.
- Domke H, Kapoor M, 1974. Untersuchungen zur Temperatursteuerung des Schwebeschmelzverfahrens mit Hilfe kombinierter Magnetfelder. International Journal of Materials Research, 65(11), 691-696.
- Eker, İ. 2010. Second-Order Sliding Mode Control with Experimental Application. ISA Transactions, 49(3), 394-405.
- El Najjar S, 2013. Ripple Free Deadbeat Control for Nonlinear Systems with Time-Delays and Disturbances. Master's Thesis, The Islamic University of Gaza, Deanery of Higher Studes, Faculty of Enginnering, Electrical Engineering Department, 86, Gazza (Printed).
- Eroğlu Y, 2016. Manyetik Levitasyon Sisteminin Kayan Kip ve PID Temelli Referans Takip Kontrolü ve Donanım İçeren Benzetim Temelleri. Yüksek Lisans Tezi, Abdullah Gül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı.88, Kayseri (Basılmış).
- Honc D, 2019. Modelling and identification of magnetic levitation model CE 152/Revised. R. Silhavy (Ed.), Cybernetics and Algorithms in Intelligent Systems 765, 35-43.
- Utkin V, Lee H, 2010. Chattering Problem in Sliding Mode Control Systems. IFAC Proceedings Volumes, 49(3), 1.
- Teng Y, Li H., ve Wu F, 2020. Design of distributed fractional order PID type dynamic matrix controller for large-scale process systems, IEEE Access, 8, 179754-179771, 2020.
- Weh H, Shalaby M, 1977. Magnetic levitation with controlled permanentic excitation. IEEE Transactions on Magnetics, 13(5), 1409-1411.

Atf İçin: Zuhur, S. ve Boybay, M. S. (2023). 1.5 GHz – 3.1 GHz Arası Bantlarda Verimli Çalışan Geniş Bant RF Enerji Hasatlama Devresinin Toplu Elemanlarla Tasarımı. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 973-982.

To Cite: Zuhur, S. & Boybay, M. S. (2023). Design of Wideband RF Energy Harvesting Circuit with Lumped Elements Working Efficiently in 1.5 GHz – 3.1 GHz Band. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 973-982.

1.5 GHz – 3.1 GHz Arası Bantlarda Verimli Çalışan Geniş Bant RF Enerji Hasatlama Devresinin Toplu Elemanlarla Tasarımı

Sadık ZUHUR^{1*}, Muhammed Said BOYBAY²

Öne Çıkanlar:

- 10 dBm giriş gücünde 1.5 GHz – 2.7 GHz aralığında geniş bantta yansımaya kaybı sağlamıştır.
- 5 dBm giriş gücünde geniş bantta verim %68.2 olarak hesaplanmıştır.
- 1.5 GHz – 2.7 GHz aralığında 0 dBm giriş gücünde çıkış gerilimi 0.70 V olarak elde edilmiştir.

ÖZET:

Kablosuz iletişim teknolojilerinin kullanımı ile birlikte ortamda farklı frekanslarda elektromanyetik dalgaların varlığı gittikçe artmaktadır. Bu çalışmada ortamda bulunan GSM 1800 (MTX), GSM 1800 (BTX), 3G (MTX), 3G (BTX), ISM 1400, Wi-Fi 1450, LTE 2600 bantlarını hasatlayabilen ve düşük giriş güçlerinde çalışan geniş bant doğrultucu devre toplu elemanlar kullanılarak ADS programında tasarlanmıştır. Tasarlanan devre 1.5 GHz – 3.1 GHz aralığında eşik değer sayılabilecek -10 dB altında yansımaya kaybı sağlamıştır. 1.5 GHz – 2.7 GHz aralığının tamamındaki frekanslarda 0 dBm giriş gücünde ve 1 k Ω yükte çıkış gerilimi 0.70 \pm 0.02 V olarak elde edilirken doğrultma verimi %50 \pm 2 olarak hesaplanmıştır. En yüksek verim ise 5 dBm giriş gücünde ve 2 k Ω yükte çıkış gerilimi 2.02 V iken %68.2 olarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler:

- RF enerji hasatlama
- Toplu eleman
- Empedans eşleştirme,
- Geniş bant
- HSMS2852

Design of Wideband Rf Energy Harvesting Circuit with Lumped Elements Working Efficiently in 1.5 GHz – 3.1 GHz Band

Highlights:

- It provides reflection loss in the range of 1.5 GHz to 2.7 GHz at -10 dBm input power.
- The efficiency in wideband at 5 dBm input power is calculated as 68.2%.
- Output voltage is 0.70 V at 0 dBm input power in the 1.5 GHz. – 2.7 GHz range.

ABSTRACT:

With the use of wireless communication technologies, the presence of electromagnetic waves at different frequencies in the ambient is increasing. In this study, a wideband rectifier circuit that can harvest GSM 1800 (MTX), GSM 1800 (BTX), 3G (MTX), 3G (BTX), ISM 1400, Wi-Fi 1450, LTE 2600 bands and operates at low input powers was designed in ADS program using lumped elements. In the 1.5 GHz – 3.1 GHz range, the designed circuit provided a reflection loss below -10 dB, which can be considered the threshold value. While the output voltage is 0.70 \pm 0.02 V at 0 dBm input power and 1k Ω load at frequencies across the entire 1.5 GHz – 2.7 GHz range, the rectification efficiency is calculated as 50 \pm 2%. The highest efficiency was obtained as 68.2% at 5 dBm input power and 2 k Ω loads, while the output voltage was 2.02 V.

Keywords:

- RF energy harvesting
- Lumped elements
- Impedance matching
- Broadband
- HSMS2852

¹ Sadık ZUHUR ([Orcid ID: 0000-0001-7033-4098](https://orcid.org/0000-0001-7033-4098)), İğdır Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, İğdir, Türkiye

² Muhammed Said BOYBAY ([Orcid ID: 0000-0003-0503-2557](https://orcid.org/0000-0003-0503-2557)), İğdır Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, İğdir, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Sadık ZUHUR, e-mail: sadik.zuhur@igdir.edu.tr

GİRİŞ

Son yıllarda kablosuz iletişim teknolojilerinin kullanımıyla birlikte bulunduğumuz ortamlarda bilgi taşıyan RF bölgesindeki elektromanyetik dalgaların varlığı giderek artmıştır. Ortamda bilgi iletimi amacıyla yayınlanan televizyon, radyo, Wi-Fi, cep telefonu gibi haberleşme sinyalleri genellikle mikrodalga frekanslardaki elektromanyetik dalgalar ile taşınmaktadır. Ortama yayılan bu elektromanyetik dalgalar aynı zamanda güç de taşımaktadır. Muhammad ve ark. yaptıkları çalışmada farklı frekanslarda kamu telekomünikasyon bantlarından alınan enerji miktarını ölçmüşlerdir ve alınan sonuçlar Çizelge 1’de verilmiştir (Muhammad ve ark., 2021a). RF enerji hasatlama, ortamdaki bu enerjiyi toplayarak düşük güçle çalışan cihazlarda kullanmayı, depolamayı veya desteklemeyi amaçlamaktadır. Teknolojik ilerleme ve kablosuz iletişimin yaygınlaşması, düşük güçlü nesnelerin interneti (IoT) cihazlarının ve sensör ağlarının yaygınlaşmasına neden olmuştur. Bu cihazlar genellikle pillerle çalıştırılır. RF enerji hasatlama pillerle enerji sağlanması esnasındaki şarj etme, pil değiştirme işlemleri ve bakım maliyetleri gibi sorunları ortadan kaldıracabilecek olan bir teknolojidir (Muhammad ve ark., 2021b). Çizelge 2 kablosuz elektronik cihazların güç tüketimini göstermektedir.

Çizelge 1. Çeşitli kamu telekomünikasyon bantlarından alınan enerji (Muhammad ve ark., 2021a)

Bant	Çalışma Frekansı (GHz)	Alınan güç seviyesi* (dBm)	Ortalama alınan güç (dBm)
GSM 900 (M _{TX})	0.88-0.960	(-45) – (-26.5) aralığında	-27.8
GSM 900 (B _{TX})	0.925-0.960	(-40) – (-17.5) aralığında	-21.2
GSM 1800 (M _{TX})	1.710-1.785	(-47) – (-40) aralığında	-42.7
GSM 1800 (B _{TX})	1.805-1880	(-35) – (-14) aralığında	-15.3
3G (M _{TX})	1.920-1.980	(-44) – (-25.5) aralığında	-26.7
3G (B _{TX})	2.110-2.170	(-43) – (-20.1) aralığında	-22.5
ISM1400	2.305-2.400	(-45) – (-29.7) aralığında	-30.1
Wi-Fi1450	2.400-2.500	(-35) – (-15) aralığında	-17.7
LTE2600	2.500-2.690	(-45) – (-19.5) aralığında	-23.8

Çizelge 2. Kablosuz elektronik cihazların güç tüketimi (Kuhn ve ark., 2015)

Güç	1 μ W	10 μ W	100 μ W	1 mW
Cihaz	32 kHz Quartz Osilatör	Saat, Hesap Makinesi, Pasif RFID	İşitme Cihazı, Sıcaklık Sensörü	Aktif RFID, Minyatür FM alıcısı

Bu çalışmada ortamdan antene gelen RF sinyalleri DC güce dönüştürmeyi amaçlayan radyo frekanslı enerji hasadı (RF-EH) üzerinde durulmuştur. Bu teknik, güneş ve rüzgâr gibi diğer alternatif enerji kaynaklarına kıyasla küçük miktarlarda enerji hasadı yapmasına rağmen, RF-EH sistemlerinin birçok avantajları vardır. Örneğin güneş enerjisi sistemleri güneş ışığının olmadığı yerlerde, kapalı mekanlarda enerji hasadı yapamazken RF-EH sistemleri güçlü RF sinyalleri olan herhangi bir yerde enerji hasadı yapabilmektedir. RF enerjisi, güneş ve rüzgâr gibi diğer kaynaklarda dikkate alınması gereken günün saati ve hava koşulları gibi etkenlerden dolayı kesintiye uğramaz. Hasat devreleri boyut olarak küçük olabilir ve hareketli parçalar içermez. Ayrıca, anten tasarımına bağlı olarak kullanılması istenen cihazlara kolaylıkla yerleştirilebilir ve kullanıcı dostu tasarımlar yapılabilir. Bu devrelerin tümü elektrondur ve üretilmesi ucuzdur (Muncuk ve ark., 2018).

Küçük cihazlar için güç kaynakları olarak kullanılan RF-EH sistemleri temel olarak RF enerjisini toplayan bir antenden ve doğrultucu devresinden oluşmaktadır. Anten ile doğrultucu devresi arasında empedans uyumsuzluğunu gidermek amacıyla eşleştirme devresi yer almaktadır. Doğrultucu devre, alınan AC sinyalini bir DC sinyaline dönüştürmek için kullanılır ve genellikle frekansa, giriş gücüne ve yüke bağlı empedansları değişen Schottky diyotlarından oluşur. Eşleştirme devresi, maksimum güç

aktarımı elde etmek için doğrultucunun giriş empedansını antenin çıkış empedansı ile eşleştirmek için kullanılır (Saranya ve Kesavamurthy, 2019). Şekil 1’de empedans eşleştirme devresi, RF doğrultucu devre, filtre devresi ve yükten oluşan doğrultucunun blok diyagramı verilmiştir. Bu çalışmada doğrultucu devre tasarımı yaparken düşük giriş gücü seviyesi ve daha geniş frekans aralığında doğrultma veriminin artırılması gibi faktörler dikkate alınmıştır. Bu amaçla klasik güç devrelerinden farklı olarak tasarımda toplu elemanlar kullanılarak 1.5 GHz ile 3.1 GHz bant aralığında ve (-10, 10) dBm giriş gücü aralığında verimli çalışan bir RF-EH sistem tasarlanmıştır. Literatürde toplu elemanlar kullanılarak çok bantlı ve geniş bantlı doğrultucuların tasarımı üzerine bazı çalışmalar yapılmıştır (Liu ve ark., 2020; Erkmén ve Ramahi, 2021; Kim ve Oh, 2021; Bo ve ark., 2022). Literatürden birkaç örnek çalışmaya yer verilecek olursa, Mansour ve Kanaya empedans uyumu için iki L topolojisini kullanarak bir eşleştirme devresi önermişlerdir. 870 MHz’den 2.5 GHz’e doğrultma verimliliği sağlanmıştır ve 0 dBm giriş gücünde dönüştürme verimliliği %30’un üzerindedir (Mansour ve Kanaya, 2018). Fakharian yaptığı çalışmada 1.7 GHz ila 2.6 GHz bant genişliğinde enerji toplayabilen dairesel polarize bir anten ile rektenna tasarlamıştır. Bu çalışmada önerilen doğrultucuda 1 k Ω yük için sırasıyla 1.85 GHz ve 2.45 GHz’de 12 dBm giriş gücü ile %69 ve 10 dBm giriş ile %64 tepe verimi elde edilmiştir (Fakharian, 2022). Muhammad ve ark. FR-4 substratı kullanan ve 1.78 GHz ile 2.62 GHz aralığını kapsayan geniş bantlı bir RF doğrultucu önermiştir. Önerilen RF doğrultucu, 10 ve -20 dBm RF giriş gücünde sırasıyla %88.25 ve %15.10 gibi bir doğrultma verimliliğine ulaşmıştır (Muhammad ve ark., 2022).

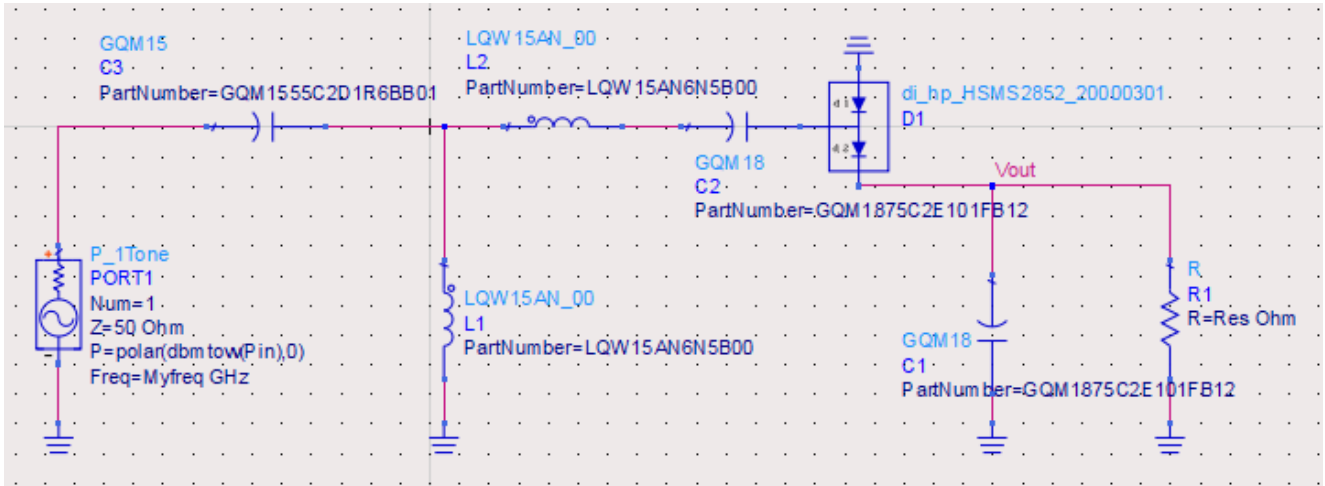


Şekil 1. Doğrultucu devrenin şematik gösterimi

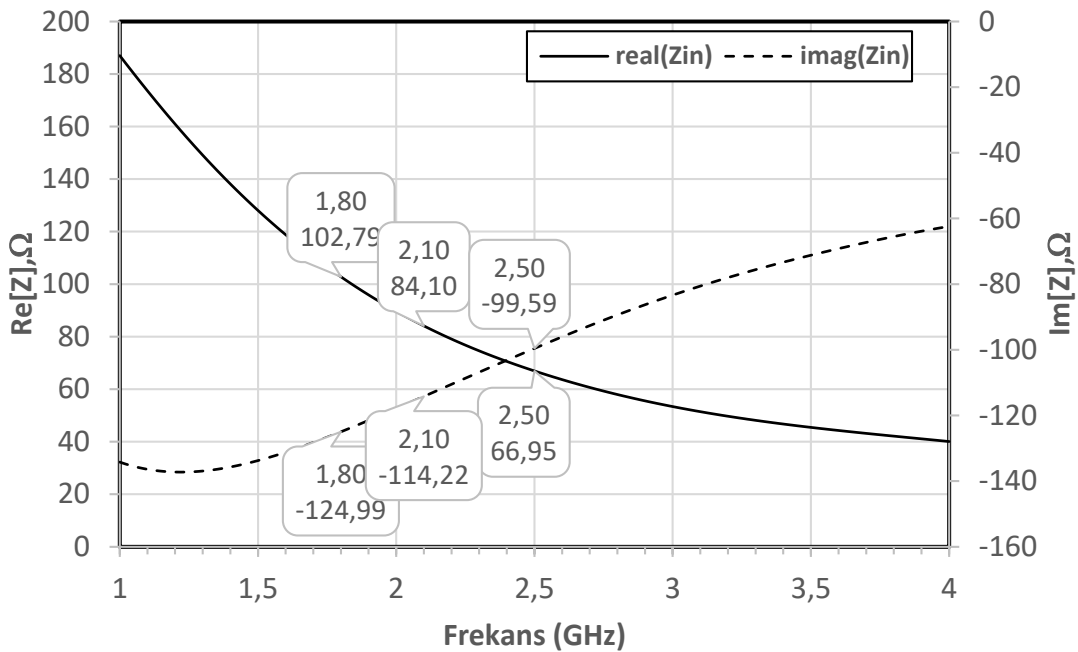
MATERYAL VE METOT

Şekil 2 Advanced Design System (ADS-2020) simülasyon yazılımı ile hazırlanan doğrultucu devre şemasını göstermektedir. Literatürde genellikle doğrultucu devreleri tasarlanırken empedans eşleştirmesini sağlamak amacıyla saplamalar, toplu elemanlar ve çeyrek dalga dönüştürücüler kullanılmaktadır. Bu çalışmada tasarlanan doğrultucu devre piyasada ticari olarak bulunabilen Murata Manufacutring Co. Ltd. şirketinin kütüphanesinden alınan toplu elemanlar ile simüle edilmiştir. Devre tasarlanırken kaynak empedansı 50 Ω olarak alınmıştır. Empedans uyumlama devresi tasarlanırken Çizelge 1’de belirtilen bantlardan güç yoğunluğu yüksek olan 1.8 GHz, 2.1 GHz ve 2.5 GHz bantları seçilmiştir. Empedans uyumsuzluklarını gidermek amacıyla giriş empedansının 1.8 GHz, 2.1 GHz ve 2.5 GHz’deki değerleri (sırasıyla 102.79-j124.99 Ω , 84.10-j114.22 Ω , 66.95-j99.59 Ω) ile eşleştirme yapılmıştır (Şekil 3). Empedans eşleştirmesi ADS-2020 simülasyon yazılımının Empedans Eşleştirme araçları kullanılarak yapılmış ve devrede kullanılan L1, L2 ve C3 elemanlarının topolojisi ve değerleri belirlenmiştir. Empedans eşleştirmesi 0 dBm giriş gücünde 1 k Ω yük direnci kullanılarak yapılmıştır.

1.5 GHz – 3.1 GHz Arası Bantlarda Verimli Çalışan Geniş Bant RF Enerji Hasatlama Devresinin Toplu Elemanlarla Tasarımı



Şekil 2. ADS kullanılarak hazırlanan doğrultucu devre şeması. $C1=C2=100$ pF, $C3=1.6$ pF, $L1=L2=6.5$ nH



Şekil 3. 0 dBm giriş gücünde, 1 kΩ yükte HSMS 2852 diyotunun giriş empedansının frekansa bağlı olarak değişimi. (Düz çizgi gerçek kısmı, kesik çizgiler sanal kısmı göstermektedir.)

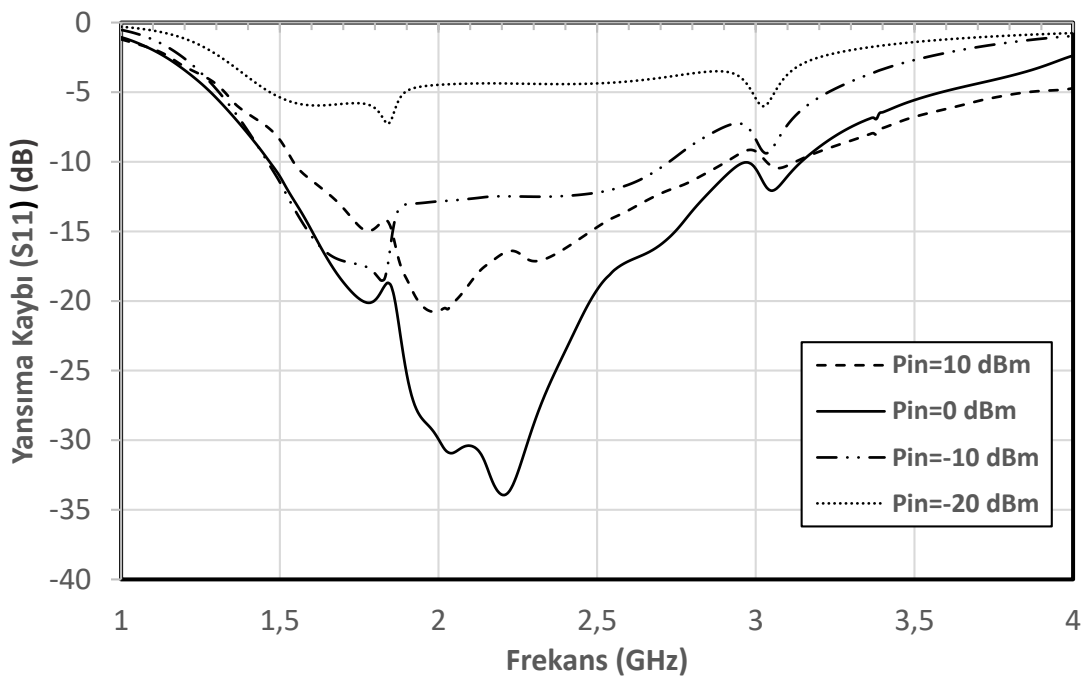
RF enerji hasatlama devrelerinin tasarımı yapılırken düşük güçlerde çalışıldığı için devrede güç kaybını en aza indirecek elemanlar kullanılmalıdır. Devrede doğrultucu olarak kullanılacak olan diyodun düşük açılma gerilim değerine ve yüksek anahtarlama hızına sahip olması gerekmektedir (Belen ve Belen, 2021). Bu nedenle çalışmada HSMS2852 diyodu (kırılma gerilimi $V_{br}=3.8$ V, ileri gerilimi $V_{fwd}=150$ mV ve seri direnci $R_s=25$ Ω) devre elemanı olarak kullanılmıştır (Koohestani ve ark., 2020). Devrede C1 kapasitörü filtreleme yaparken C2 ise pasif bir voltaj katlayıcı olarak kullanılmıştır.

Tasarımda hesaplamalar yapılırken ADS programında mevcut olan Large Signal S-Parameter Harmonic Balance ve Harmonic Balance simülatörleri kullanılmıştır. Empedans eşleştirmesi yapıldıktan sonra Şekil 4'deki yansıma kaybı grafiği frekansa bağlı olarak -20 dBm ila 10 dBm giriş gücü aralığında 10 dBm adımla elde edilmiştir. Kullanılan frekans bandı aralığında -10 dB altında kalan bölgede geri yansıma kaybının yeterli olduğu kabul edilerek hesaplamalar yapılmıştır.

RF enerji hasatlama devrelerinin performansı; çalışma frekans aralığı, giriş gücü ve yüke bağlı olarak elde edilen güç dönüştürme verimi ile değerlendirilir. RF-DC doğrultma verimi aşağıdaki ifade ile hesaplanabilir.

$$\eta = \frac{P_{dc}}{P_{in}} = \frac{V_{dc}^2}{R \cdot P_{in}} \quad (1)$$

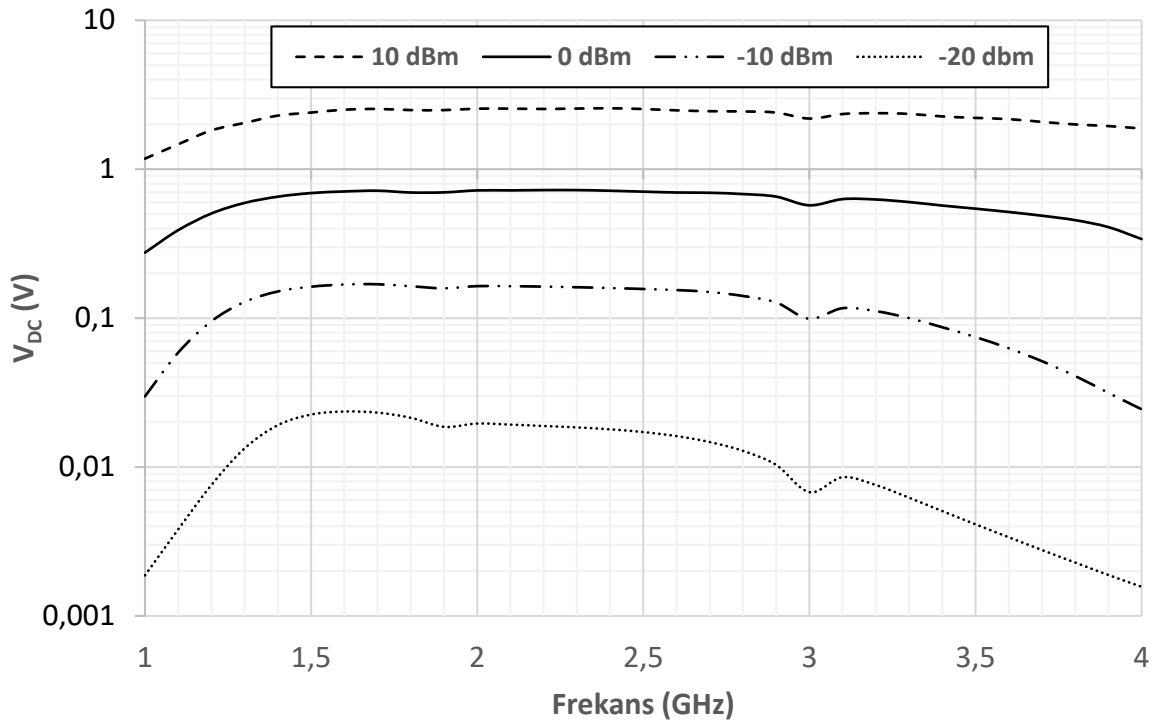
Burada; η Şekil 1’de gösterilen doğrultucu devrenin verimini, P_{in} antenden gelen ve doğrultucunun girişine uygulanan gücü, P_{dc} doğrultucunun çıkışından elde edilen gücü, V_{dc} yük üzerinde oluşan gerilimi ve R ise yük direncini ifade etmektedir. Bu çalışmada tasarlanan devre çıkışındaki yükte oluşan gerilim ve doğrultma verimi frekans aralığına, giriş gücüne ve yüke bağlı olarak incelenmiştir.



Şekil 4. Geri dönüş kaybının farklı giriş güçlerinde frekansa bağlı olarak değişimi

BULGULAR VE TARTIŞMA

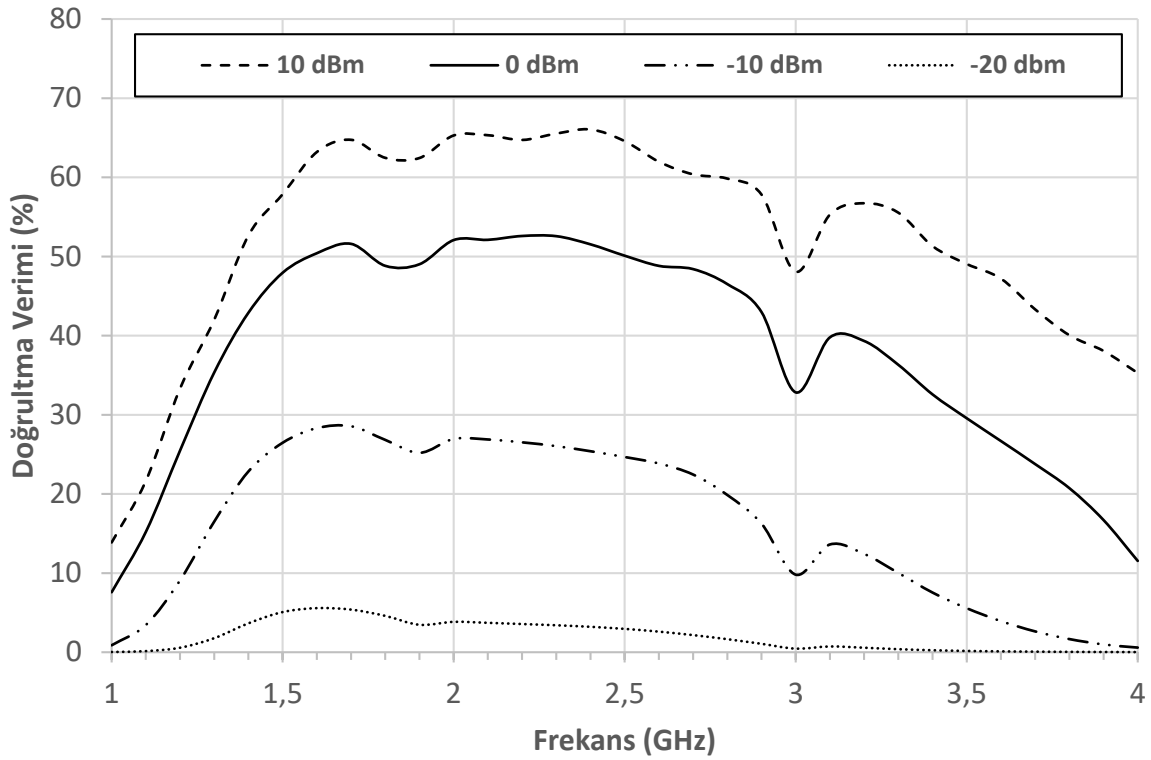
Şekil 4, simülasyonu hazırlanan RF-EH sistemin yansıma kaybını göstermektedir. Bu grafiğe göre tasarlanan sistem Çizelge 1’de belirtilen GSM 1800 (MTX), GSM 1800 (BTX), 3G (MTX), 3G (BTX), ISM 1400, Wi-Fi 1450, LTE 2600 bantlarının tamamında yansımayı engelleyerek giriş gücünü verimli bir şekilde DC güce dönüştürmeyi başarmıştır. -10 dB altında kalan bölgede geri yansıma kaybının yeterli olduğu kabul edildiğinde 0 dBm giriş gücünde 1.5 GHz ile 3.1 GHz arasında kalan geniş bantta doğrultma verimi elde edilmiştir. -10 dBm giriş gücünde bu bant aralığı 1.5 GHz – 2.7 GHz, 10 dBm de ise 1.6 GHz – 2.9 GHz olarak tespit edilmiştir. -20 dBm de ise -5 dB seviyesinde yansıma kaybı olduğu görülürken giriş gücü 10 dBm’ in üzerine çıktığında yansıma kaybının azaldığı görülmüştür. Dolayısıyla tasarlanan sistemin (-10, 10) dBm giriş gücü aralığında yansımayı önemli seviyede önlediği ve kaynak-yük empedansları uyumunu iyi bir şekilde sağladığı gözlemlenmiştir.



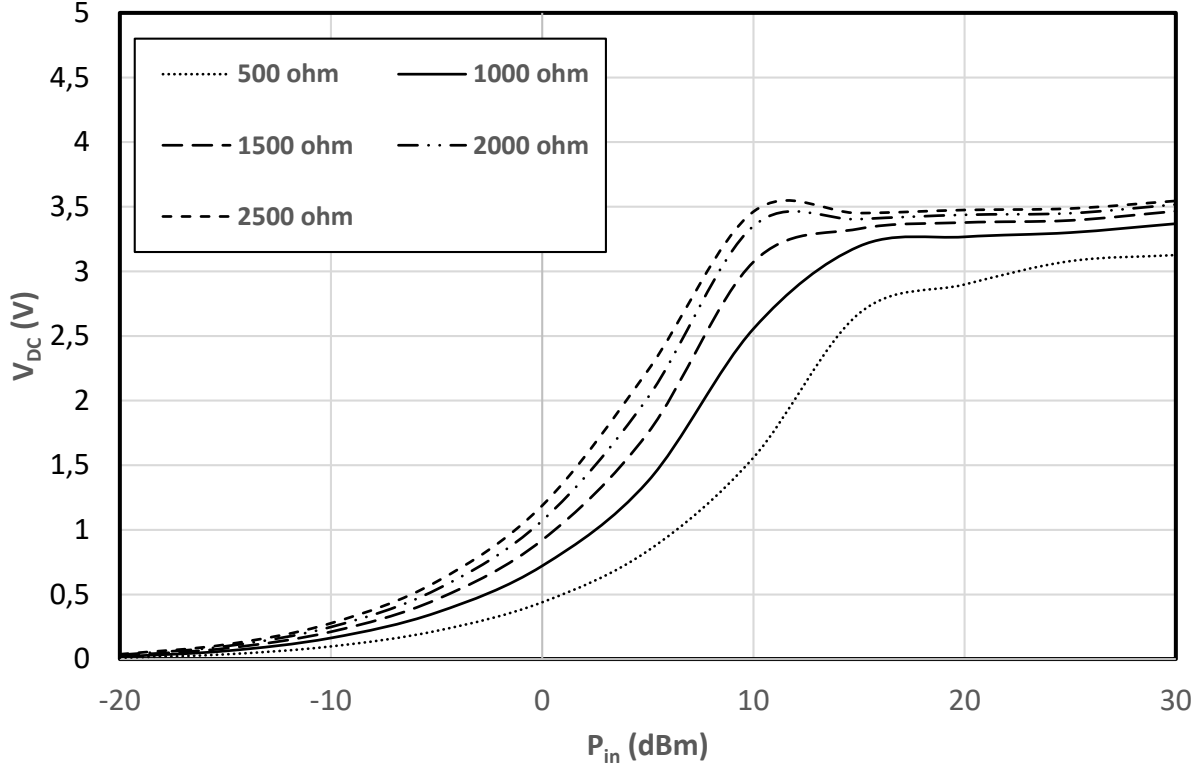
Şekil 5. 1 kΩ yükte farklı frekanslarda ve giriş güçlerinde çıkış gerilimi değişimi

Şekil 5, 1 kΩ yükte 1 GHz ile 4 GHz frekans aralığında ve farklı giriş güçlerinde çıkış gerilimi değişimini göstermektedir. Elde edilen sonuçlara göre giriş gücü arttığında çıkıştan alınan gerilimin dolayısı ile çıkış gücünün arttığı görülmektedir. 1.5 GHz ile 3.5 GHz aralığında her giriş gücünde çıkış geriliminin sabite yakın olduğu yani değişimin fazla olmadığı sonucuna varılabilir. Burada çıkış geriliminin en yüksek değeri en yüksek giriş gücü olan 10 dBm'de elde edilirken bu değer 2.4 GHz de 2.57 V olarak tespit edilmiştir. Şekil 6'da ise denklem 1 kullanılarak elde edilen doğrultma verimindeki değişim farklı frekans ve giriş gücü değerlerine bağlı olarak verilmiştir. Doğrultma verimi 10 dBm, 0 dBm, -10 dBm ve -20 dBm giriş güçlerinde sırasıyla 2.4 GHz 'de %66, 2.2-2.3 GHz aralığında %52, 1.7 GHz 'de %28.5 ve 1.6 GHz 'de %5.6 değerlerine ulaşmıştır. Verim değerlerindeki değişime bakıldığında giriş gücünün artmasıyla birlikte verim değerlerindeki tepe değerinin düşük frekanslara doğru kaydığı söylenebilir. Öte yandan Şekil 5 incelenirken (-20, 10) dBm aralığında giriş gücünün artmasıyla birlikte çıkış gerilimindeki artışın daha fazla olduğu gözlemlenmişti ancak Şekil 6'ya bakıldığında artan giriş gücüne bağlı olarak verimdeki artışın azaldığı gözlemlenmiştir.

Şekil 7'de 2.1 GHz frekans değerinde (-20, 30) dBm aralığında 500 Ω adımıyla çıkış gerilimindeki değişim incelenmiştir. Burada (-20, 10) dBm değerleri arasında çıkış gerilimi üstel olarak artmaktadır. Burada 10 dBm üzerinde ise elde edilen çıkış geriliminin 500 Ω - 2500 Ω aralığında 3 V- 3.5 V arasında sabitlendiği görülmektedir. Direnç değerine bağlı olarak çıkış geriliminin azalarak arttığı görülmektedir ve en yüksek değerine 2500 Ω yükte ulaştığı görülmektedir.



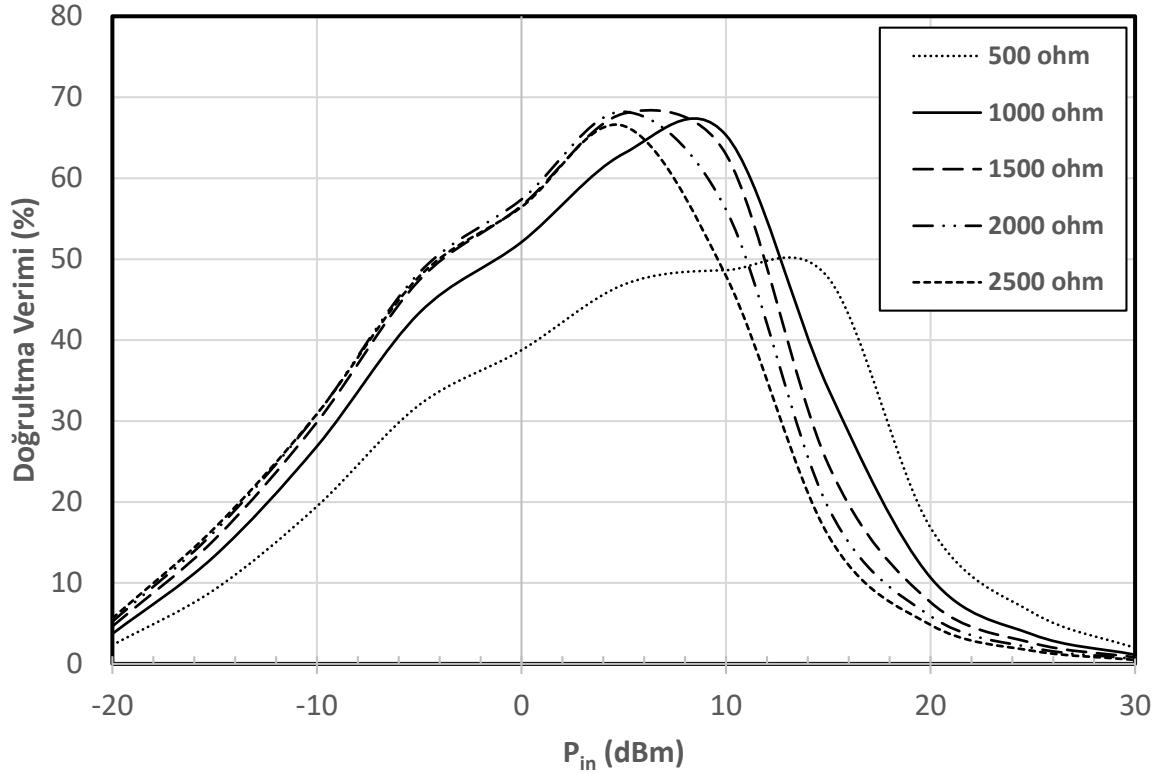
Şekil 6. 1 kΩ yükte farklı frekanslarda ve giriş güçlerinde doğrultma verimi değişimi



Şekil 7. 2.1 GHz'de farklı yüklerde ve giriş güçlerinde çıkış gerilimi değişimi

Şekil 8'de ise 2.1 GHz frekans değerinde (-20, 30) dBm aralığında 500 Ω adımla doğrultma verimindeki değişim incelenmiştir. Doğrultma verimi belirtilen direnç değerlerinde (5, 10) dBm giriş gücü aralığında en yüksek değerlerine doğrusal olarak ulaştığı söylenebilir ancak (5, 10) dBm

aralığından sonra üstel olarak bir azalma olduğu görülmektedir. Yük ve giriş gücü değerine bağlı olarak doğrultma verimi en yüksek değeri olan %68.2 değerine 5 dBm giriş gücünde ve 2000 Ω yük değerinde ulaşmıştır. Bu verim değerinde çıkış geriliminin 2.02 V olduğu görülmüştür.



Şekil 8. 2.1 GHz'de farklı yüklerde ve giriş güçlerinde doğrultma verimi değişimi

Çizelge 3. Bu çalışmanın literatürdeki diğer çalışmalarla kıyaslanması

	Bu çalışma	(Muhammad, ve ark., 2022)	(Mahfoudi ve ark., 2019)	(Gözel ve ark., 2019)
Çalışma Frekansı (GHz)	1.5-2.7	1.78-2.61	1.8-2-6	0.55/0.9/1.8/2.45/5.8
Giriş Gücü (dBm)	0	10	5	-
Çıkış Gerilimi (V)	0.70±0.02	3.2	1.04	3.06/2.92/2.7/1.9
Yük (k Ω)	1	2	3	1.7/1.5/1.4/1.2/1
Doğrultma Verimi (%)	50±2	75.5	50	36/34/31/27/23
Teknoloji	HSMS 2852	HSMS2850	SMS7630	HSMS 285C

Çizelge 3'te yapılan çalışma literatürdeki bazı çalışmalarla kıyaslanmıştır. Bu kıyaslamalara bakıldığında, devrenin çalışma frekansı aralığı diğer çalışmalara göre daha geniştir dolayısıyla Çizelge 1'de belirtilen GSM 1800, 3G, ISM 1400, Wi-Fi 1450, LTE 2600 bantlarından güç toplayabilmektedir. Literatürde birçok çalışmada tek bantta veya çok bantta çalışan devreler tasarlanmıştır. Bu durum ara bantlardaki güçleri dönüştürmekte eksik kalmaktadır. Dolayısıyla literatürde geniş bant için yapılan çalışmalar önemlidir. Giriş gücü açısından bakıldığında Çizelge 3'teki çalışmalara göre bu çalışmada 0 dBm gibi düşük giriş gücünde %50 doğrultma verimi elde edilmiştir. Öte yandan Şekil 7'ye bakıldığında yük direncinin artmasıyla çıkış geriliminin arttığı görülmektedir. Yine Çizelge 3'teki çalışmalara bakıldığında bu çalışmaya göre hem yüksek giriş gücü kullanıldığı hem de yük direnci değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir.

SONUÇ

Bu çalışma kapsamında HSMS 2852 diyotu kullanılarak, -10 dB geri yansıma kaybının yeterli olduğu varsayıldığında, 1.5 GHz ile 3.1 GHz bant aralığında çalışan geniş bant RF-EH sistemi ticari toplu elemanlar kullanılarak ADS programında tasarlanmıştır. Tasarlanan devre performansı göstergeleri olan çıkış gerilimi ve doğrultucu verimi; frekansa, giriş gücüne ve yüke bağlı olarak incelenmiştir. Simülasyon sonuçları Çizelge 3’te literatürde yapılan bazı çalışmalarla kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlar literatürdeki çalışmalar ile uyumludur.

Sistemin giriş gücüne bağlı olarak en iyi (-10, 10) dB aralığında çalıştığı ve en yüksek doğrultma veriminin 5 dBm giriş gücünde ve 2000 Ω yükte %68.2 olduğu gözlemlenmiştir. Sistemin (-10, 10) dB aralığı gibi dar bir aralıkta verimli çalışması dezavantaj gibi görülse de kaynaklardan yayılan elektromanyetik dalgaların taşıdığı enerjinin daha stabil olması bu dezavantajı önemsiz kılmaktadır. Ayrıca 5 dBm ve 2000 Ω da en yüksek verimin elde edilmesi giriş gücü ve yük değerlerindeki artışın her zaman verimi artırmayacağı sonucunu ortaya koymuştur. Öte yandan farklı giriş güçlerinde ve yüklerde doğrultma veriminin bir noktaya kadar yükseldiği ve bu noktadan sonra üstel bir şekilde azaldığı görülmüştür. Bu durumun diyodun doğrusal olmayan özelliklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu çalışmada çalışma frekansı, geniş aynı zamanda düşük giriş güçlerine cevap veren verimli bir RF-EH sistem tasarımı yapılmıştır. Gelecekteki çalışmalarda tasarlanan doğrultucuyu kullanan 1.5 GHz ile 3.1 GHz frekans aralığındaki enerjiyi toplayan bir anten tasarlanarak rektenna tasarımı yapılabilir.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

- Belen A, Belen MA, 2021. GSM VE ISM Bandı RF Enerji Hasatlama Sistemleri için Tek Katlı Doğrultucu Devre Tasarımı. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9 (2): 359-365.
- Bo SF, Ou JH, Zhang XY, 2022. Ultrawideband Rectifier with Extended Dynamic-Power-Range Based on Wideband Impedance Compression Network. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 70 (8): 4026-4035.
- Erkmen F, Ramahi OM, 2021. A Scalable, Dual-Polarized Absorber Surface for Electromagnetic Energy Harvesting and Wireless Power Transfer. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 69 (9): 4021-4028.
- Fakharian MM, 2022. A high gain wideband circularly polarized rectenna with wide ranges of input power and output load. International Journal of Electronics, 109 (1): 83-99.
- Gözel MA, Kasar Ö, Kahriman M, 2019. 545 MHz ile 5800 MHz Arası GSM ve ISM Bantlarda, HSMS 285c Diyodu Kullanılarak Yapılan Dickson Doğrultucu Devresinde Tek/Çift Katmanlı Yapının, RF-DC Güç Dönüştürme Verimine Etkisinin İncelenmesi. El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi, 6 (1): 24-30.
- Kim J, Oh J, 2021. Compact Rectifier Array with Wide Input Power Adaptive Power Distribution and Frequency Ranges Based on. IEEE Microwave and Wireless Components Letters, 31(5): 513-516.

- Koohestani M, Tissier J, Latrach M, 2020. A miniaturized printed rectenna for wireless RF energy harvesting around 2.45 GHz. *International Journal of Electronics and Communications*, 127: 153478.
- Kuhn V, Lahuec C, Seguin F, Person C, 2015. A Multi-Band Stacked RF Energy Harvester With RF-to-DC Efficiency Up to 84%. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 63(5): 1768-1778.
- Liu W, Huang K, Wang T, 2020. A Broadband High-Efficiency RF Rectifier for Ambient RF Energy Harvesting. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 30(12): 1185-1188.
- Mahfoudi H, Tellache M, Takhedmit H, 2019. A wideband rectifier array on dual-polarized differential-feedfractal slotted ground antenna for RF energy harvesting. *International Journal of RF Microwave Computer-Aided Engineering*, 29: e21775.
- Mansour MM, Kanaya H, 2018. Compact and Broadband RF Rectifier With 1.5 Octave Bandwidth Based on a Simple Pair of L-Section Matching Network. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 28(4): 335-337.
- Muhammad S, Tiang JJ, Wong SK, Iqbal A, Smida A, Azizi MK, 2021b. A Compact Dual-Port Multi-Band Rectifier Circuit for RF Energy Harvesting. *Computers, Materials & Continua*, 68(1): 167-184.
- Muhammad S, Tiang JJ, Wong SK, Nebhen J, Smida A, Waly MI, Iqbal A, 2022. Broadband RCN-based RF-rectifier with a large range of power for harvesting ambient wireless energy. *International Journal of Electronics and Communications*, 152: 154228.
- Muhammad S, Tiang JJ, Wong SK, Smida A, Waly MI, 2021a. Efficient quad-band RF energy harvesting rectifier for wireless power communications. *International Journal of Electronics and Communications*, 139: 253927.
- Muncuk U, Alemdar K, Sarode JD, Chowdhury KR, 2018. Multiband Ambient RF Energy Harvesting Circuit Design for Enabling Batteryless Sensors and IoT. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(4): 2700-2714.
- Saranya N, Kesavamurthy T, 2019. Design and performance analysis of broadband rectenna for an efficient RF energy harvesting application. *Int J RF Microw Comput Aided Eng.*, 29: e21628.

Atf İçin: Özer, T., Güneş, İ. ve Eryılmaz, M. M. (2023). Fırçasız Doğru Akım Motorunun PI Tabanlı Hız Kontrol Sisteminin Tasarımı ve Uygulaması. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*,13(2), 983-994.

ToCite: Özer, T., Güneş, İ. & Eryılmaz, M. M. (2023). Design and Application of PI Based Speed Control System of Brushless Direct Current Motor. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 983-994.

Fırçasız Doğru Akım Motorunun PI Tabanlı Hız Kontrol Sisteminin Tasarımı ve Uygulaması

İbrahim GÜNEŞ¹, Muharrem Mert ERYILMAZ², Tolga ÖZER^{3*}

Öne Çıkanlar:

- PID kontrol
- Fırçasız Doğru Akım Motor
- Motor Hız Kontrolü

Anahtar Kelimeler:

- Doğru Akım Motor
- Fırçasız Doğru Akım Motor
- DC-DC Düşürücü Devreler
- Motor Hız Kontrolü
- Hall Sensörler
- PID kontrol

ÖZET:

Doğru akım (DA) motorları yüksek verim, yüksek tork, sessiz çalışma ve kullanım kolaylığı gibi özellikleri nedeniyle geçmişten günümüze birçok farklı alanda kullanılmıştır. Geçmişte kolay sürülebilmesi nedeniyle çoğunlukla Fırçalı DA Motorları (FLDAM) kullanılmış olsa da güç elektroniği uygulamalarındaki gelişmeler ile bakım gerektirmeyen Fırçasız DA Motorları (FSDAM) yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. FSDAM kullanımı arttıkça bu motorların sürme devreleri ve hız kontrol algoritmaları hakkında yeni çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada, PSIM programı kullanılarak PID kontrollü FSDAM sürücü devresi simülasyon modeli oluşturulmuş ve FSDAM hız kontrolü başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonuçlarının doğruluğunu teyit edebilmek için FSDAM test düzeneği hazırlanmıştır. FSDAM sürücü devresi güç katında dahili sürücülü 3 fazlı yarım köprü devresi içeren Mitsubishi PM50RL1A120 IPM modülü kullanılmıştır. FSDAM hız kontrolü Texas TMS320F28335 DSP işlemci ile gerçekleştirilmiştir. FSDAM test düzeneğinin başarımlı osiloskop görüntüleri ile teyit edilmiştir.

Design and Application of PI Based Speed Control System of Brushless Direct Current Motor

Highlights:

- PID control
- Brushless DC Motor
- Motor Speed Control

Keywords:

- DC Motor
- Brushless DC Motor
- DC-DC Buck Converter
- Motor Speed Control
- Hall Sensors
- PID control

ABSTRACT:

Direct current (DC) motors have been used in many different fields from past to present due to their features such as high efficiency, high torque, quiet operation and ease of use. Although Brushed DC Motors (FLDAM) were mostly used in the past due to their easy driveability, maintenance-free Brushless DC Motors (FSDAM) have been widely used with the developments in power electronics applications. As the use of FSDAM increases, new studies are carried out on the drive circuits and speed control algorithms of these motors. In this study, PID controlled FSDAM driver circuit simulation model was created using PSIM program and FSDAM speed control was successfully performed. In order to confirm the accuracy of the simulation results, the FSDAM test setup was prepared. Mitsubishi PM50RL1A120 IPM module with 3 phase half bridge circuit with internal driver is used in FSDAM driver circuit power stage. FSDAM speed control is realized with Texas TMS320F28335 DSP processor. The performance of the FSDAM test setup was confirmed by oscilloscope images.

¹İbrahim GÜNEŞ ([Orcid ID:0000-0002-6336-5432](https://orcid.org/0000-0002-6336-5432)), ENEL Enerji A.Ş., Ar-Ge Merkezi, Kütahya, Türkiye

²Muharrem Mert ERYILMAZ ([Orcid ID:0000-0001-5495-8941](https://orcid.org/0000-0001-5495-8941)), Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye

^{3*}Tolga ÖZER ([Orcid ID:0000-0001-7607-6894](https://orcid.org/0000-0001-7607-6894)), Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Tolga ÖZER, e-mail: tolgaozer@aku.edu.tr

GİRİŞ

Günümüzde endüstriyel uygulamalarda otomotiv, havacılık ve robotik uygulamalarında yüksek performanslı motorların geliştirilmesi çok önemlidir (Zhang vd. 2004). Kontrol sistemlerinde kullanılan motorlar genellikle doğru akım motorlarıdır. Genel olarak, doğru akım motorları, birçok uygulamada kullanılmasına rağmen, komütatörlerin rutin bakımı, fırçaların sık değiştirilmesi ve yüksek başlangıç maliyeti gibi dezavantajlara sahiptirler (Pearson ve Paresh.1984). Klasik FLDAM'larda komütasyon işlemi için kullanılan fırçalar zamanla yıpranarak motorun düzensiz çalışması, ark oluşumu ve verim kaybına neden olmaktadır (Xu ve ark. 2008). Bu nedenle yüksek kalkınma momenti, yüksek verim, geniş hız ve tork aralığına sahip FSDAM kullanılmaktadır (Grigorie et al. 2019). FSDAM motorlar SMSM'ye (sabit mıknatıslı senkron motorlar) benzerler ve rotoru kalıcı mıknatıstan yapılmıştır (Atan, 2007). Geleneksel doğru akım ve asenkron motorlara alternatif olarak fırçasız doğru akım motorları icat edilmiştir (Shamseldin ve Elsamahy. 2014). Fırçasız doğru akım motorlarında kollektör ve fırça bulunmadığından komütasyon elektronik olarak yapılmaktadır (Yaz ve Cetin. 2021). Bu ihtiyacı gidermek için sürücü devreleri ve kontrol algoritmalarının tasarlanması konusunda pek çok çalışma yapılmaktadır. Geçmişte elektronik sürücü devresi gereksinimi nedeniyle çok tercih edilmeyen FSDAM, güç elektroniği, mikroişlemciler ve kontrol alanlarındaki gelişmelerle daha fazla kullanılmaktadır. Adından da anlaşılacağı gibi bu motorda fırça bulunmadığından kıvılcım gibi fırçaların neden olduğu kusurlar bulunmamaktadır. FSDAM motorlar komütatör içermediği için endüvi boyunun kısılmasına, rotorun hafif olmasına ve atalet torkunun azalmasını sağlar. Bu özellikler endüstriyel uygulamalarda önemlidir (Kenjo ve Nagomori. 1985). Sabit mıknatıslı FSDAM'lar sensörlü ve sensörsüz olarak iki gruba ayrılmaktadırlar. Sensörlü FSDAM'larda rotor pozisyonun tespit edilebilmesi için çoğunlukla Hall etkili sensörler ya da dönüştürücüler kullanılır. Sensörsüz FSDAM'larda rotor pozisyon tespiti için enerjilenmemiş stator sargısı üzerinde endüklenen gerilim değeri izlenmektedir.

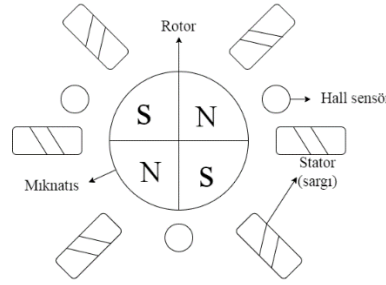
Endüstriyel uygulamalarda her iki FSDAM tipide kullanılmaktadır, ancak kontrol kolaylığı ve konum doğruluğu açısından sensörlü FSDAM'lar daha fazla tercih edilmektedir (Tatar. 2017). Stator akımlarını kontrol etmek için darbe genişlik ayarlı eviriciler sıklıkla kullanılır. Günümüzde, bu eviricilerin akımlarını kontrol etmek için kullanılan birçok teknik ve algoritma bulunmaktadır (Gumaste ve Slemon. 1981, Bose. 1990). Sabit mıknatıslı FSDAM kullanım alanlarında genellikle hassas hız kontrolü içeren uygulamalar olması nedeniyle hız kontrolüne yönelik birçok kontrol yöntemi tasarlanmıştır. Literatürde FSDAM hız kontrolü için bugüne kadar yapay sinir ağları, uyarlamalı kontrol, dalgacık tekniği, genetik algoritma gibi çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Birçok gelişmiş kontrol yöntemi olmasına rağmen, karmaşık olmayan yapısı, uygulama kolaylığı ve yüksek kararlılığı nedeniyle PI kontrol yöntemi endüstride en çok tercih edilen yöntemdir (Anwar ve Pan. 2013). FSDAM sürücüleri için etkili bir modelleme isimli çalışmalarında, FSDAM ve sürücü sistemi için MATLAB ortamında yeni bir simülasyon modeli önerilmiştir. Önerilen model sayesinde, tasarım aşamasında maliyetin azaldığı ve MATLAB ortamında hazırlandığı için kullanımının oldukça kolay olduğu belirtilmiştir (Luk ve Lee. 1994). FSDAM motorun hızı bazı değişkenleri değiştirerek düzenlenebilmektedir. Bu durumda parametreler PI denetleyici çalışması altında gerçek zamanlı ayarlanır (Singirala ve Krishna 2019). Sürücü tasarımında günümüz teknolojisinde güç denetimi elektronik devrelerle yapıldığından, elemanların küçük boyutta olması, ömürlerinin uzun olması ve otomasyonda bilgisayar denetimine imkân vermesi gibi birçok avantajdan dolayı elektronik komütasyon tercih edilmiştir.

Bu çalışmada sabit mıknatıslı FSDAM yapısı incelenmiş, uygun sürücü devresi seçimi yapılmıştır. FSDAM matematik modeli oluşturulmuş ve bu model kullanılarak kapalı çevrim kontrol modeli oluşturulmuştur. Dikey iniş ve kalkış yapan insansız hava aracının iniş yaparken gerçek iniş noktasından sapması nedeniyle İniş sistemine entegre edilmiş iki motoru kontrol eden orantı, integral ve türev (PID) tipi denetleyici katsayılarını bulmak için Genetik Algoritma (GA) ve Parçacık Sürüşü Optimizasyonu (PSO) yöntemleri kullanılmıştır (Çaşka ve Uysal). Kontrol modelinde kullanılan PI kontrolör katsayıları K_p , K_i ve K_d değerleri Matlab-Simulink programında yer alan PIDTuner aracı kullanılarak hesaplanmıştır. PSIM programı kullanılarak FSDAM, sürücü devresi ve kontrol rutinlerinin yer aldığı simülasyon modeli oluşturulmuştur. Simülasyon modelinde kapalı çevrim PI kontrolörle hız kontrolü gerçekleştirilmiş ve sonuçlar incelenmiştir. Simülasyon modelinin başarısını teyit etmek için FSDAM sürücü test düzeneği hazırlanmıştır. Hazırlanan test düzeneğinde 24 Vda, 80 Watt anma değerine sahip FSDAM test edilerek sonuçlar gözlenmiştir.

MATERYAL VE METOT

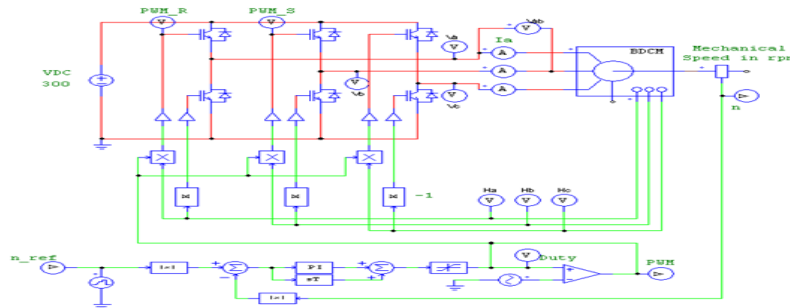
FSDAM Simülasyon Modelinin Oluşturulması

FSDAM'lar, rotor üzerinde yer alan sabit mıknatısların manyetik alanı ile stator sargılarında oluşan manyetik alanın etkileşimi sonucu oluşan moment ile elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren elektrik makineleridir. Şekil 1'de FSDAM içyapısı verilmiştir.



Şekil 1. FSDAM içyapısı

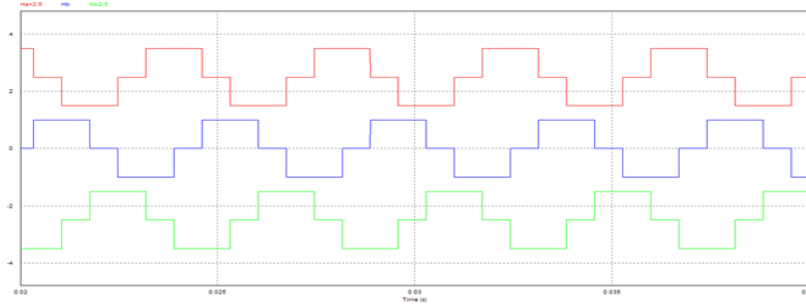
FSDAM, sabit stator ve hareketli rotor olmak üzere iki ana bölümden oluşur. Sensörlü FSDAM'larda rotor üzerinde rotor pozisyonunu belirlemek için çoğunlukla Hall sensörler kullanılmaktadır. FSDAM'ların sürekli moment üretebilmesi için Hall sensörlerden gelen rotor pozisyon bilgisi kullanılarak belirli bir sıralama ile motorun iki fazından belirli yönde akım geçirilmelidir. Rotor konumuna bağlı olarak belirli stator sargılarını enerjilendirmek için 3 fazlı H-köprü sürücü devreleri kullanılır. Şekil 2'de PSIM programında oluşturulan PI tabanlı hız kontrollü FSDAM sürücü devresi modeli görülmektedir.



Şekil 2. PSIM FSDAM sürücü devresi simülasyon modeli

PSIM simülasyon programında yer alan sensörlü FSDAM modelinde 3 adet faz girişi, 3 adet Hall sensörü bilgisi, motor hız ve tork çıkışları bulunmaktadır. Hall sensörü sinyalleri rotor

pozisyonuna göre +1, 0 ve -1 değerleri arasında çıkış üretmektedir. Şekil 3'te Hall sensörü sinyalleri verilmiştir.

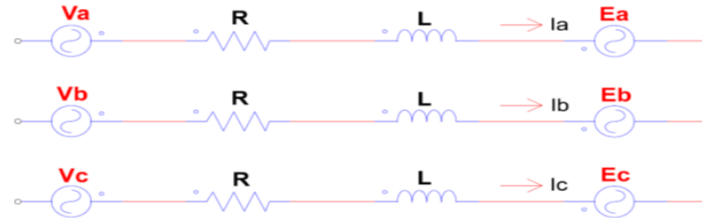


Şekil 3. Hall sensörü çıkış değerleri

Her bir Hall sensör çıkışından alınan sinyal, motorun ilgili fazının stator girişine bağlı olan faz gerilimini üretmek için kullanılır. Hall sensör çıkışı +1 olması durumunda ilgili fazda DC_Pos ucuna bağlı olan üst anahtar devreye alınırken, sensör çıkışı -1 olması durumunda ilgili fazın GND ucuna bağlı olan alt anahtar devreye alınmaktadır. Sensör çıkışı 0 değerinde iken her iki anahtar da devre dışı tutulmaktadır. PSIM simülasyon modelinde stator gerilimlerini belirleyen anahtarlama sinyalleri, rotor pozisyonu ile değişen Hall sensör değerleri ile kontrol edilerek sabit mıknatıslı rotor manyetik alanı ile stator sargılarında oluşan manyetik alan senkron edilmiştir. Rotor manyetik alanı stator sargılarına uygulanan 3 fazlı trapezoidal gerilimler sonucu oluşan döner alana senkron olarak sabit hızda dönme hareketi gerçekleştirmektedir.

FSDAM Hız Kontrolü

Şekil 4'te 3 fazlı yıldız bağlı bir FSDAM elektrik eş değer devresi görülmektedir. Stator sargısının endüktansı, direnci ve bunların üzerinden geçen akım gösterilmiştir.



Şekil 4. FSDAM elektrik eş değer devresi

Elektrik eş değer devresinde V_a stator gerilimi (V), I_a stator akımı (A), R stator direnci (Ω), L stator endüktansı (H) ve E_a ters EMK gerilimi (V) temsil etmektedir. FSDA motorun temel eşitlikleri aşağıdaki denklemlerde yer almaktadır.

$$V_a = I_a * R + L \frac{dI_a}{dt} + E_a \quad (1)$$

$$T_{em} = J * \frac{dw}{dt} + B * w + T_l \quad (2)$$

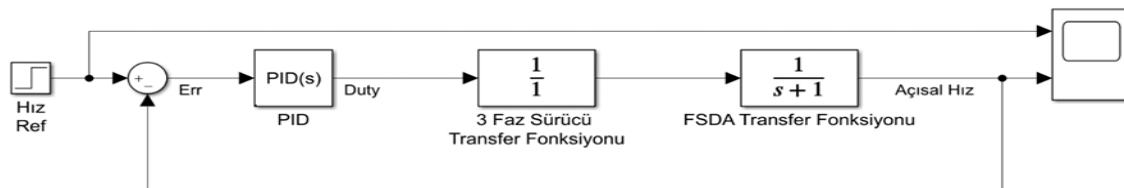
$$E_a = K_e * w \quad (3)$$

$$T_{em} = K_t * I_a \quad (4)$$

Yukarıdaki denklemlerde T_{em} motorun elektromanyetik momentini (N.m), J rotor atalet momentini (kg.m^2), B motor sürtünme katsayısını (kg.m.s/rad), w açısal hızı (rad/s), K_e ters emk sabitini, K_t stator sabitini göstermektedir. Bu denklemler kullanılarak FSDAM transfer fonksiyonu aşağıdaki denklemde verilmiştir.

$$G(s) = \frac{w(s)}{Vt(s)} = \frac{Kt}{J*L*s^2 + (J*R + L*B)*s + (B*R + Ke*Kt)} \quad (5)$$

Denklem 5'te $Vt(s)$ motor giriş gerilimini, $w(s)$ ise motor açısal hızını ifade etmektedir. Denklemden de görüleceği üzere FSDAM faz gerilim değerini değiştirerek dönme hızı kontrol edilebilmektedir. Motora uygulanan faz gerilim seviyesini değiştirebilmek için birçok farklı yöntem kullanılmaktadır. Gerilim seviyesini kontrol etmek için en yaygın olarak kullanılan yöntem Şekil 2'de H-köprü sürücü devresinde yer alan üst anahtarların (IGBT1, IGBT2 ve IGBT3) darbe genişlik modülasyonu metodu kullanılarak farklı doluluk oranlarında yüksek frekansta anahtarlanması yöntemidir. Üst anahtarlara uygulanan darbe genişlik modülasyonu sinyallerinin doluluk oranları değiştirilerek V_a , V_b ve V_c gerilimlerinin ortalama değerleri değiştirilerek motor hızı kontrol edilmektedir. Motor hız referansı ile motor çıkışından alınan hız bilgisi arasındaki fark hata sinyali olarak PI kontrolör girişine verilmiştir. PI kontrolör çıkışından alınan kontrol sinyali yüksek frekanslı üçgen dalga (Tri) ile karşılaştırılarak üst anahtarlar için kullanılan darbe genişlik modülasyonu (PWM) sinyali üretilmektedir. PI FSDAM hız kontrolörü kapalı çevrim kontrol blok diyagramı Şekil 5'te verilmiştir. FSDAM simülasyon modelinde, Çizelge 1'de yer alan parametreler kullanılarak FSDAM transfer fonksiyonu hesaplanmıştır. Kapalı çevrim blok diyagramında yer alan PI kontrolöre ait optimum katsayılar Matlab-Simulink programında yer alan PIDTuner fonksiyonu ile hesaplanmıştır. Hesaplanan katsayılar K_p değeri 0.08 ve K_i değeri 0.002 olarak PSIM programında kullanılmıştır.



Şekil 5. FSDAM kapalı çevrim kontrol blok diyagramı

Şekilde verilen PI kontrolör değerleri 6 numaralı formülde belirtilmiştir. Formüldeki k değerini yerine koyarak kazancı bulabilmekteyiz.

$$G(s) = k * (1 + sT) / (sT) \quad (6)$$

Çizelge 1: PSIM modeli FSDAM parametreleri

Parametre	Değer
Stator Direnci (R)	11.9 Ω
Stator Endüktansı (L)	0.00207 H
Atalet Momenti (J)	$7 * 10^{-6}$ kg.m ²
Ters emk sabiti (Ke)	0.1142 V.s/rad
Motor sürtünme katsayısı (B)	$7 * 10^{-5}$ kg.m.s/rad
Stator sabiti (Kt)	0.1142 kg.m/A

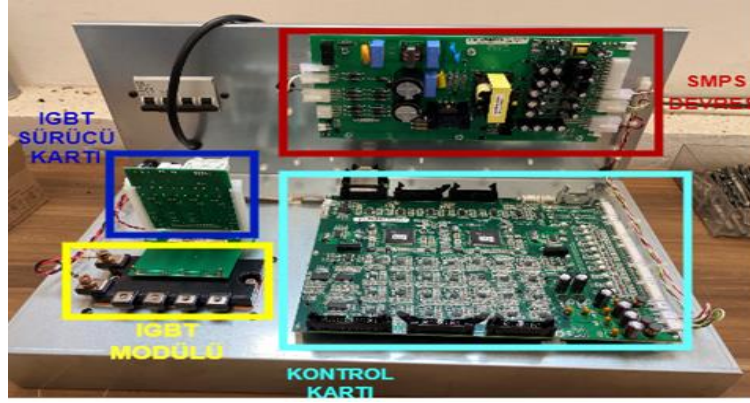
FSDAM Test Düzenineğin Oluşturulması

PID tabanlı FSDAM hız kontrol algoritmasının simülasyon çalışmalarının tamamlanmasının ardından anma değerleri Çizelge 2'de verilen FSDAM için sürücü test düzeneği oluşturulmuştur.

FSDAM sürücü test düzeneğinde, yarı iletkenler ve sürme devrelerinin yer aldığı evirici bloğu, işlemci ve ilgili devrelerin yer aldığı kontrol kartı, kontrol kartı ve sürücü kartında kullanılacak DA gerilimlerin üretildiği SMPS kartı ve eviriciyi beslemek için gereken DA gerilimi üretecek redresör kartı Şekil 6'da yer almaktadır.

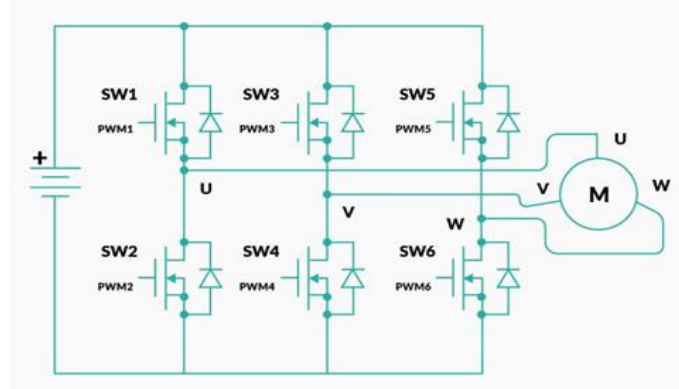
Çizelge 2: FSDAM anma değerleri

Parametre	Değer
Giriş gerilim	24 Vda
Giriş gücü	80 Watt
Maksimum Hız	3000 dev/dak



Şekil 6. FSDAM sürücü test düzeneği

FSDAM sürücü kontrol kartında, Hall sensör değerlerini okumak, yarı iletkenler için darbe genişlik modülasyonu sinyallerini üretmek ve PID kontrol algoritmalarını uygulamak için Texas TMS320F28335 DSP işlemcisi kullanılmıştır. DSP programı Code Composer Studio programı kullanılarak C programlama dilinde yazılmıştır. DSP işlemci, her 50 mikrosaniyede bir (20 kHz) Hall sensör değerlerini okuyup yarı iletkenler için uygun anahtarlama kombinasyonunu uygulayacak şekilde programlanmıştır. Evirici devresinde yer alan 6 IGBT birbirinden bağımsız şekilde tetikleneceği için DSP işlemcide yer alan 6 adet ECap modülü asenkron darbe genişlik modülasyonu sinyali üretecek şekilde programlanmıştır.



Şekil 7. 3 fazlı H-Köprü evirici devresi

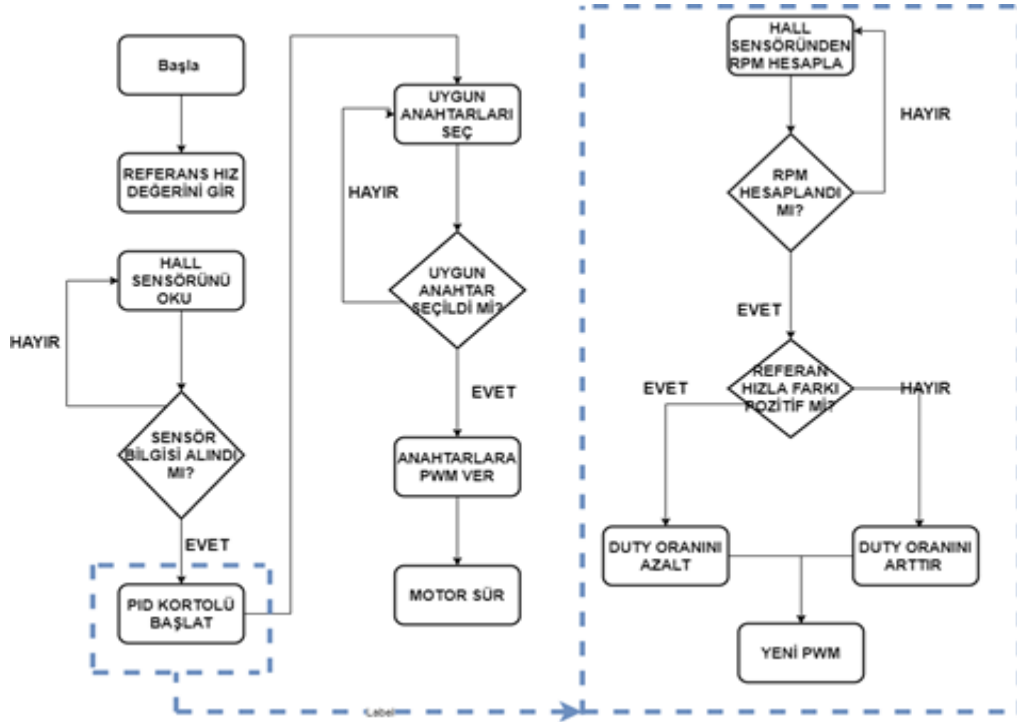
Şekil 7'de görülen H-köprü evirici devresinde motorun sarsıntısız bir şekilde dönebilmesi için motordan alınan 3 adet Hall sensör bilgisi ile rotor pozisyonu tespit edilerek stator sargılarının enerjilendirme sıralaması belirlenmiştir. Evirici devresi IGBT'leri Çizelge 3'te verilen sıralamaya uygun şekilde tetiklenerek FSDAM sürme işlemi gerçekleştirilmiştir.

FSDAM sürme yönünü ters çevirmek için Hall sensör bilgilerine göre enerjilendirilecek stator sargısına ters gerilim uygulanmıştır. Evirici devresi IGBT'leri Çizelge 2'de verilen sıralamanın tersi ile tetiklenerek FSDAM sürme yönü değiştirme işlemi gerçekleştirilmiştir.

FSDAM sürücü devresinin PI çalışmasında gelen veriler ve verilen kararlar doğrultusunda çalışması blok sema olarak Şekil 8'de verilmiştir.

Çizelge 3: Hall sensör pozisyonuna göre anahtarlama durumları

Hall Sensör (abc)	IGBT1	IGBT2	IGBT3	IGBT4	IGBT5	IGBT6
001	OFF	ON	PWM	OFF	OFF	OFF
010	PWM	OFF	OFF	OFF	OFF	ON
011	OFF	OFF	PWM	OFF	OFF	ON
100	OFF	OFF	OFF	ON	PWM	OFF
101	OFF	ON	OFF	OFF	PWM	OFF
110	PWM	OFF	OFF	ON	OFF	OFF

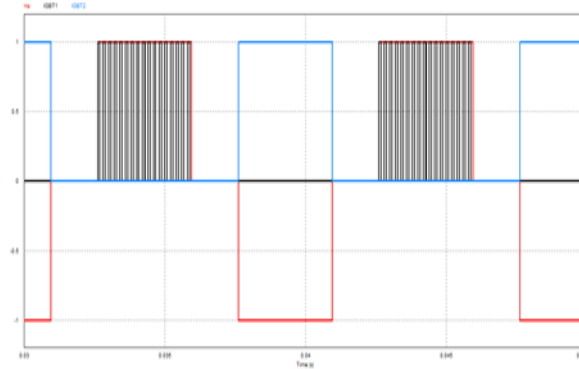
**Şekil 8.** FSDAM sürücü devresi PID çalışma akış şeması

BULGULAR VE TARTIŞMA

Simülasyon Modeli Sonuçları

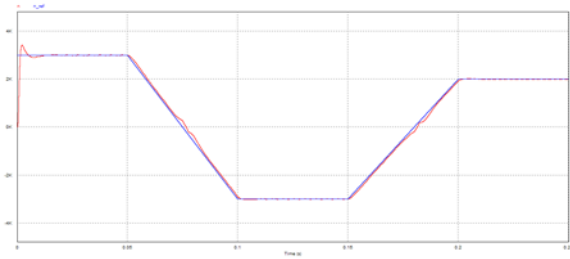
PSIM programında hassas hız kontrolü imkânı sağlayan simülasyon modeli oluşturulmuş ve model test edilmiştir. H-köprü devresinde kullanılan yarı iletken anahtarlar Hall sensörlerden gelen veri ile senkron olarak çalışmaktadır. Evirici devresinde üst kol yarı iletkenleri (IGBT1, IGBT3, IGBT5) yüksek frekansta anahtarlama yaparken, alt kol yarı iletkenleri (IGBT2, IGBT4, IGBT6) temel frekansta anahtarlama yaparak çalışması Şekil9'da gösterilmiştir.

Stator sargılarına uygulanan gerilim seviyeleri, hız hatasına bağlı olarak PID denetleyicinin darbe genişlik modülasyonu doluluk oranlarını değiştirmesi ile kontrol edilerek FSDAM hız kontrolünün farklı referans hızlarındaki ve dönüş yönünün değiştirilme davranışı gözlemlenmiş ve kontrolün başarılı bir şekilde gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Tasarlanan FSDAM sürücü simülasyon modelinde motor dönüş yönünü değiştirmek için Hall sensörlerden gelen veriler terslenerek H-Köprü yarı iletkenlerine uygulanmıştır.

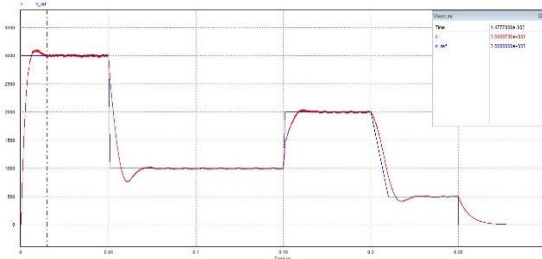


Şekil 9. Evirici devresi A fazı Hall sensör (kırmızı), IGBT1 anahtarlama (siyah) ve IGBT2 anahtarlama (mavi) eğrileri

Simülasyon modelinde motor yönünü değiştirmek için motor hız referansı (n_{ref}) negatif olarak girilmektedir. Motor hız referansı ile motor hızının değişimi ve yön değişim grafikleri Şekil 10'da görülmektedir.



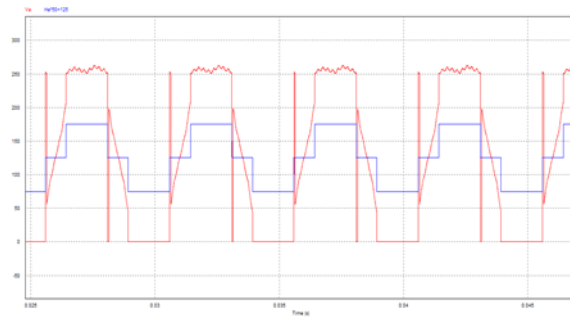
(a)



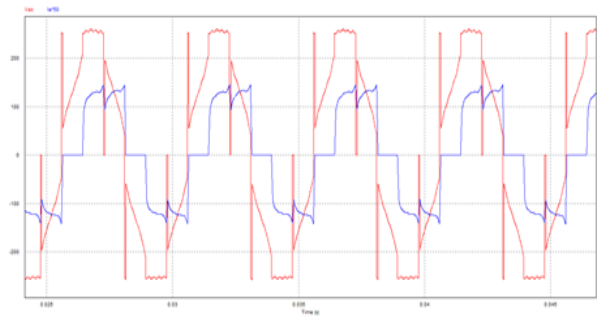
(b)

Şekil 10.(a) FSDAM yön değişimi, motor hızı ve hız referans eğrileri, (b) FSDAM 3000, 2000 ve 1000 RPM hız referansı hız eğrileri

Şekil 11'de FSDAM sürücü devresi A fazı gerilimi ve Hall A sensör bilgisi ve V_{ab} faz-faz gerilimi ve faz akımı görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 11.(a) FSDAM çıkış gerilim ve Hall sensör çıkışı eğrileri, (b) FSDAM çıkış faz-faz gerilim ve akım eğrileri

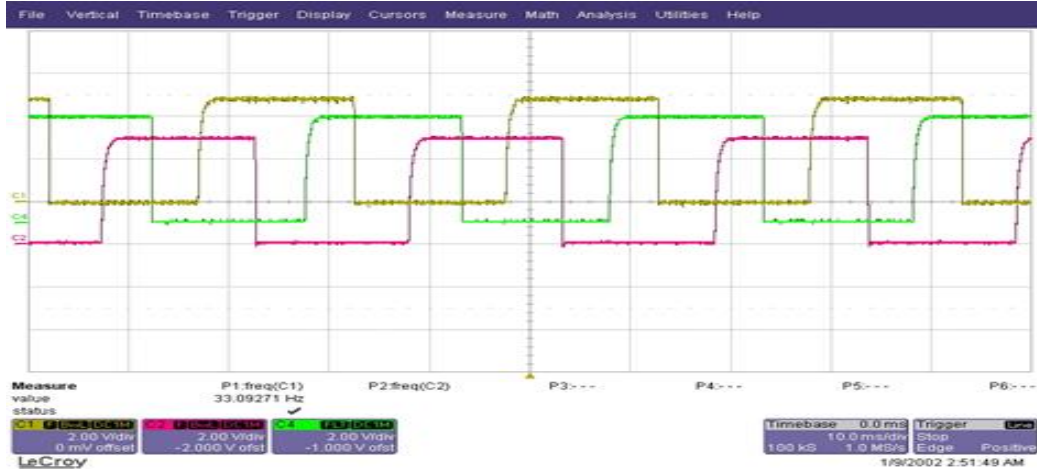
FSDAM Sürücü Test Düzeneği Sonuçları

Şekil 12'de anma değerleri Çizelge 2'de belirtilen motoru test etmek amacıyla oluşturulan test düzeneği yer almaktadır.

Test düzeneğinde ilk olarak motor Hall sensör bilgilerinin işlemci kartına doğru bir şekilde aktarılmasının osiloskop ekranındaki görüntüsü Şekil 13'te verilmiştir.

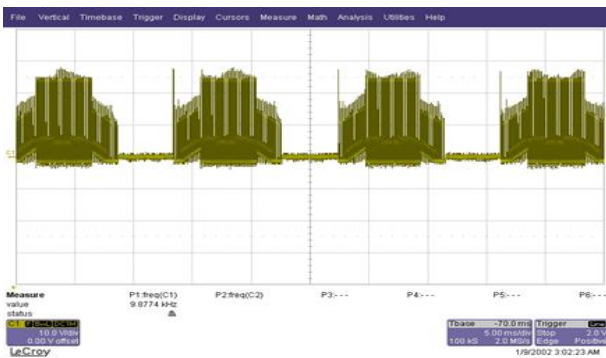


Şekil 12. FSDAM test düzeneği

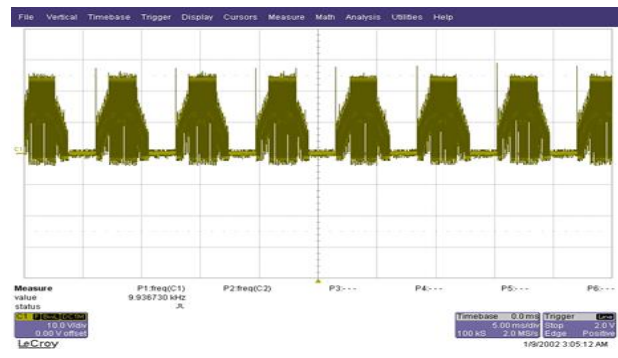


Şekil 13. A fazı (sarı), B fazı (yeşil), C fazı (pembe) Hall sensör bilgileri osiloskop görüntüsü

DSP işlemcide okunan 3 faz sensör değerlerine göre 6 farklı durum tanımlanıp her bir durumda hangi anahtarın açık, hangilerinin kapalı olacağı, hangi anahtarın yüksek frekansta anahtarlama yapacağı Çizelge 3'e göre belirlenerek Ecap modüllerine gerekli yüklemeler yapılmıştır. Sürücü devresi ilk olarak açık çevrim modunda sabit hızda çalıştırılmıştır. Darbe genişlik modülasyonu modunda çalışacak anahtar için doluluk oranı manuel olarak minimum bir değer seçilerek motora yol verilmiştir. Minimum %10 doluluk oranı ile motorun yol aldığı ve doluluk oranı arttıkça hızın arttığı görülmüştür.



(a)

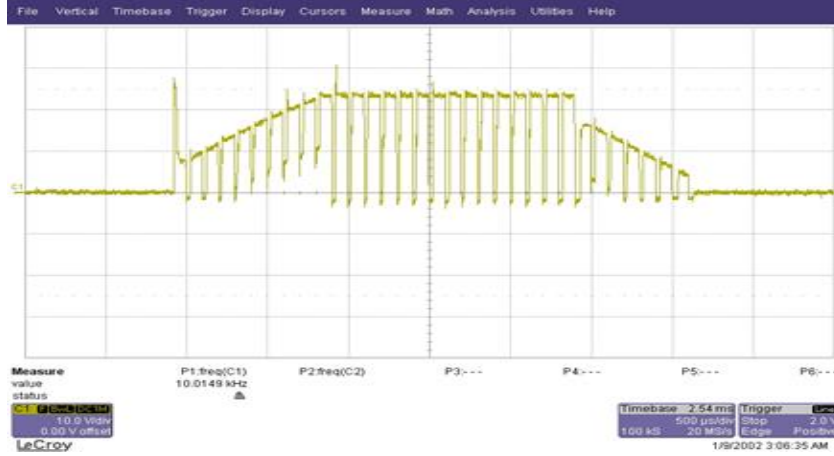


(b)

Şekil 14. (a)%25 doluluk oranında motor A-fazı gerilimi osiloskop görüntüsü, (b)%50 doluluk oranında motor A-fazı gerilimi osiloskop görüntüsü

Motor girişinde üretilen faz geriliminin tepe değeri H-Köprü DC besleme gerilimi ile aynı değerde olan trapezoidal formda olduğu görülmektedir. Darbe genişlik modülasyonu doluluk oranı arttıkça (%50) motor hızının artarak trapezoidal formun frekansının yükseldiği ve %25 doluluk

oranında FSDAM A fazının gerilimi Şekil 14'te görülmektedir. Motor girişinde üretilen faz geriliminin tepe değeri H-Köprü DC besleme gerilimi ile aynı değerde olan trapezoidal formda olduğu görülmektedir. Darbe genişlik modülasyonu doluluk oranı arttıkça (%50) motor hızının artarak trapezoidal formun frekansının yükseldiği Şekil 15'te görülmektedir.

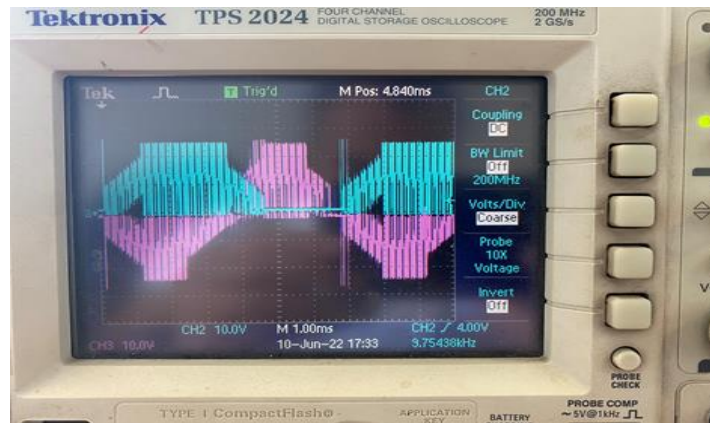


Şekil 15. %75 doluluk oranında motor A-fazı gerilimini oluşturan anahtarlama darbeleri görüntüsü

Sürücü açık çevrim testleri tamamlandıktan sonra kapalı çevrim hız kontrolü çalışmalarına başlanmıştır. Motor hızı harici bir ekipman kullanmadan Hall sensör bilgileri kullanılarak belirlenmeye çalışılacaktır. Kullanılan motorun kutup sayısı değerine bağlı olarak motorun kendi eksenine etrafında her bir tur dönüşü sırasında her bir Hall sensörü çıkışı belirli defa 0 değerinden 1 değerine yükselirler. DSP işlemci yazılımında her bir dakika içerisinde kaç defa bu değişim yaşandığı hesaplanarak motor hızı tespit edilecektir. Motor hızının belirlenmesinin ardından motor hızı referans değeri arasındaki fark ayrık zamanda tasarlanan PI kontrolöre iletilerek darbe genişlik modülasyonu doluluk oranları hesaplanacaktır.

FSDAM Sürücü Test Düzeneği PID Sonuçları

Şekil 16'da %50 doluluk oranında A fazı gerilimi ve AB faz arası gerilimi osiloskop ekranında görülmektedir.



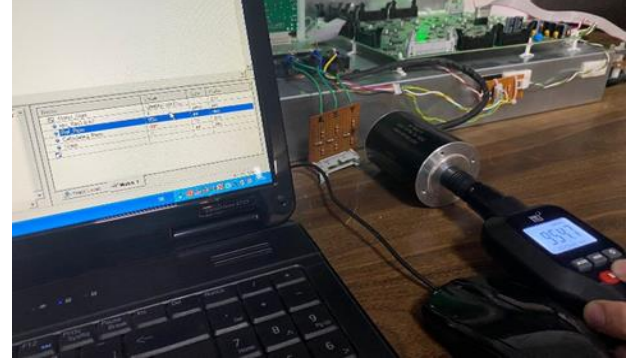
Şekil 16. %50 doluluk oranında motor A fazı (mavi) ve AB faz-faz gerilimi (pembe) görüntüsü

Şekil 17'de PID kontrolcüsünün kullanıldığı test düzeneğinde, motorun hızı test düzeneğinde 1050 RPM (dakikadaki devir sayısı) olarak belirlendi, takometreden ölçülen değer yaklaşık 1050 RPM seviyelerinde okunduğu ve 950 RPM hızına düşürülmek istendiği zaman motor hızı 950 RPM düzeylerine düştüğü gösterilmiştir. Her iki aşamada da yaklaşık 15 milisaniye sonunda referans hıza oturmaktadır.

Test düzeneğinde girilen referans değeri 1050 RPM ve test düzeneğinde ölçülen anlık değer 1039 RPM ve takometreden okunan anlık değer 1053 RPM olarak ölçülmüştür. Ölçümlerdeki farklar ölçüm yapılan takometrenin ve işlemcinin hassasiyeti nedeniyle oluşmuştur.



(a)



(b)

Şekil 17.(a)1050 RPM hız referansı ve ölçülen değerler, (b)950 RPM hız referansı ve ölçülen değerler

SONUÇ

Hız kontrollü FSDAM sürücü devresi simülasyon uygulaması PSIM programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. FSDAM hız kontrolü, 3 fazlı H-köprü evirici devresinde yer alan üst anahtarların doluluk oranlarının PID kontrolör ile belirlenmesi sonucu gerçekleştirilmiştir. PID kontrolörün referans hızı yakalaması ortalama 15 milisaniye olarak bulunmuştur. Simülasyon modelinin başarımı simülasyon sonuçları ile teyit edilmiştir. Simülasyon modelinden elde edilen bilgiler kullanılarak FSDAM sürücü test düzeneği hazırlanmıştır. FSDAM sürücü devresi güç katında dahili sürücülü 3 fazlı yarım köprü devresi içeren Mitsubishi PM50RL1A120 IPM modülü, kontrol katında Texas TMS320F28335 DSP işlemci kullanılmıştır. Anma değerleri Çizelge 2’de verilen FSDAM, sürücü test düzeneğinde açık çevrim modunda sürülmüş ve başarımı osiloskop görüntüleri ile teyit edilmiştir. Test düzeneğinde PID kontrol yapılarak kapalı çevrim modunda motoru sürerek, hız değerlerini bilgisayar ara yüzü ve takometreden alınan değerler karşılaştırılmıştır. Girilen referans değeri ve işlemci tarafından ölçülen değer karşılaştırılarak görev oranını değiştirerek yeni bir darbe genişlik modülasyonu sinyali oluşturulmuştur. Motorun belirli bir hızda çalıştırılmaktadır. Ölçü aleti ve bilgisayar ara yüzündeki değer referans değere oldukça yakın olduğu gözlemlenmiştir. Bu gözlemler sonucunda sistemin belirlenen referans değere göre PI kontrolü ile hızını sabit tuttuğu ve deneysel test devresinin ve kullanılan algoritmanın çalıştığı saptanmıştır.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

- Akram H., Abd El Samie B., Ayman Ali M. (2018) Comparison between Fuzzy Logic and PI Control for the Speed of BLDC Motor. *International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS)*, 9(3), 1116-1123.
- Anwar, M.N., Pan, S. (2013). Synthesis of the PID controller using desired closed-loop response. *IFAC Proceeding Volumes*, 10(1).

- Atan, Ö. (2007). *Fırçasız DC motorun modellenmesi ve PWM ile kontrolü*, Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, 1-2, 6-14.
- Çaşka, S., Uysal, A. (2021). İHA Yardımcı İniş Sisteminin Meta-Sezgisel Optimizasyon Yöntemleri ile Kontrolü. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(5), 1223-1230.
- Gumaste, A.V. Slemon, G.R. (1981) Steady-state analysis of a permanent magnet synchronous motor drive with voltage-source inverter, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 5(2), 143-151.
- Grigorie, T.L., Khan, S., Botez, R.M., Mamou, M., Mebarkı, Y. (2019). Design and experimental testing of a control system for a morphing wing model actuated with miniature BLDC motors. *Chinese Journal of Aeronautics*, 5(3).
- Kenjo, T., Nagomori, S. (1985). *Permanent Magnet and Brushless DC Motors*, Clarendon Press, Oxford, 57-70.
- Luk, P. C. K., & Lee, C. K. (1994). Efficient modelling for a brushless DC motor drive. In Proceedings of IECON'94-20th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics, 1, 188-191.
- Pearson, W.R., Sen, P.C. (1984) Brushless DC motor propulsion using synchronous motors for transit systems, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, (4),346-351.
- Singirala M., Krishna D., Anil Kumar T. (2019). Improving Performance Parameters of PMBLDC Motor using Fuzzy Sliding Mode Controller, *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, 8(4).
- Shamseldin, M. A., EL-Samahy, A. A. (2014) Speed control of BLDC motor by using PID control and self-tuning fuzzy PID controller, *International Workshop on Research and Education in Mechatronics (REM)*, 1-9.
- Shekhar, S., Saha, P. K., Thakura, P. R. (2020). Optimal PID Tuning of BLDC Drive using LQR Technique. 2, 57–574.
- Soni, Y.K., Bhatt, R. (2013). BF-PSO optimized PID controller design using ISE, IAE, IATE and MSE error criteria. *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering and Technology*. 2(7), 2333-2336.
- Tatar, G. (2017). *Hafif Elektrikli Araçlar İçin Akıllı, FSDAM Sürücü ve Kontrolör Tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 120.
- Xu, F., Li, T., Tang, P. (2008). A Low Cost Drive Strategy for BLDC motor with low torque ripples. 2008 3rd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, ICIEA 2008, 1, 2499–2502.
- Yaz, M. Cetin, E. (2021). Brushless Direct Current Motor Design and Analysis, *COJ Electronics & Communications*, 1-12.
- Zhang, Y., Zhang, L., Dong, Z. (2019). An MEA-Tuning Method for Design of the PID Controller. *Mathematical Problems in Engineering*, 2019.

Atf İçin: Çelik, D. (2023). Aktif Güç Filtresi ile Akım Harmonikleri, Reaktif Güç Kompanzasyonu ve Etkili Güç Akışı için Geliştirilmiş Bir Kontrol Yöntemi. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 995-1004.

To Cite: Çelik, D. (2023). An Improved Control Method for Current Harmonics, Reactive Power Compensation and Effective Power Flow with Active Power Filter. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 995-1004.

Aktif Güç Filtresi ile Akım Harmonikleri, Reaktif Güç Kompanzasyonu ve Etkili Güç Akışı için Geliştirilmiş Bir Kontrol Yöntemi

Doğan ÇELİK^{1*}

Öne Çıkanlar:

- Farklı yüklerin harmonik etkilerinin ortadan kaldırılması
- Reaktif güç kompanzasyonun etkili bir şekilde sağlanması
- Güç faktörünün iyileştirilmesi

Anahtar Kelimeler:

- Reaktif güç,
- Aktif güç filtresi
- Harmonik kompanzasyonu
- Endüktif ve kapasitif yükler

ÖZET:

İndüktörler, kapasitörler, transformatörler, doğrultucular, kesintisiz güç kaynakları, elektrikli makineleri ve flüoresan lambalar gibi çeşitli konut yükleri, güç faktörünün bozulmasına ve harmoniklere neden olmaktadır. Elektrik güç sistemlerine bağlı reaktif yükler, ana şebekedeki akım/güç kalitesini ve güç faktörünü azaltan reaktif güç üretmektedirler. Bu nedenle, istikrarlı ve güvenilir bir elektrik şebekesi için yeterli reaktif güç sağlanması gerekir. Bu bağlamda, bu makalede üç fazlı şönt aktif güç filtresi (ŞAGF) ile farklı yüklerin harmonik etkilerinin ortadan kaldırılması, reaktif güç kompanzasyonun ve etkili bir şekilde reaktif güç akışını sağlanması için geliştirilmiş bir kontrol yöntemi önerilmiştir. Önerilen kontrol yönteminin performans sonuçları, dirençli-kapasitif doğrusal yük (D-KDY), dirençli-endüktif doğrusal yük (D-EDY), doğrusal olmayan yük (DOY) ve yüksek endüktif DOY gibi kapsamlı durum çalışmaları altında incelenmiş ve geleneksel kontrol yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Önerilen kontrol yöntemi ile yüksek bir güç faktörü sağlamak için ana şebekeden güç çekmeden ŞAGF yeterli reaktif güç sağlamaktadır. Çeşitli durum çalışmaları, önerilen kontrol yöntemi şebeke akımı ve gerilimi arasındaki faz uyumsuzluğunu azaltabileceğini ve şebeke akımı harmoniklerini azaltabileceğini göstermektedir. Farklı yük grupları etkisi altında, önerilen kontrol yöntemi ile yaklaşık 0.99 güç faktörü değeri elde edilirken geleneksel kontrol yöntemi ile 0.79 ve 0.81 gibi daha düşük güç faktörü değerleri elde edilmiştir. Ayrıca önerilen kontrol yöntemi ile farklı harmonik yüklerin etkisi ortadan kaldırılarak akım harmoniklerinin THB¹ si %1.0 seviyesinin altına düşürülmüştür.

An Improved Control Method for Current Harmonics, Reactive Power Compensation and Effective Power Flow with Active Power Filter

Highlights:

- Elimination of harmonic effects of different loads
- Effectively providing reactive power compensation
- Enhanced power factor

Keywords:

- Reactive power
- Active power filter
- Harmonic compensation
- Inductive and capacitive loads

ABSTRACT:

Various residential loads such as inductors, capacitors, transformers, rectifiers, uninterruptible power supplies, electrical machines and fluorescent lights result in power factor deterioration and harmonics. Reactive loads linked to the electrical power systems produce reactive power, which declines the current/power quality and power factor in the main network. Therefore, adequate reactive power is required to provide a stable and reliable electric grid. In this paper, an improved control method is proposed to eliminate harmonic effects of different loads, to provide reactive power compensation and effective reactive power flow with a three-phase shunt active power filter (SAPF). The performance results of the proposed control method is examined and compared with the conventional control under comprehensive case studies such as resistive-capacitive linear load (R-CLL), resistive-inductive linear load (R-ILL), non-linear load (NLL) and highly inductive NLL. With the proposed control method, the SAPF supplies adequate reactive power without being drawn power from the main grid to provide a high power factor. Various case studies indicate that the proposed control method can decrease phase discrepancy between grid current and voltage as well as reduce grid current harmonics. Under the impact of different load groups, approximately 0.99 power factor values have been obtained by the proposed control method, while lower power factor values such as 0.79 and 0.81 have been obtained by the conventional control method. In addition, with the proposed control method, the effect of different harmonic loads has been eliminated and the THB of current harmonics has been reduced below 1.0%.

¹ Doğan ÇELİK ([Orcid ID: 0000-0002-8348-130X](https://orcid.org/0000-0002-8348-130X)), Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Van, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Doğan ÇELİK, e-mail: dogancelik@yuu.edu.tr

GİRİŞ

Güç dönüştürücüleri, kesintisiz güç kaynakları, elektrik makineleri ve indüktörler, kapasitörler ve diğer doğrusal olmayan yükler (DOY) gibi çeşitli konut yüklerinin yoğun kullanımı, güç faktörünün bozulmasına, harmoniklere ve gerilim ve/veya akım dalga biçimlerinin bozulmasına neden olmaktadır (Afonso ve ark., 2000; Ahmed ve Çelik, 2022; Çelik, 2022; Kürker, 2022). Ana şebeke sistemlerinin güç faktörü, ABD Enerji Bakanlığı tarafından belirlenen standartlara göre 0.95' den büyük olması ve toplam harmonik bozulmaların (THB) IEEE-519 standardına göre %5' in altında olması gerekmektedir. Kanada şebeke kriterleri gereksinimlerine ve Alberta Elektrik Sistemi Operatörüne göre dinamik ve dinamik olmayan reaktif güç için iki farklı çalışma koşulu bulunmaktadır: Bunlardan birisi; dinamik çalışmada 0.985 endüktif ile 0.95 kapasitif arasında bir aralık gerekirken ve diğeri ise sürekli çalışma durumu için güç faktörü aralığı 0.9 kapasitif/ileri ve 0.95 endüktif/geri olmasıdır (AESO, 2013). Ayrıca endüktif yükler, gereksiz güç akışına ve fatura cezalarına neden olmakla birlikte entegre cihazlar için güç kaybı ve yüksek sıcaklık riski de oluşturur (Cossutta ve ark., 2015; Chilipi ve ark., 2017; Meraj ve ark., 2022). Bu sorun, reaktif gücün kompanze edilmesi, harmonik bileşenlerin ortadan kaldırılması ve şebekenin akımı ile gerilimi arasındaki faz sapmalarının azaltılması ile giderilebilir (İnci, 2020; Meraj ve ark., 2022).

Çeşitli uygulamalarda güç kalitesini iyileştirmek için şönt aktif güç filtreleri (ŞAGF), seri AGF' ler ve hibrit AGF' ler gibi aktif çözümleri kullanan çeşitli kontrol yaklaşımları araştırılmıştır (Shu ve ark., 2011; Chilipi ve ark., 2018; Ferreira ve ark., 2018; Hoon ve ark., 2018; Tareen ve Mekhielf, 2018; Hasan ve ark., 2022; Mishra ve Lal, 2022). Moeini ve ark. (2022), güç kalitesi standartlarını karşılamak için asimetrik seçici harmonik akımı azaltan yapay sinir ağı tekniğini ele almaktadırlar. Pichan ve ark. (2022), ŞAGF ile yük harmoniklerini azaltmak için yeni bir doğrudan güç kontrol yöntemini kullanarak incelemiştirler. DOY' ler tarafından oluşan akım harmoniklerin etkisini azaltmak ve reaktif gücü kompanze etmek için Chilipi ve ark. (2019), uyarlanabilir bir filtreleme yöntemini önermişlerdir. Golla ve ark. (2022), güç kalitesi endeksini iyileştirmek için fotovoltaik beslemeli AGF için anlık güç teorisini bir araya getiren ikinci dereceden genelleştirilmiş integratör ile birlikte tarak filtresini sunmuşlardır. Ayrıca sistemin maliyetini ve boyutunu azaltmak için Tareen ve Mekhielf (2018), üç fazlı bir ŞAGF için yeni bir gerilim kaynaklı evirici topolojisini önermişlerdir. Önerilen bu topolojide, reaktif güç ve akım harmoniklerin kompanzasyonu etkili bir şekilde sağlanmaktadır. Mishra ve ark. (2020), dengeli ve dengesiz yük koşullarında harmonik kompanzasyonu için yeni bir kontrol algoritması ile birlikte bir hibrit ŞAGF sunmaktadırlar. Gong ve ark. (2022), ideal olmayan şebeke koşullarında hızlı dinamik yanıt ve daha iyi sağlamlık elde etmek için hibrit AGF için ikinci dereceden kayan kipli bir denetleyici incelemiştirler. Diğer bir çalışmada, Tekin ve ark. (2016), hidroelektrik santraller tarafından üretilen harmoniklerin elektrik şebekesini nasıl etkilediği inceleyip araştırmışlardır. Tekin (2022), alçak ve orta gerilim elektrik şebekelerinde meydana gelen güç ve gerilim dengesizliklerini tespit edip analiz etmiştir. Endüktif ve kapasitif karakteristiğe sahip olan şebeke tarafından çekilen reaktif gücü azaltmak için statik var kompanzasyonu yapılmıştır. Koroglu ve ark. (2019), güç kalitesi sorunlarına alternatif bir çözüm olarak yeni bir hibrit birleşik güç kalitesi düzenleyici topolojisini önermişlerdir. Soumana ve ark. (2022), iki seviyeli şebekeye bağlı fotovoltaik (FV) sistemleri için bir akım harmonik filtreleme işlevini içeren bir kontrol tekniği önermişlerdir. Önerilen bu yöntem ve ŞAGF kullanılarak THB' si yaklaşık % 2.0 olan şebeke akımı elde edilmiştir. Fan ve ark. (2021), yük harmoniklerinin etkisini azaltmak için FV-süper iletken manyetik enerji depolama tabanlı AGF önermişlerdir. Ouchen ve ark.

(2021), supertwisting kayan mod kontrolüne dayalı uzay vektör modülasyonu kullanılarak ŞAGF için doğrudan güç kontrolünü önermişlerdir. Önerilen bu metot ile hızlı yanıt süresi ve yüksek sağlamlık sağlamanın yanı sıra daha düşük THB ve daha düşük güç dalgalanmaları sağlanmıştır.

Bu makale üç fazlı ŞAGF ile farklı harmonik yüklerin etkisini ortadan kaldırmak, reaktif güç kompanzasyonunu sağlamak ve etkili bir şekilde reaktif güç akışını sağlamak için bir kontrol yöntemi önerilmiştir. Mevcut birkaç çalışma ile karşılaştırıldığında önerilen kontrol yöntemi ile ana şebekeden reaktif güç çekilmeden reaktif güç kompanzasyonu sağlanmış ve akım harmonikleri de azaltılmıştır. Önerilen kontrol yöntemi geleneksel kontrol yönteminin aksine daha yüksek bir güç faktörü, daha düşük faz sapması ve daha düşük harmonik bozulma sağlamaktadır. Önerilen kontrol yönteminin çalışması dirençli-kapasitif doğrusal yük (D-KDY), dirençli-endüktif doğrusal yük (D-EDY), DOY ve yüksek endüktif DOY gibi çeşitli yük koşulları altında doğrulanmıştır. ŞAGF için önerilen kontrol yönteminin performansı farklı yüklerin etkisi altında PSCAD/EMTDC ortamında test edilmiştir.

MATERYAL VE METOT

Bu bölümde ŞAGF sisteminin yapısı ve önerilen kontrol yöntemi detaylı olarak incelenmiştir.

ŞAGF Sisteminin Devre Yapısı

ŞAGF güç devresinin konfigürasyonu ve temel elemanları Şekil 1' de detaylı olarak verilmiştir. v_s şebeke gerilimini, i_s şebeke akımını, i_f filtre akımını, i_l yük akımını, C_{da} DA tarafı kapasitörü ve v_{DA} DA-bağ gerilimini temsil etmektedir. ŞAGF bir arayüz endüktans filtresi L_f aracılığıyla ortak bağlantı noktasında (OKN) ana şebekeye bağlanmaktadır.

Önerilen Kontrol Yöntemi

Bu bölümde Şekil 2' de gösterilen üç fazlı ŞAGF ile reaktif güç kompanzasyonunu sağlamak ve akım harmoniklerini elimine etmek için çok amaçlı bir kontrol yöntemi tanıtılmaktadır. OKN gerilimlerini ve yük akımlarını bileşenlerine ayırmak için adaptif çentik filtre (AÇF) tekniği kullanılmıştır (Yazdani ve ark., 2008). Gerekli güç kompanzasyonunu sağlamak için yükün ve ŞAGF'nin aktif ve reaktif güçleri hesaplanmıştır.

Dengesiz ve harmonikli üç fazlı sinyaller durumunda, v_α - v_β ve i_α - i_β sinyallerinin temel frekans bileşenleri dikkate alınmalıdır. Bu nedenle, AÇF tekniği kullanılarak kaynak geriliminin ($\hat{v}_{\alpha f}^p$ ve $\hat{v}_{\beta f}^p$) ve yük akımının ($\hat{i}_{\alpha f}^p$ ve $\hat{i}_{\beta f}^p$) temel frekans bileşenleri Eşitlik 1'de ve Eşitlik 2'de aşağıda verildiği şekilde elde edilir.

$$\begin{pmatrix} \hat{v}_{\alpha f}^p \\ \hat{v}_{\beta f}^p \end{pmatrix} = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 & -e^{-j\frac{\pi}{2}} \\ e^{-j\frac{\pi}{2}} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_{s\alpha} \\ v_{s\beta} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

$$\begin{pmatrix} \hat{i}_{\alpha f}^p \\ \hat{i}_{\beta f}^p \end{pmatrix} = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 & -e^{-j\frac{\pi}{2}} \\ e^{-j\frac{\pi}{2}} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_{l\alpha} \\ i_{l\beta} \end{pmatrix} \quad (2)$$

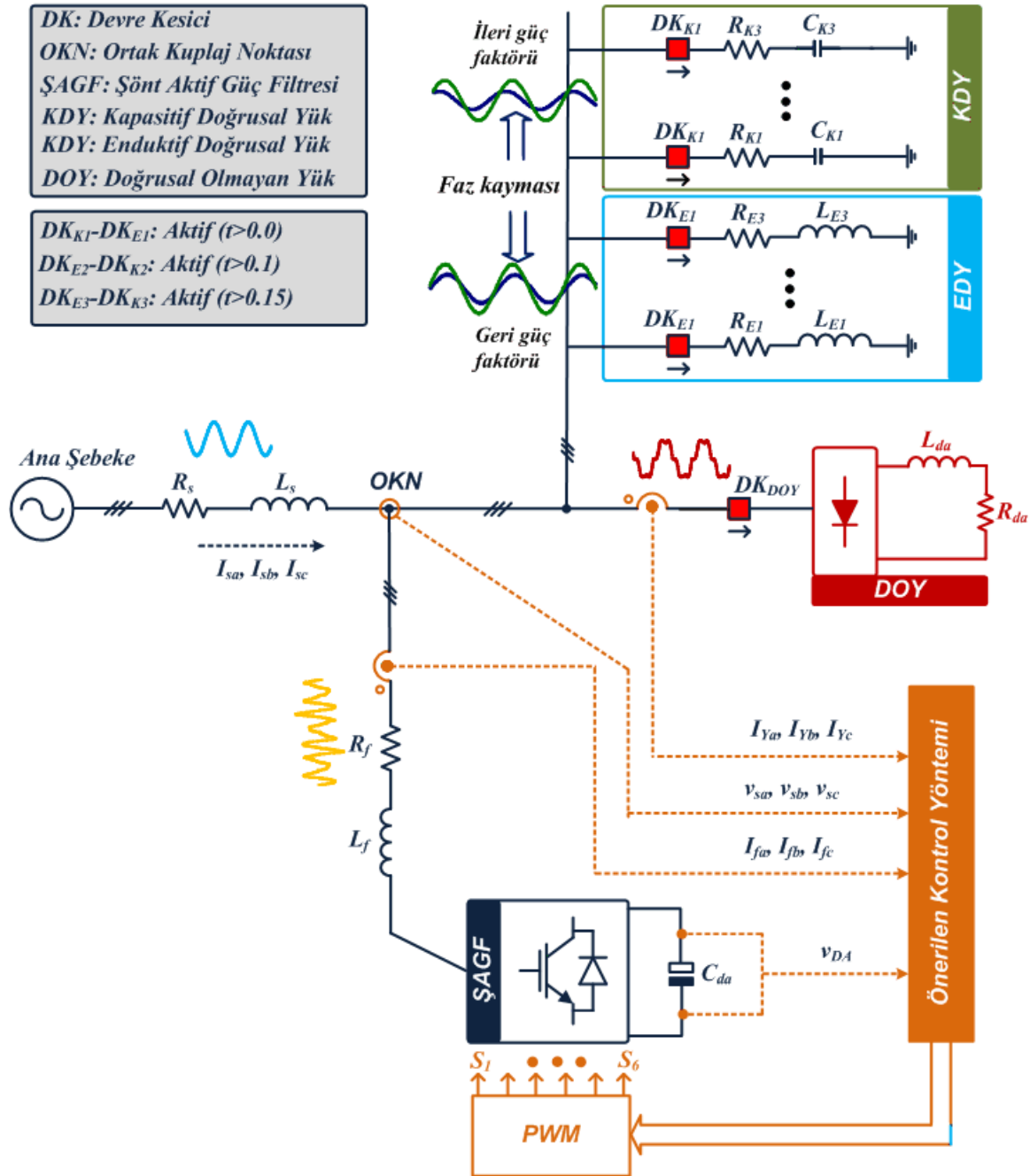
Üç fazlı anlık yük akımları ($i_{l\alpha, \beta, \gamma}$) α - β çatı düzleminde α ve β bileşenlerine dönüştürüldükten sonra temel ($\hat{i}_{\alpha, \beta f}^p$), harmonik ($\hat{i}_{\alpha, \beta h}^p$) ve negatif ($\hat{i}_{\alpha, \beta h}^n$) sıralı bileşenlere Eşitlik 3 ve Eşitlik 4 ile ayrılmıştır.

$$i_{l\alpha} = \frac{1}{\sqrt{6}}(2i_{l\alpha} - i_{l\beta} - i_{l\gamma}) = \hat{i}_{\alpha f}^p + \sum_{h=2}^{\infty} \hat{i}_{\alpha h}^p \sin(h\omega t + \varphi_h^p) + \sum_{h=1}^{\infty} \hat{i}_{\alpha f}^n \sin(h\omega t + \varphi_h^n) \quad (3)$$

$$i_{l\beta} = \frac{1}{\sqrt{2}}(i_{l\beta} - i_{l\gamma}) = \hat{i}_{\beta f}^p + \sum_{h=2}^{\infty} \hat{i}_{\beta h}^p \sin(h\omega t + \varphi_h^p) + \sum_{h=1}^{\infty} \hat{i}_{\beta f}^n \sin(h\omega t + \varphi_h^n) \quad (4)$$

Burada p , h , ve n sırasıyla pozitif, harmonik ve negatif bileşenleri temsil etmektedir. Ayrıca elde edilen pozitif temel akım bileşenleri aşağıdaki gibi aktif ve reaktif bileşenlere ayrıştırılabilir.

$$\begin{Bmatrix} \hat{i}_{\alpha f}^p \\ \hat{i}_{\beta f}^p \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \hat{i}_{\alpha f}^p(p) \\ \hat{i}_{\beta f}^p(p) \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \hat{i}_{\alpha f}^p(q) \\ \hat{i}_{\beta f}^p(q) \end{Bmatrix} \quad (5)$$



Şekil 1. ŞAGF güç devresinin ve önerilen kontrolün konfigürasyonu

Burada $\hat{i}_f^p = \hat{i}_{\alpha f}^p + j\hat{i}_{\beta f}^p$. Harmonik ve negatif sıralı bileşenler Eşitlik 6 kullanılarak elde edilebilir.

$$\begin{Bmatrix} \hat{i}_{\alpha}^{com} \\ \hat{i}_{\beta}^{com} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} i_{l\alpha} - \hat{i}_{\alpha f}^p \\ i_{l\beta} - \hat{i}_{\beta f}^p \end{Bmatrix} \quad (6)$$

Clarke dönüşümünü yük gerilimlerine ve akımlarına uyguladıktan sonra aktif ve reaktif güç hesabı Eşitlik 7'deki gibi verilmektedir.

$$\begin{pmatrix} p_l \\ q_l \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_{s\alpha} & v_{s\beta} \\ v_{s\alpha} & -v_{s\beta} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_{l\alpha} \\ i_{l\beta} \end{pmatrix} \quad (7)$$

Benzer şekilde ŞAGF tarafından enjekte edilen aktif ve reaktif güçler Eşitlik 8 ile hesaplanmaktadır.

$$\begin{pmatrix} p_{apf} \\ q_{apf} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_{s\alpha} & v_{s\beta} \\ v_{s\alpha} & -v_{s\beta} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_{\alpha,inj} \\ i_{\beta,inj} \end{pmatrix} \quad (8)$$

p_{apf} ve q_{apf} ŞAGF' nin aktif ve reaktif güçlerini temsil etmektedir. $i_{\alpha,inj}$ ve $i_{\beta,inj}$ ŞAGF ile enjekte edilen akımlardır. ŞAGF ve şebeke tarafı güçlerinin toplamı yükün gücüne eşittir. Ana şebeke, yük ve ŞAGF arasındaki güç dengesi Eşitlik 9 ile ifade edilmiştir:

$$\begin{aligned} p_s &= p_l - p_{apf} \\ q_s &= q_l - q_{apf} \end{aligned} \quad (9)$$

Yüksek bir güç faktörü sağlamak ve faz eşitsizliğini azaltmak için ŞAGF, ana şebekeden reaktif güç çekmeden yeterli reaktif güç sağlamalıdır. Yük için gerekli reaktif gücü enjekte etmek için referans reaktif güç Eşitlik 10 ile hesaplanabilir.

$$q^{ref} = \zeta_p (q_l - q_{apf}) \quad (10)$$

Eşitlik 10'da ζ_p ölçek telafi faktörüdür. $\alpha\beta$ –referans çerçevesindeki referans akım bileşenleri tahmini şebeke gerilimlerine ve aktif-reaktif güç kontrolüne bağlı olarak Eşitlik 11 ile üretilir.

$$i_{\alpha}^*(p, q) = \frac{p^{ref}}{(\hat{v}_{\alpha f}^p)^2 + (\hat{v}_{\beta f}^p)^2} \hat{v}_{\alpha f}^p + \frac{q^{ref}}{(\hat{v}_{\alpha f}^p)^2 + (\hat{v}_{\beta f}^p)^2} \hat{v}_{\beta f}^p \quad (11)$$

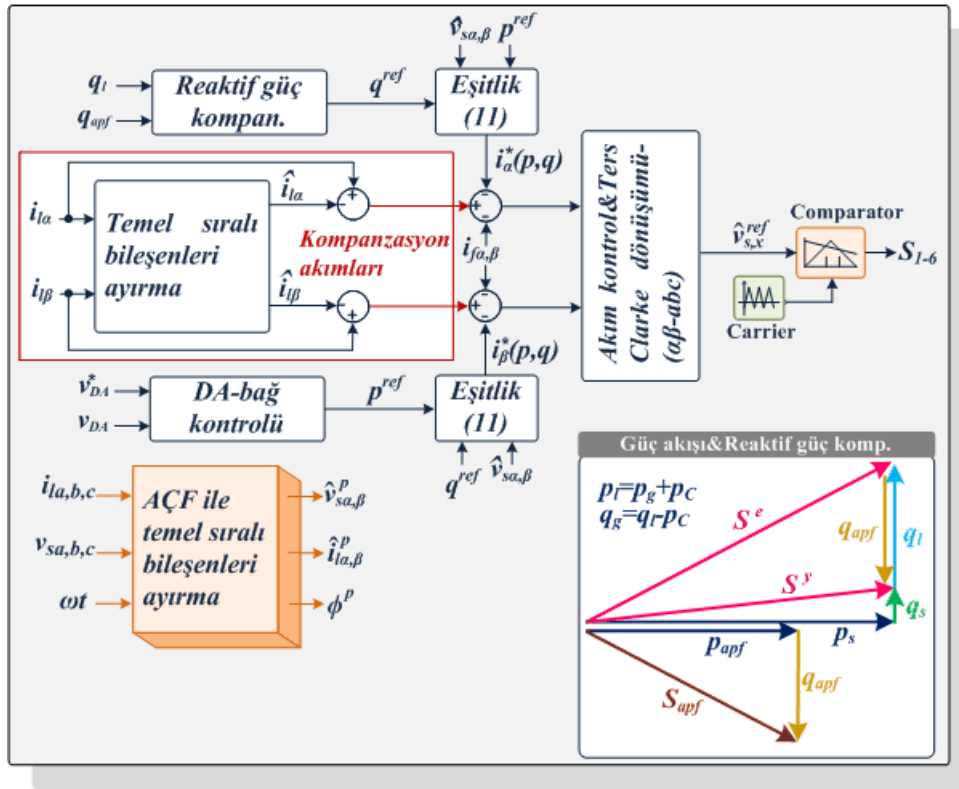
$$i_{\beta}^*(p, q) = \frac{p^{ref}}{(\hat{v}_{\alpha f}^p)^2 + (\hat{v}_{\beta f}^p)^2} \hat{v}_{\beta f}^p - \frac{q^{ref}}{(\hat{v}_{\alpha f}^p)^2 + (\hat{v}_{\beta f}^p)^2} \hat{v}_{\alpha f}^p$$

Eşitlik 11'de p^{ref} DA-bağlantı kontrolünün çıkışından elde edilen referans aktif güçtür. Literatürde DA tarafı kontrolü için oransal integral (proportional integral-PI) kullanılmıştır. Referans aktif güç Eşitlik 12 ile aşağıdaki gibi elde edilmektedir.

$$p^{ref} = (k_1 + k_2/s)(v_{DA}^* - v_{DA}) \quad (12)$$

k_1 ve k_2 PI denetleyicinin oransal ve integral katsayılarıdır. v_{DA}^* DA-bağ gerilimini temsil etmektedir. Dengesiz ve harmonikli şebeke gerilimleri ve DOY durumlarında yüksek kalitede akım elde etmek için referans akımları aşağıdaki gibi elde edilmektedir.

$$\begin{Bmatrix} i_{\alpha}^{ref} \\ i_{\beta}^{ref} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \hat{i}_{\alpha}^{com} - i_{\alpha}^*(p, q) - i_{\alpha,apf}^{inj} \\ \hat{i}_{\beta}^{com} - i_{\beta}^*(p, q) - i_{\beta,apf}^{inj} \end{Bmatrix} \quad (13)$$



Şekil 2. ŞAGF için önerilen kontrol yöntemi

Kompanze edilen yük akım bileşenleri ve aktif-reaktif akım bileşenleri hesaplandıktan sonra akım hatalarını tahmin etmek için referans akım bileşenleri ŞAGF akımları ile karşılaştırılır. Üç fazlı eviricinin anahtarlama sinyallerini oluşturmak için modülasyon sinyali elde etmek üzere akım hata sinyalleri akım denetleyicilerini besler.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde önerilen kontrol yönteminin performansı ve etkinliğini doğrulamak için PSCAD/EMTDC tabanlı benzetim sonuçları kullanılmıştır. Kapasitif ve endüktif doğrusal yükler, DOY ve yüksek endüktif DOY gibi çeşitli durum çalışmaları önerilen kontrol yönteminin geçerliliğini göstermiştir. Harmonik akım üretimi ve faz sapması DOY, KDY ve EDY tarafından oluşturulmuştur. DOY için üç fazlı bir diyot-köprü doğrultucu kullanılmıştır. Şebekeye bağlı ŞAGF sisteminin devre parametreleri Çizelge 1’ de verilmiştir.

Benzetim Sonuçları

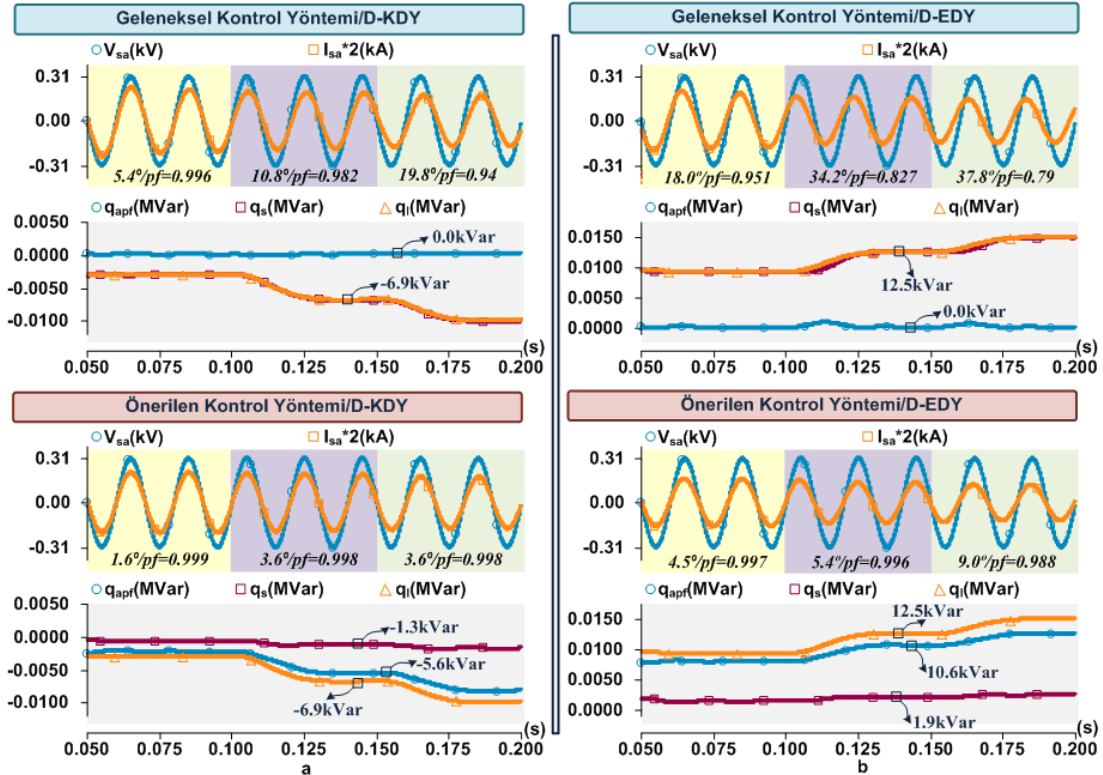
Önerilen kontrol yönteminin güç faktörü düzeltme (GFD) kabiliyeti ana şebekeye dirençli-kapasitif, dirençli-endüktif yükler ve yüksek endüktif DOY paralel bağlanarak incelenmiştir. 0.1s, 0.125s ve 0.15s gibi farklı çalışma zamanlarında yüklerin her birini anahtarlama için bir devre kesici bağlanmıştır.

Şekil 3a’ da gösterildiği gibi 0.1s ile 0.15s arasında dirençli-kapasitif yükler olduğunda ŞAGF geleneksel yöntem ile reaktif güç kompanze etmezken, önerilen yöntemle ŞAGF şebeke kriterlerinin gereksinimlerini karşılamak için -5.6 kVar reaktif güç sağlamaktadır. Geleneksel yöntem reaktif gücü kompanze etmemektedir ve kapasitif yük tüm reaktif gücü ana şebekeden çekmektedir. Ayrıca geleneksel ve önerilen yöntemlerin gerilim ve akımlar arasındaki faz eşitsizliği D-KDY altında gösterilmiştir.

Önerilen kontrol yöntemi şebeke akımı ve şebeke gerilimi arasındaki faz kaymasını düzgün bir şekilde azaltmakta ve sonuç olarak bire yakın bir güç faktörü sağlamaktadır. Benzer şekilde, kontrol yöntemlerinin performansı Şekil 3b' de gösterildiği gibi D-EDY altında test edilmiştir. Geleneksel kontrol yöntemi ile faz farkının daha fazla olduğu açıkça görülmektedir. Önerilen kontrol yöntemi, D-EDY' nin reaktif güç talebini 10.6 kVAr ile karşılamaktadır ancak geleneksel yöntem ile tüm reaktif güç ana şebekeden çekilmektedir. Önerilen kontrol metodu ile güç faktörü iyileştirilerek 1.0' a yakın olmaktadır.

Çizelge 1. Güç devresinin benzetim parametreleri

Parametreler	Değerler
Şebeke gerilimi	311 V (faz nötr)
Frekans	50 Hz
Anahtarlama frekansı	5 kHz
Referans DA gerilimi	80 0V
DA-bağ kapasitör	2200 μ F
AA filter endüktans	5 mH
Yük grupları	
D-KDY	5 Ω – 100 μ F; 10 Ω – 150 μ F; 15 Ω – 200 μ F
D-EDY	5 Ω – 20mH; 15 Ω – 40mH; 20 Ω – 60mH
DOY ve yüksek endüktif DOY	15 Ω – 10mH; 5 Ω – 300mH



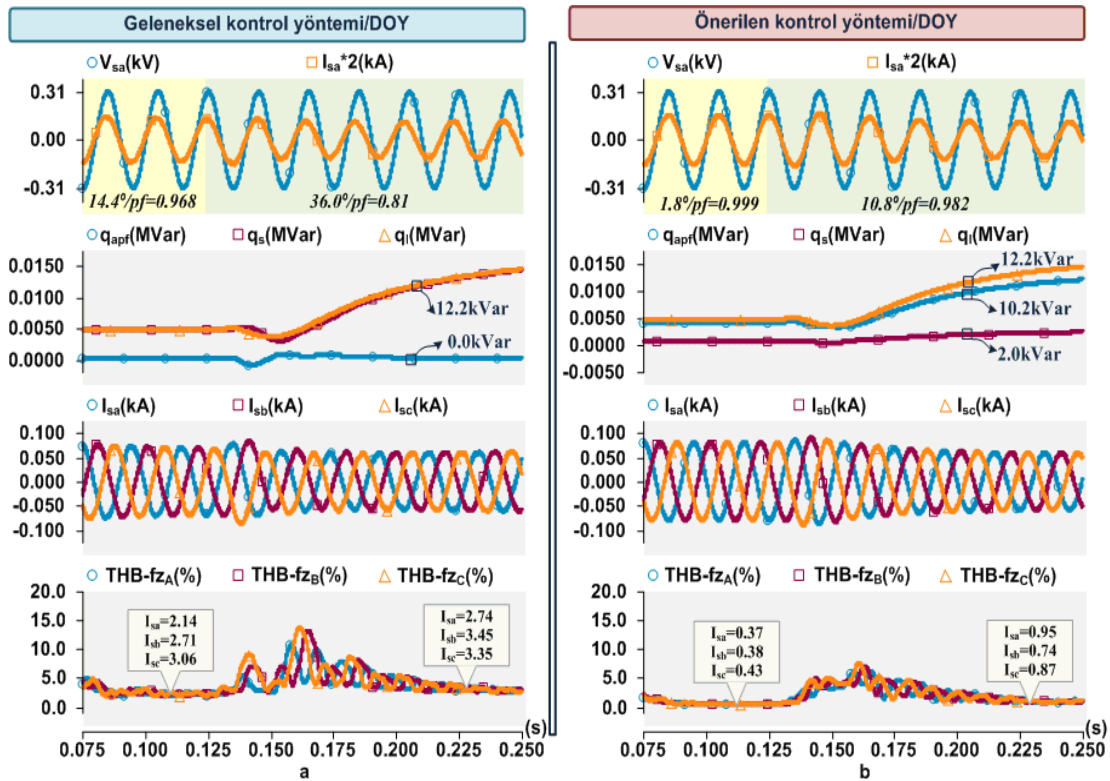
Şekil 3. a) D-KDY ve b) D-EDY yükleri durumunda geleneksel ve önerilen yöntemlerin GFD analizi

Şekil 4' de gösterilen diğer durum çalışmasında ise kontrol metotlarının performans karşılaştırması DOY ve yüksek oranda endüktif DOY altında analiz edilmiştir. Devre kesicileri ile DOY 0.125 saniyeye kadar çalıştırılmış ve daha sonra yüksek endüktif DOY' u çalıştırmak için başka bir devre kesici etkinleştirilmiştir. Şekil 3' de gösterilen durum çalışmasına benzer reaktif güç talebi, geleneksel kontrol yöntemiyle kompanze edilmemektedir. Şekil 4a' nın solunda gösterildiği gibi faz uyuşmazlığı ve şebeke akımı harmonikleri önerilen kontrol yönteminden daha yüksektir. Önerilen kontrol metodu ile güç faktörü 1.0' a yakın olurken, geleneksel kontrol metodu ile güç faktörü 0.90' ın altında kalmaktadır. Bunun yanında, önerilen kontrol metodu ile akım harmoniklerinin THB' si %1.0' ın

altında olurken, geleneksel kontrol metodu ile akım harmoniklerinin THB' si %3.0' ın üstünde olmaktadır. Ayrıca kontrol yöntemleri için faz farkı, THB ve güç faktörleri Çizelge 2' de detaylı olarak özetlenmiştir.

Tartışma

Geleneksel ve önerilen kontrol yöntemlerinin performans sonuçları Çizelge 2' de çeşitli yük grupları altında faz farklılığı, THB ve güç faktörleri ile ilgili olarak vurgulanmıştır. Faz eşitsizliği ve güç faktörü verileri D-KDY ve D-EDY için 0.15s ile 0.2s arasında, DOY ve endüktif DOY için ise 0.125s ile 0.25s arasında elde edilmiştir. Şebeke akımı sinyalinin B fazı için THB sonuçları verilmiştir. Sonuçlar önerilen kontrol yönteminin şebeke akımı harmoniklerini ve faz sapmalarını etkin bir şekilde en aza indirdiğini ve sonuç olarak daha yüksek bir güç faktörü sağladığını göstermektedir.



Şekil 4. DOY ve yüksek endüktif DOY durumunda, a) geleneksel kontrol yönteminin ve b) önerilen kontrol yönteminin harmonik kompanzasyonu ve GFD yeteneği.

Çizelge 2. Çeşitli yük bankaları altında faz farkı, THB ve güç faktörleri

Yük grupları	Faz kayması		Güç faktörü		THB (%)	
	Geleneksel	Önerilen	Geleneksel	Önerilen	Geleneksel	Önerilen
D-KDY	19.8°	3.6°	0.940	0.998	0.22	0.17
D-EDY	37.8°	9.0°	0.790	0.988	0.33	0.23
DOY	14.4°	1.8°	0.968	0.999	2.71	0.38
Yüksek endüktif DOY	36.0°	10.8°	0.810	0.982	3.45	0.74

SONUÇ

Bu makale, farklı harmonik yüklerin etkisini ortadan kaldırmak, reaktif güç kompanzasyonu sağlamak ve etkili bir şekilde reaktif güç akışını sağlamak için geliştirilmiş bir kontrol yöntemini sunmaktadır. Önerilen kontrol yönteminin performansı D-KDY, D-EDY, DOY ve yüksek endüktif DOY gibi çeşitli yük grupları altında test edilmiş ve analiz edilmiştir. Çeşitli durum çalışmasına dayalı sonuçlar, önerilen kontrol yönteminin faz sapmalarını azalttığını ve harmonikleri telafi ettiğini

göstermektedir. Çeşitli kapasitif ve endüktif yüklerden gelen reaktif güç talebi önerilen kontrol yöntemi ile ana şebekeden çekilmeden ŞAGF tarafından karşılanmıştır. Bu nedenle yüksek kapasitif ve endüktif yük grupları altında, önerilen kontrol yöntemi ile şebeke kriterleri gerekliliklerini karşılayan 0.99 kapasitif ve endüktif güç faktörü değerleri elde edilirken, geleneksel kontrol yöntemi ile şebeke akımında 0.79 ve 0.81 gibi daha düşük güç faktörü değerleri elde edilmiştir. Ayrıca önerilen kontrol yöntemi, DOY' un harmoniklerini %1.0 THB seviyesinin altına düşürmektedir. Önerilen kontrol yönteminin avantajları ve etkinliği PSCAD/EMTDC yazılım paketi ortamında doğrulanmıştır.

Gelecekteki çalışmalarda, AGF' lerin uygulama alanlarına sahip olduğu elektrikli uçaklarda, elektrikli araçlarda, elektrikli demiryolu güç sistemlerinde ve gemi mikro şebekelerinde yeni kontrol algoritmalarıyla çalışılması hedeflenmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi (Van, Türkiye), Bilimsel Araştırmalar Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmektedir (Proje Numarası: FYD-2021-9636).

KAYNAKLAR

- Afonso, J. L., Couto, C., Martins, J. S. (2000). Active filters with control based on the pq theory. *IEEE Industrial Electronics Society Newsletter*, 47(3), 5-10.
- Ahmed, H., Çelik, D. (2022). Sliding mode based adaptive linear neuron proportional resonant control of Vienna rectifier for performance improvement of electric vehicle charging system. *Journal of Power Sources*, 542, 231788.
- Alberta Electrical System Operator (AESO), ISO Rules, Part 500 Facilities, Division 502 Technical Requirements, Section 502.1 Wind Aggregated Generating Facilities, Technical Requirements, Calgary, AB: AESO, 2013-04-30.
- Chilipi, R. S. R., Al Sayari, N., Al Hosani, K. H., Beig, A. R., (2017). Adaptive notch filter-based multipurpose control scheme for grid-interfaced three-phase four-wire DG inverter. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 53(4), 4015-4027.
- Chilipi, R., Al Sayari, N., Al Hosani, K., Fasil, M., Beig, A. R. (2018). Third order sinusoidal integrator (TOSSI)-based control algorithm for shunt active power filter under distorted and unbalanced voltage conditions. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 96, 152-162.
- Chilipi, R., Al Sayari, N., Alsawalhi, J. Y. (2019). Control of single-phase solar power generation system with universal active power filter capabilities using least mean mixed-norm (LMMN)-based adaptive filtering method. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 11(2), 879-893.
- Cossutta, P., Aguirre, M. P., Cao, A., Raffo, S., Valla, M. I. (2015). Single-stage fuel cell to grid interface with multilevel current-source inverters. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 62(8), 5256-5264.
- Çelik, D. (2022). Lyapunov based harmonic compensation and charging with three phase shunt active power filter in electrical vehicle applications. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 136, 107564.
- Kürker, F. (2022). Lineer olmayan yüklerin sebep olduğu harmoniklerin ve fazlar arası güç dengesizliğinin nötr akımına etkisi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 12(3), 1456-1467.
- Fan, Y., Zhou, Q., Wang, J., Mu, S., Wang, L. (2021). Application of superconducting-magnetic-energy-storage-based current-source active power filter in photovoltaics for harmonic mitigation. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 31(8), 1-4.
- Ferreira, S. C., Gonzatti, R. B., Pereira, R. R., da Silva, C. H., da Silva, L. B., Lambert-Torres, G. (2018). Finite control set model predictive control for dynamic reactive power compensation with hybrid active power filters. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 65(3), 2608-2617.
- Golla, M., Thangavel, S., Simon, S. P., Padhy, N. P. (2023). A novel control scheme using UAPF in an integrated PV grid-tied system. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 38 (1), 133 - 145.

- Gong, C., Sou, W. K., Lam, C. S. (2022). Observer based second-order sliding mode current controller for thyristor-controlled LC-coupling hybrid active power filter. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 1-13.
- Hasan, K., Othman, M. M., Meraj, S. T., Rahman, N. F. A., Noor, S. Z. M., Musirin, I., Abidin, I. Z. (2022). Online harmonic extraction and synchronization algorithm based control for unified power quality conditioner for microgrid systems. *Energy Reports*, 8, 962-971.
- Hoon, Y., Radzi, M. A. M., Hassan, M. K., Mailah, N. F. (2018). Operation of three-level inverter-based shunt active power filter under nonideal grid voltage conditions with dual fundamental component extraction. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 33(9), 7558-7570.
- İnci, M. (2020). Active/reactive energy control scheme for grid-connected fuel cell system with local inductive loads. *Energy*, 197, 117191.
- Koroglu, T., Tan, A., Savrun, M. M., Cuma, M.U., Bayindir, K.C., Tumay, M. (2019). Implementation of a novel hybrid UPQC topology endowed with an isolated bidirectional DC-DC converter at DC link. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 8(3), 2733-2746.
- Meraj, S. T., Yahaya, N. Z., Hasan, K., Lipu, M. H., Elavarasan, R. M., Hussain, A. (2022). A filter less improved control scheme for active/reactive energy management in fuel cell integrated grid system with harmonic reduction ability. *Applied Energy*, 312, 118784.
- Mishra, A. K., Das, S. R., Ray, P. K., Mallick, R. K., Mohanty, A., Mishra, D. K. (2020). PSO-GWO optimized fractional order PID based hybrid shunt active power filter for power quality improvements. *IEEE Access* 8, 74497-74512.
- Mishra, M. K., Lal, V. N. (2022). An enhanced control strategy to mitigate grid current harmonics and power ripples of grid-tied pv system without pll under distorted grid voltages. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 10(4), 4587-4602.
- Moeini, A., Dabbaghjamanesh, M., Kimball, J. W., Zhang, J. (2022). Artificial neural networks for asymmetric selective harmonic current mitigation-PWM in active power filters to meet power quality standards. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 1-9.
- Ouchen, S., Benbouzid, M., Blaabjerg, F., Betka, A., Steinhart, H. (2021). Direct power control of shunt active power filter using space vector modulation based on supertwisting sliding mode control. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 9(3), 3243-3253.
- Pichan, M., Seyyedhosseini, M., Hafezi, H. (2022). A new deadbeat-based direct power control of shunt active power filter with digital implementation delay compensation. *IEEE Access*, 10, 72866-72878.
- Soumana, R. A., Saulo, M. J., Muriithi, C. M. (2022). A new control scheme for limiting the compensation current and prioritizing power injection in multifunctional grid-connected photovoltaic systems. *e-Prime-Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 2, 100055.
- Shu, Z., Xie, S., Li, Q. (2011). Single-phase back-to-back converter for active power balancing, reactive power compensation, and harmonic filtering in traction power system. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 26(2), 334-343.
- Tareen, W. U. K., Mekhielf, S. (2018). Three-phase transformerless shunt active power filter with reduced switch count for harmonic compensation in grid-connected applications. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 33(6), 4868-4881.
- Tekin, M. (2022). OG-AG Elektrik şebekelerinde dinamik kontrollü kompanzasyon uygulaması. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(3), 480-490.
- Tekin, M., Keçecioglu, Ö. F., Erafşar, Ö., Şekkel, M. (2016). Bir Hidroelektrik Santralin (HES) Elektrik Şebekesindeki Harmonik Oluşumuna Etkisinin İncelenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(2), 70-77.
- Yazdani, D., Bakhshai, A., Joos G., Mojiri, M. (2008). A nonlinear adaptive synchronization technique for grid-connected distributed energy sources. *IEEE Transactions on power electronics*, 23(4), 2181-2186.

Atf İçin: Çelik, V. (2023). Selenyum Katkılı Çinko Oksit'in Yapısal ve Elektronik Özelliklerinin Teorik İncelenmesi. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 1005-1012.

To Cite: Çelik, V. (2023). Theoretical Investigation of Structural and Electronic Properties of Selenium Doped Zinc Oxide. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 1005-1012.

Selenyum Katkılı Çinko Oksit'in Yapısal ve Elektronik Özelliklerinin Teorik İncelenmesi

Veysel ÇELİK^{1*}

Öne Çıkanlar:

- Selenyum katkısı çinko oksitin fotokatalitik aktivitesini artırmaktadır
- Fotokatalitik aktivite daki artışın nedeni oluşan safsızlık seviyeleridir
- YFT+U metodu ile ZnO kristalinin elektronik yapısı daha doğru hesaplanabilmektedir

ÖZET:

Sahip olduğu elektronik özelliklerden dolayı Çinko Oksit (ZnO) yeni nesil güneş pillerinde kullanılan önemli malzemelerdendir. Ancak saf ZnO'nun güneşten gelen ışınlar ile çalışma veriminin artırılması gerekmektedir. Yabancı atomlar ile katkılama bu anlamda önemli tekniklerden biridir. Bu çalışmada ZnO kristalinin Se atomu ile katılanması teorik olarak incelenmiştir. Hesaplamalarda yoğunluk fonksiyoneli teorisi (YFT) kullanıldı. Ancak teorisin bilinen hatalarını düzeltmek için hesaplamalarda YFT+U düzeltmesi yapıldı. Bu metot ile saf ZnO'nun bant aralığı 3.27 eV değerinde hesaplandı. Bu değer deneysel değer olan 3.44 eV değerine yakındır. Se atomu kristal yapı içerisinde yerel bozulmalara yol açmaktadır. Ancak bu bozulmalar ZnO kristalinin karakteristik özelliklerini kayda değer değiştirmemektedir. Se ile katkılama esas olarak elektronik yapıda değişime yol açmaktadır. Daha fazla değerlik elektronuna sahip Se ile Zn atomu yer değiştirdiğinde bant aralığında, valans bant maksimumunun üzerinde safsızlıktan kaynaklanan iki dolu enerji seviyesi oluşmaktadır. Oluşan bu enerji seviyeleri ZnO'nun görünür bölgedeki ışığın absorpsiyonu aktivitesini artırmaktadır. Elde edilen diğer bir önemli veri ise Se katkılı ZnO kristalinde oksijen eksikliğinin olmasının görünür bölgedeki absorpsiyon aktivitesini olumlu yönde etkilemesidir.

Anahtar Kelimeler:

- Çinko oksit
- Selenyum
- YFT+U
- Katkılama
- Güneş hücreleri

Theoretical Investigation of Structural and Electronic Properties of Selenium Doped Zinc Oxide

Highlights:

- Selenium additive increases the photocatalytic activity of zinc oxide.
- The reason for the increase in photocatalytic activity is the impurity levels formed.
- With the YFT+U method, the electronic structure of the ZnO crystal can be calculated more accurately.

ABSTRACT:

Due to its electronic properties, Zinc Oxide (ZnO) is one of the important materials used in new generation solar cells. However, it is necessary to increase the working efficiency of pure ZnO with the rays coming from the sun. Doping with foreign atoms is one of the important techniques in this sense. In this study, the doping of ZnO crystal with Se atom was investigated theoretically. Density functional theory (DFT) was used in the calculations. However, DFT+U correction was made in the calculations to correct the known errors of the theory. With this method, the band gap of pure ZnO was calculated at 3.27 eV. This value is close to the experimental value of 3.44 eV. The Se atom causes local distortions in the crystal structure. However, these deteriorations do not significantly change the characteristic properties of the ZnO crystal. Doping with Se mainly leads to a change in the electronic structure. When the Se and Zn atoms, which have more valence electrons, are replaced, two occupied energy levels are formed in the band gap, above the valence band maximum, due to impurity. These energy levels increase the light absorption activity of ZnO in the visible region. Another important data obtained is that the lack of oxygen in the Se-doped ZnO crystal positively affects the absorption activity in the visible region

Keywords:

- Zinc oxide
- Selenium
- DFT+U
- Dopping
- Solar cells

¹ Veysel ÇELİK ([Orcid ID: 0000-0001-5020-8422](https://orcid.org/0000-0001-5020-8422)), Siirt Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Fen Bilgisi Öğretmenliği Bölümü, Siirt, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Veysel ÇELİK, e-mail: vcelik@siirt.edu.tr

GİRİŞ

Çinko oksit, metal oksitler arasında sahip olduğu geniş bant aralığı (3.44 eV) ve oda sıcaklığında sahip olduğu büyük eksiton bağlanma enerjisi (60 eV) nedeni ile fotoelektrik cihazları imal etmek için mükemmel bir malzemedir (Cho ve ark., 2012). Düşük maliyetli oluşu, zehirsiz olması, bol bulunabilir olması, termal kararlılığı ve kolay sentezlenebilmesi gibi avantajları nedeniyle ZnO, fotovoltaik uygulamalar için de oldukça ilgi çekicidir (Ma ve ark., 2013a). Özellikle, nanoplakalar (Illy ve ark., 2005), nanoteller (Greene ve ark., 2003), nanotüpler (Sun ve ark., 2005), nanobeltler (Bando ve ark., 2004) ve nanorodlar (Tien ve ark., 2005) gibi nanoyapılarda kullanımı her geçen gün artmaktadır. Öte yandan, ZnO nano-yapılarının düşük kuantum verimi, ışık absorpsiyonunun ultraviyole bölge ile sınırlı olması ve ışıkla üretilen taşıyıcıların tekrar birleşmesinin kolay oluşu, uygulama alanlarını sınırlar. Bu anlamda katkılama, ZnO yarıiletkeninin elektronik, manyetik ve optik özelliklerini değiştirmek için yaygın olarak kullanılan yöntemlerdendir. (Sanakousar ve ark., 2022; Dejam ve ark., 2023) Örneğin, optik, elektriksel ve manyetik özelliklerini iyileştirmek için Al (Hagendorfer ve ark., 2014), N (Zeng ve ark., 2007), Mg (Kara ve ark., 2020) ve As (Snigurenko ve ark., 2014) gibi atomlar ZnO'ya katılanmıştır. Bununla birlikte, ZnO nano-kristallerinin geliştirilmiş foto-elektrokimyasal performansı ve fotokatalitik aktivitesi, metalik Sb, Ce ve Mg atomları ile katkılama yoluyla elde edilmiştir (Omidi ve ark., 2013; Rezaei ve Habibi-Yangjeh, 2013a, 2013b; Nouri ve Habibi-Yangjeh, 2014). ZnO malzemesinin fotokatalitik aktivitesini arttırmak için yapılan deneysel çalışmalardan biri de Se atomu ile katkılamaktır. Yapılan deneysel bir çalışmaya göre Se-katkılı ZnO nanoplakaların, saf ZnO nanoplakalarına göre UV-vis ışık absorpsiyon kapasitesinin arttığı rapor edilmiştir (Chen ve ark., 2017; Taha ve ark., 2019). Bunun nedenini azalan kristal boyutundan dolayı büyüyen yüzey enerjisine bağlamışlardır. Ancak, ZnO'nun Se atomu ile katılanması ile oluşan yapısal özellikler ve özellikle elektronik yapı daha fazla açıklamaya ihtiyaç duymaktadır. Bu çalışma yapıldığı sırada yapılan literatür incelemesine göre Se ile katkılama ile ilgili teorik bir inceleme yapılmamıştır. Bu çalışma bu anlamda önemlidir.

Bu çalışmada malzemenin incelenmesinde, yoğunluk fonksiyoneli teorisi kullanılmıştır (YFT) (Hohenberg ve Kohn, 1964; Kohn ve Sham, 1965). Ancak bilindiği gibi standart YFT hesaplarında ZnO'nun sahip olduğu bant aralığı deneysel verilerden oldukça düşük bulunmaktadır. Bu YFT hesaplarında bazı düzeltmelerin yapılmasını gerektirmektedir. Bu düzeltmelerden biri de YFT+U metodudur (Dudarev ve ark., 1998). Burada ek olarak gelen U elektronlara uygulanan yerinde Coulomb kuvvetini temsil etmektedir. Yapılan çalışmalar U değerinin eklenmesi ile ZnO'nun elektronik yapısının deneysel verilere standart YFT'ye göre daha uyumlu hesaplanabildiğini göstermektedir (Ma ve ark., 2013b). Bu çalışmada da doğru hesaplamaların yapılabilmesi için YFT+U metodu kullanılmıştır.

MATERYAL VE METOT

Bu çalışmadaki hesaplamalar yoğunluk fonksiyoneli teorisi (YFT) temel alınarak yapılmıştır. YFT hesaplamaları, düzlem dalga psödopotansiyel yöntemine dayanan CASTEP kodu kullanılarak yapıldı (Clark ve ark., 2005). Değiş tokuş-korelasyon enerjisi fonksiyoneli Perdew-Burke-Ernzerhof (PBE) yaklaşımı ile tanımlanmıştır (Perdew ve ark., 1996). Değerlik elektronu ve iyon çekirdeği arasındaki etkileşim, ultra yumuşak psödopotansiyeller ile tanımlandı. Kullanılan psödopotansiyellerdeki atomik konfigürasyonlar sırasıyla Zn için $3d^{10}4s^2$, O için $2s^22p^4$ ve Se için $2s^23d^{10}2p^4$ şeklindedir. Se atomu ile katkılamamanın incelenmesi dört farklı yapı oluşturularak yapıldı. Ana yapı olan süper hücre Wurtzide-ZnO (w-ZnO) ilkel hücrenin $3 \times 3 \times 2$ boyutunda tekrarı ile oluşturuldu. Bu süper hücrede 36 Zn atomu ve 36 O atomu olmak üzere 72 atom bulunmaktadır. Diğer

yapılar bu süper hücre kullanılarak oluşturulmuştur. Oluşturulan yapılar Şekil 1'de gösterilmektedir. Brillouin bölgesi, tüm süper hücrelerde, geometrik optimizasyon için 4x4x4 ve durum yoğunluğu hesaplamaları için 7x7x7 Monkhorst-Pack (Monkhorst ve Pack, 1976) k-noktalı ızgaralarla örneklenmiştir. Dalga fonksiyonlarını 600 eV kinetik enerji kesme değerine kadar genişletmek için bir düzlem dalga temel seti kullanıldı. Kuvvetler $0.05 \text{ eV}\text{\AA}^{-1}$ 'nin altına düşene kadar atomik pozisyonlar ve örgü parametreleri optimize edildi. Se katkılı ZnO'nun elektronik ve yapısal özelliklerini doğru bir şekilde tanımlamak için, hesaplamalarda YFT+U yöntemi benimsenmiştir (Dudarev ve ark., 1998). U değerleri belirlenirken ZnO'nun deneysel değerleri dikkate alınmıştır. U değerleri, O, Se ve Zn için sırasıyla $p = 7 \text{ eV}$, $p = 7.0 \text{ eV}$, $d = 10.5 \text{ eV}$ olarak ayarlandı. Bu değerler daha önceki çalışmalarda saf ZnO için U değerlerini belirlemede yapılmış detaylı testler ile uyumludur (Cao ve ark., 2014).

BULGULAR VE TARTIŞMA

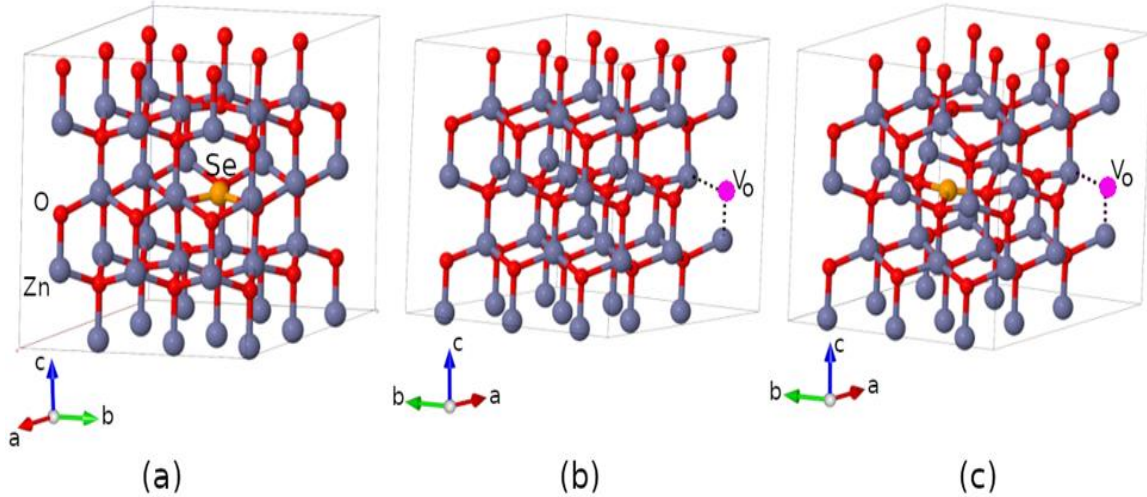
Saf ZnO

Daha öncede bahsedildiği gibi bu çalışmada YFT+U metodu kullanıldı. Bu metot ile saf ZnO kristali için hesaplanan a ve c örgü parametreleri sırası ile 3.26 \AA ve 5.25 \AA 'dur. Bu parametrelerin deneysel değerleri ise a ve c için sırası ile 3.253 \AA ve 5.211 \AA 'dur (Göpel ve ark., 1982). Deneysel veriler ile karşılaştırıldığında hesaplanan değerler, deneysel verilere oldukça yakındır. Ancak standart YFT metodu kullanılarak yapılan hesaplamalarda da saf ZnO kristalinin örgü parametreleri deneysel verilere yakın hesaplanabilmektedir (Ma ve ark., 2013b). Standart YFT ile YFT+U arasındaki fark ZnO kristalinin elektronik özellikleri hesaplandığında ortaya çıkmaktadır. Standart YFT ile ZnO'nun elektronik özellikleri tam olarak hesaplanamamaktadır ve özellikle bant aralığı deneysel verilerden çok düşük hesaplanabilmektedir. Bununla birlikte, standart YFT kullanıldığında, Zn 3d elektronlarının enerji seviyesinin yeri de doğru hesaplanamamaktadır. YFT+U metodu ile bu hatalar düzeltilebilmektedir. Deneysel veriler Zn 3d elektronlarının yerinin valans band maksimumunun (VBM) yaklaşık 7.5 eV altında olduğunu rapor etmektedir (Göpel ve ark., 1982). Bu çalışmada kullanılan U değerleri ile standart YFT'nin bu hatası düzeltilmiş ve Zn 3d elektronlarının ağırlıkta olduğu yer 7.5 eV dolaylarında hesaplanmıştır. Bununla birlikte, bu çalışmada YFT+U metodu kullanılarak bant aralığı 3.27 eV olarak hesaplanmıştır. Bu değer 3.44 eV olan deneysel değere oldukça yakındır (Göpel ve ark., 1982). Buna karşın standart YFT ile bant aralığı 0.78 eV gibi düşük bir değerde hesaplanabilmektedir (Ma ve ark., 2013b).

Se Katkılı ZnO

Yapısal özellikler

Katkılamayı modellemek için oluşturulan süper hücreler Şekil 1'de gösterilmektedir. Enerji bakımından Se atomu Zn atomuyla yer değiştirmeyi tercih etmektedir. Katkılama için oluşturulan süper hücrede 1 Se atomu ile 1 Zn atomu yer değiştirilerek Şekil 1(a)'da gösterilen Se@Zn yapısı oluşturulmuştur. Elde edilen bu yapıda katkılama oranı yaklaşık %2.78'dir. Çizelge 1 incelendiğinde görülebileceği gibi Se katkısı ZnO kristalinin karakteristik yapısını bozmamaktadır. Örgü vektörleri arasındaki açılar değişmezken örgü parametrelerinde saf duruma göre a ve b 'de 0.01 \AA ve c 'de 0.03 \AA miktarında uzama meydana gelmiştir. Se atomu ile katkılama kristalin örgü parametrelerinde ciddi bir değişime yol açmamaktadır. Bu durum deneysel çalışmada elde edilen X-ışını kırınımı (XRD) verileri ile uyumludur (Taha ve ark., 2019).



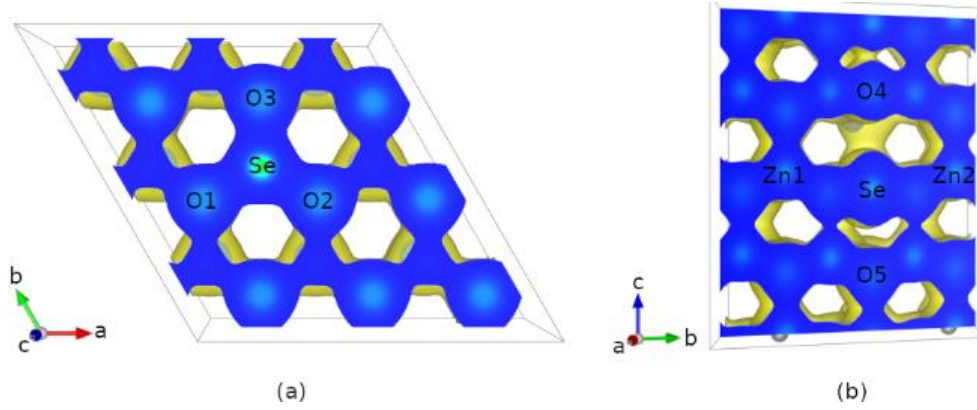
Şekil 1. (a), (b) ve (c) sırası ile hesaplamalarda kullanılan Se@Zn, Vo ve Se@Zn-Vo katkılama modelleri için kullanılan süper hücreleri göstermektedir

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan saf ve katkılanmış yapılar için hesaplanmış örgü parametreleri ve optik bant aralığı

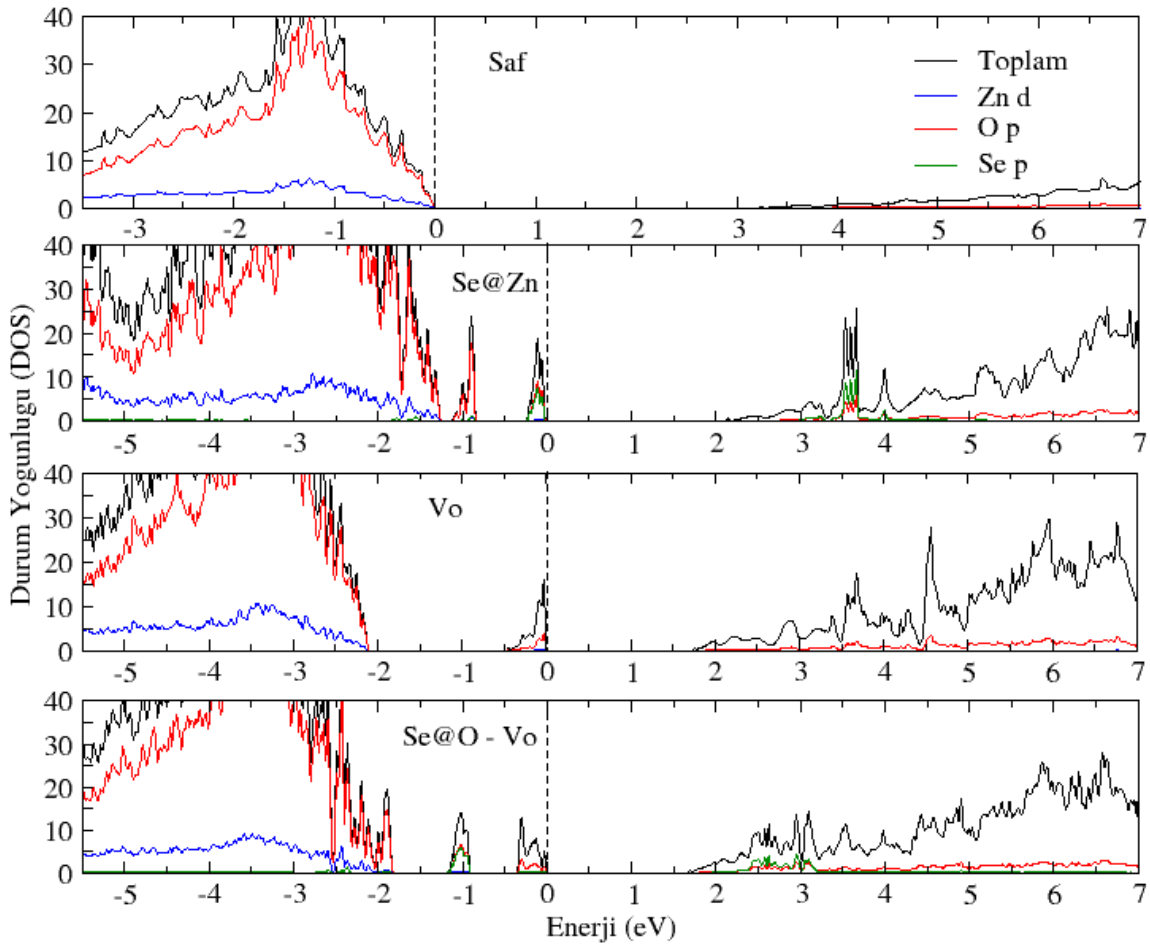
Model	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	α	β	γ	<i>c/a</i>	Optik E_g
Saf	3.26	3.26	5.25	90	90	120	1.610	3.27
Se@Zn	3.27	3.27	5.28	90	90	120	1.610	2.37
Vo	3.25	3.25	5.24	90	90	120	1.613	2.21
Se@Zn-Vo	3.26	3.26	5.27	90	90	120	1.616	1.90

a, *b* ve *c* örgü vektörlerini temsil etmektedir ve birimi Angström'dur. Örgü vektörleri arasındaki açılar α , β ve γ ile gösterilmektedir ve birimi derecedir. Optik bant aralığının birimi eV'dir.

Saf ZnO kristalinde Bir Zn atomu en yakın dört O atomu ile bağ yapmaktadır. Optimize edilmiş saf ZnO'da Zn atomu ile O atomları arasındaki bağ uzunlukları eşittir ve değeri 1.99 Å'dur. Ancak Se katkılı yapıda, Se atomu yerel bir deformasyona yol açmaktadır. Zn atomundan farklı olarak, Se atomu en yakın dört O atomundan üçüyle güçlü bağ yaparken *c* örgü vektörü yönündeki O atomuyla yaptığı bağ zayıftır. Se@Zn yapısının optimize edilmiş yapısı Şekil 1(a)'da gösterilmektedir. Burada Se atomunun en yakın O atomları ile yaptığı bağ uzunluğu saf durumdaki ile aynıdır. Buna karşın, Se atomu ile *c* örgü vektörü yönündeki O atomu arasındaki mesafe uzayarak 3.2 Å olmaktadır. Şekil 2, Se katkılı yapı için kristaldeki yük dağılımını göstermektedir. Şekil 2(b) incelendiğinde Se atomunun O4 atomu ile etkileşiminin zayıf olduğu görülebilmektedir. Buna karşın Şekil 2(a)'da görülebileceği gibi diğer üç O atomu olan O1, O2 ve O3 atomları ile Zn atomuna göre daha kuvvetli bağ yapmaktadır. ZnO malzemesi üretildiğinde kristal yapıda O eksikliği (Vo) olması olası bir durumdur (Lany ve Zunger, 2010). Bu durum göz önünde bulundurularak ZnO süper hücresinden bir O atomu eksiltildi. Bu yapı Şekil 1(b)'de gösterilmektedir. Çizelge 1'de de görülebileceği gibi Vo durumdan kristal yapının örgü parametrelerinde ciddi bir bozulma meydana gelmemektedir. Ancak O eksikliği olan bölgede yerel bir bozulma meydana gelmektedir. Kristal yapıda hem oksijen eksikliği hem de Se katkısının olduğu (Se@Zn-Vo) yapısı için oluşturulan süper hücre Şekil 1(c)'de gösterilmektedir. Se@Zn -Vo durumunda O atomu eksikliği, Se atomu ile bağ yapan O1, O2 ve O3 atomlarının bağ uzunluklarını az miktarda etkilemektedir. O eksikliğine yakın olan O2 atomunun bağ uzunluğu 0.1 Å kısalırken diğerlerinin bağ uzunluğu 0.06 Å artmıştır.



Şekil 2. (a) ve (b), Se@Zn katkılama modeli için farklı açılardan kristal yapı içerisindeki yük dağılımını göstermektedir

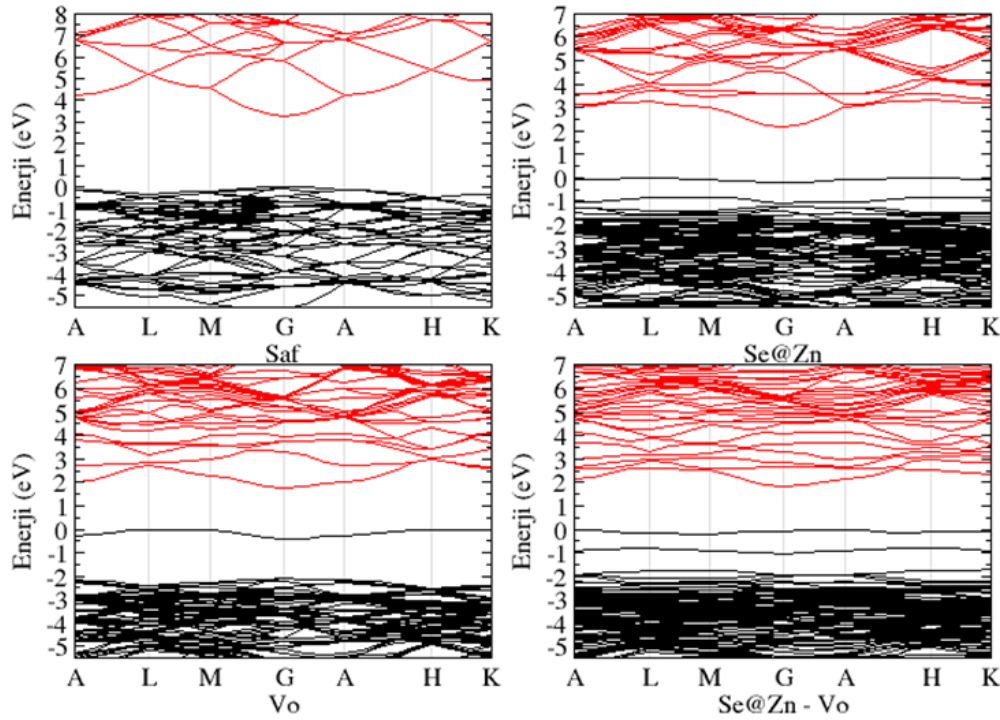


Şekil 3. Çalışmada kullanılan saf ve katkılanmış yapılar için elde edilen DOS grafikleri. Kesikli çizgiler Fermi enerjisi seviyesinin yerini göstermektedir

Elektronik özellikler

Bu çalışmada yapılan YFT+U hesaplamaları ile saf ZnO kristalinin bant aralığı 3.27 eV olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değer deneysel değer olan 3.44 eV (Cho ve ark., 2012) değerine yakındır. Şekil 3'te incelenen durumlar için hesaplanmış durum yoğunluğu grafikleri gösterilmektedir. Saf ZnO durumunda, valans bandının üst kısımlarında O p enerji seviyeleri baskındır. İletim bandının alt seviyelerinde Zn ve O atomlarına ait boş enerji seviyeleri karşılaştırıldığında O enerji seviyeleri daha baskındır. Şekil 1(a)'da gösterilen %2.78 oranındaki Se katkılı durum için DOS grafiği Şekil 3'te gösterilmektedir. Se atomu ile katkılama durumunda VBM ve CBM aralığının değeri yaklaşık 3.83 eV olmaktadır. Saf durum ile karşılaştırıldığında VBM ve CBM aralığı artmıştır. Bununla birlikte VBM'nin yaklaşık 0.6 eV ve 1.03 eV üzerinde safsızlığın sebep olduğu iki dolu pik oluşmaktadır.

VBM'nin 0.6 eV üzerindeki pik baskın olarak O atomunun enerji seviyelerinden oluşurken 1.03 eV üzerindeki pik ise baskın olarak Se-O hibrit enerji seviyelerinden oluşmaktadır. Diğer yandan, saf durumdan farklı olarak iletim bandının minimumuna yakın yerde Se-O hibrit enerji seviyelerinin baskın olduğu boş bir pik oluşmaktadır. Valans bandının üzerinde oluşan ve Fermi enerji seviyesini belirleyen sıg enerji piki Zn ile yer değiştiren Se atomunun kristal yapı içerisinde elektron fazlalığı oluşturmasından kaynaklanmaktadır. VBM üzerinde oluşan iki enerji seviyesi fotonlar ile uyarılmış elektronların iletim bandına geçişini kolaylaştırabilir.



Şekil 4. Çalışmada kullanılan saf ve katkılanmış yapılar için elde edilen bant yapıları. Enerjideki sıfır değeri Fermi enerji seviyesini göstermektedir

Şekil 4'te elde edilen elektronik bant yapıları gösterilmektedir. Se@Zn yapısının elektronik bant yapısı ile DOS grafiği uyumludur. Fermi enerji seviyesi VBM üzerinde oluşan ikinci pike karşılık gelen bant üzerinde oluşmaktadır. Buna göre, katkılama oranı yaklaşık %2.78'e denk gelen Se@Zn yapısı yarıiletken özelliktedir. Bant aralığının geçiş doğası ise saf ZnO'da olduğu gibi G simetri noktasındadır ve direktir. Bu çalışmada değerlendirilen diğer bir durum ZnO kristalinde oksijen eksikliğinin olabilmesi durumudur. Çalışmalar gösteriyor ki ZnO kristalinde doğal olarak oksijen eksikliği bulunabilmektedir (Liu ve ark., 2016). Bu durumu da göz önüne almak için oksijen eksikliği bulduran ZnO kristali durumları da modellenmiştir. Oluşturulan bu modeller Şekil 1(b) ve 1(c)'de gösterilmektedir. Bir oksijen eksikliği oluşturulan yapı için elde edilen DOS grafiği Şekil 3'te gösterilmektedir. Oksijen eksikliği bant aralığında dolu bir enerji piki oluşturmaktadır. Elde edilen bu elektronik yapı daha önceden yapılmış teorik çalışma ile uyumludur (Lany ve Zunger, 2010). Çizelge 1'de yapıların optik bant aralığı da gösterilmektedir. Oksijen eksikliği durumunda optik bant aralığı saf duruma göre daralarak 2.21 eV olmaktadır. Buna göre oksijenin eksikliği ZnO kristalinin optik bant aralığını daralttığını söylenebilir. Se@Zn ve Vo yapısının optik bant aralığı biri birine yakındır. Se katkılı durumda oksijen eksikliğini göz önünde bulundurmamak için Se@Zn-Vo yapısı oluşturuldu. Bu yapı 72 atomlu ZnO kristalinden bir Se ve bir O atomu eksikliği oluşturularak elde edildi. Se@Zn-O için elde edilen DOS grafiği Şekil 3'te gösterilmektedir. Bant aralığında Se@Zn ve oksijen eksikliğinde oluşan safsızlık kaynaklı pikler Se@Zn-Vo yapısında da varlığını sürdürmektedir. Ancak Se@Zn

yapısında VBM'nin 0.6 eV üzerinde oluşan pik VBM ye yaklaşarak VBM ile birleşmektedir. Dolu Se-O hibrit enerji seviyesi ise oksijen eksikliğinden kaynaklı pikin altında oluşmaktadır. Öte yandan, Se@Zn durumunda iletim bandında oluşan Se-O boş hibrit enerji piki Se@Zn-Vo durumunda CBM'de daha homojen yayılmaktadır. Şekil 4'te elde edilen bant yapısı incelendiğinde de görülebileceği gibi yapı yarıiletken özelliğini korumaktadır ve Fermi enerji seviyesi oksijen eksikliği kaynaklı pikin üzerinde oluşmaktadır. Bu yapıda da bant aralığının geçiş doğası değişmeyerek G simetri noktasında oluşmaktadır. Çizelge 1'deki karşılaştırmadan da anlaşılacağı gibi optik bant aralığı en düşük değerine Se@Zn-Vo yapısında ulaşmaktadır. Buna göre Se katkılanması ile yapıdaki oksijen eksikliğinin bir arada olmasının görünür bölgede ZnO'nun fotokatalitik özelliğini Se@Zn katkılanması durumuna göre daha fazla arttırdığını söyleyebiliriz. Yapılan deneysel çalışmalar da ZnO'nun Se ile katkılanmasının UV-vis absorpsiyon ölçümlerine verdiği tepkiyi arttırdığını rapor etmektedir. Ancak bu durum, Se atomuyla katkılanan ZnO kristalinin saf ZnO'ya göre boyutunun azalması ile yüzey enerjisinin büyümesine bağlanmaktadır (Chen ve ark., 2017). Oysa bu çalışmadan elde edilen veriler özellikle görünür bölgedeki absorpsiyonun artışının Se katkılanması ile bant aralığında oluşan safsızlık durumlarından kaynaklandığını göstermektedir. Elde edilen bu veriler Se ile katkılanan TiO₂ ile benzerlik göstermektedir (Xie ve ark., 2018).

SONUÇ

Se atomu kristal yapı içerisinde yerel bozulmalara yol açmaktadır. Ancak bu bozulmalar örgü parametrelerini önemli miktarda değiştirmemektedir. Buna göre ZnO'nun Se ile katkılanmasının kristal yapının karakteristik özelliklerini çok fazla değiştirmedeği söylenebilir. Elektronik yapıda ise önemli değişimler meydana gelmektedir. Daha fazla değerlik elektronuna sahip Se ile Zn atomu yer değiştirdiğinde bant aralığında VBM'nin üzerinde iki dolu enerji seviyesi oluşmaktadır. Oluşan bu enerji seviyeleri ZnO'nun görünür bölgedeki fotokatalitik aktivitesini artırabilir. Elde edilen diğer bir önemli veri ise Se ile katkılanmış ZnO kristalinde oksijen eksikliğinin olmasının görünür bölgedeki fotokatalitik aktivitesini olumlu yönde etkilemesidir. Katkılama sonucu oluşan enerji pikleri ZnO'nun görünür bölgede fotokatalitik aktivitesinin artmasında önemli rol oynamaktadır.

Çıkar Çatışması

Yazar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmiştir.

KAYNAKLAR

- Bando, K., Sawabe, T., Asaka, K., and Masumoto, Y. (2004). Room-temperature excitonic lasing from ZnO single nanobelts. *Journal of Luminescence*, 108(1):385-388. *Proceedings of the Fourteenth International Conference on Dynamical Processes in Excited States of Solids*.
- Cao, H., Lu, P., Cai, N., Zhang, X., Yu, Z., Gao, T., and Wang, S. (2014). First-principles study on electronic and magnetic properties of (Mn,Fe)-codoped ZnO. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 352:66-71.
- Chen, Y., Wang, L., Wang, W., & Cao, M. (2017). Synthesis of Se-doped ZnO nanoplates with enhanced photoelectrochemical and photocatalytic properties. *Materials Chemistry and Physics*, 199, 416-423.
- Cho, S., Jang, J.-W., Lee, J. S., and Lee, K.-H. (2012). Porous ZnO-ZnSe nanocomposites for visible light photocatalysis. *Nanoscale*, 4:2066-2071.
- Clark, S. J., Segall, M. D., Pickard, C. J., Hasnip, P. J., Probert, M. J., Refson, K., and Payne, M. (2005). First principles methods using CASTEP. *Z. Kristall.*, 220:567-570.
- Dejam, L., Kulesza, S., Sabbaghzadeh, J., Ghaderi, A., Solaymani, S., Tãlu, Ștefan, H. Sari, A. (2023). ZnO, Cu-doped ZnO, Al-doped ZnO and Cu-Al doped ZnO thin films: Advanced micro-morphology, crystalline structures and optical properties. *Results in Physics*, 44, 106209.
- Dudarev, S. L., Botton, G. A., Savrasov, S. Y., Humphreys, C. J., and Sutton, A. P. (1998). Electron-energy-loss spectra and the structural stability of nickel oxide: An LSDA+U study. *Phys. Rev. B*, 57:1505-1509.

- Göpel, W., Pollmann, J., Ivanov, I., and Reihl, B. (1982). Angle-resolved photoemission from polar and nonpolar zinc oxide surfaces. *Phys. Rev. B*, 26:3144-3150.
- Greene, L. E., Law, M., Goldberger, J., Kim, F., Johnson, J. C., Zhang, Y., Saykally, R. J., and Yang, P. (2003). Low-temperature wafer-scale production of ZnO nanowire arrays. *Angewandte Chemie International Edition*, 42(26):3031-3034.
- Hagendorfer, H., Lienau, K., Nishiwaki, S., Fella, C. M., Kranz, L., Uhl, A. R., Jaeger, D., Luo, L., Gretener, C., Buecheler, S., Romanyuk, Y. E., and Tiwari, A. N. (2014). Highly transparent and conductive ZnO: Al thin films from a low temperature aqueous solution approach. *Advanced Materials*, 26(4):632-636.
- Hohenberg, P. and Kohn, W. (1964). Inhomogeneous electron gas. *Phys. Rev.*, 136:B864-B871.
- Ily, B., Shollock, B. A., MacManus-Driscoll, J. L., and Ryan, M. P. (2005). Electrochemical growth of ZnO nanoplates. *Nanotechnology*, 16(2):320.
- Kara, R., Mentar, L., and Azizi, A. (2020). Synthesis and characterization of Mg-doped ZnO thin-films electrochemically grown on FTO substrates for optoelectronic applications. *RSC Adv.*, 10:40467-40479.
- Kohn, W. and Sham, L. J. (1965). Self-consistent equations including exchange and correlation effects. *Phys. Rev.*, 140:A1133-A1138.
- Lany, S. and Zunger, A. (2010). Many-body GW calculation of the oxygen vacancy in ZnO. *Phys. Rev. B*, 81:113201.
- Liu, L., Mei, Z., Tang, A., Azarov, A., Kuznetsov, A., Xue, Q.-K., and Du, X. (2016). Oxygen vacancies: The origin of n-type conductivity in ZnO. *Phys. Rev. B*, 93:235305.
- Ma, H., Williams, P. L., and Diamond, S. A. (2013a). Ecotoxicity of manufactured ZnO nanoparticles - a review. *Environmental Pollution*, 172:76-85.
- Ma, X., Wu, Y., Lv, Y., and Zhu, Y. (2013b). Correlation effects on lattice relaxation and electronic structure of ZnO within the GGA+U formalism. *The Journal of Physical Chemistry C*, 117(49):26029-26039.
- Monkhorst, H. J. and Pack, J. D. (1976). Special points for Brillouin-zone integrations. *Phys. Rev. B*, 13:5188-5192.
- Nouri, H. and Habibi-Yangjeh, A. (2014). Microwave-assisted method for preparation of Zn_{1-x}Mg_xO nanostructures and their activities for photodegradation of methylene blue. *Advanced Powder Technology*, 25(3):1016-1025.
- Omidi, A., Habibi-Yangjeh, A., and Pirhashemi, M. (2013). Application of ultrasonic irradiation method for preparation of ZnO nanostructures doped with Sb³⁺ ions as a highly efficient photocatalyst. *Applied Surface Science*, 276:468-475.
- Perdew, J. P., Burke, K., and Ernzerhof, M. (1996). Generalized gradient approximation made simple. *Phys. Rev. Lett.*, 77:3865-3868.
- Rezaei, M. and Habibi-Yangjeh, A. (2013a). Microwave-assisted preparation of Ce-doped ZnO nanostructures as an efficient photocatalyst. *Materials Letters*, 110:53-56.
- Rezaei, M. and Habibi-Yangjeh, A. (2013b). Simple and large scale refluxing method for preparation of Ce-doped ZnO nanostructures as highly efficient photocatalyst. *Applied Surface Science*, 265:591-596.
- Sanakousar, F. M., Vidyasagar, C. C., Jiménez-Pérez, V. M., & Prakash, K. (2022). Recent progress on visible-light-driven metal and non-metal doped ZnO nanostructures for photocatalytic degradation of organic pollutants. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 140, 106390.
- Snigurenko, D., Jakiela, R., Guziewicz, E., Przedziecka, E., Stachowicz, M., Kopalko, K., Barcz, A., Lisowski, W., Sobczak, J., Krawczyk, M., and Jablonski, A. (2014). XPS study of arsenic doped ZnO grown by atomic layer deposition. *Journal of Alloys and Compounds*, 582:594-597.
- Sun, Y., Fuge, G., Fox, N., Riley, D., and Ashfold, M. (2005). Synthesis of aligned arrays of ultrathin ZnO nanotubes on a Si wafer coated with a thin ZnO film. *Advanced Materials*, 17(20):2477-2481.
- Taha, K. K., Mustafa, M. M., Ahmed, H. A. M., and Talab, S. (2019). Selenium zinc oxide (Se/ZnO) nanoparticles: Synthesis, characterization, and photocatalytic activity. *Zeitschrift für Naturforschung A*, 74(12):1043-1056.
- Tien, L. C., Sadik, P. W., Norton, D. P., Voss, L. F., Pearton, S. J., Wang, H. T., Kang, B. S., Ren, F., Jun, J., and Lin, J. (2005). Hydrogen sensing at room temperature with Pt-coated ZnO thin films and nanorods. *Applied Physics Letters*, 87(22):222106.
- Xie, W., Li, R., and Xu, Q. (2018). Enhanced photocatalytic activity of Se-doped TiO₂ under visible light irradiation. *Scientific Reports*, 8(1):8752.
- Zeng, Y., Ye, Z., Xu, W., Liu, B., Che, Y., Zhu, L., and Zhao, B. (2007). Study on the Hall-effect and photoluminescence of N-doped p-type ZnO thin films, 61(1):41-44.

Atf İçin: Kayar, S., Erat, N. ve Özer, A. (2023). Birlikte Çöktürme Yöntemi ile Sentezlenen $Zn_{0.95-x}Cu_{0.05}Co_xO$ 'nun Yapısal, Morfolojik ve Optik Özellikleri. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 1013-1025.

To Cite: Kayar, S., Erat, N. & Özer, A. (2023). Structural, Morphological and Optical Properties of $Zn_{0.95-x}Cu_{0.05}Co_xO$ Synthesized by Co-Precipitation Method. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 1013-1025.

Birlikte Çöktürme Yöntemi ile Sentezlenen $Zn_{0.95-x}Cu_{0.05}Co_xO$ 'nun Yapısal, Morfolojik ve Optik Özellikleri

Sinem KAYAR¹, Neslihan ERAT¹, Abdulkadir ÖZER^{1*}

Öne Çıkanlar:

- $Zn_{0.95-x}Cu_{0.05}Co_xO$ birlikte çöktürme yöntemi ile sentezlendi.
- Ortalama kristal boyutları 30.61-27.24 nm aralığında bulundu.
- Kobalt konsantrasyonu artışı ile bant aralığı 3.26 eV'den 3.57 eV'ye artmıştır.

ÖZET:

Temel metal oksitlere kıyasla daha iyi fonksiyonel performans için karışık oksitlerin sentezi, karakterizasyonu ve uygulamasına olan ilgi giderek artmaktadır. Bu çalışmada, $Zn_{0.95-x}Cu_{0.05}Co_xO$ ($0 \leq x \leq 0.05$) nanokompozitleri birlikte çöktürme yöntemi ile sentezlendi. Sentezlenen örnekler, X-ışını Kırınımı (XRD), Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), Enerji Dağılım Spektroskopisi (EDS), X-ışını Fotoelektron Spektroskopisi (XPS), Raman spektroskopisi ve UV-Vis absorpsiyon spektroskopisi kullanılarak yapısal, bileşimsel ve optik özellikleri açısından karakterize edildi. XRD sonuçlarına göre altıgen ZnO 'nun würtzite yapısının değişmediği görülmektedir. Ayrıca, Cu_2O ve Co_3O_4 'ün ayrı fazlarının Cu^{+} ve Co^{+3} iyonlarının reaksiyona girmeden kalan kısımlarından dolayı olduğu söylenebilir. Bu XPS sonuçları ile de teyit edilmiştir. $Zn_{0.95-x}Cu_{0.05}Co_xO$ nanokompozitlerinin ortalama kristal boyutları 30.61-27.24 nm aralığında bulundu. ZnO 'da Cu ve Co katkısının bir sonucu olarak kristal büyümenin azaldığı görülmektedir. SEM görüntülerinde, tüm örneklerin küresel nanopartiküllerden oluştuğu görülmektedir. EDS spektrumu beklenen stokiometri ile numunelerde Zn , Cu , Co ve O atomlarının varlığını doğrulamaktadır. Co konsantrasyonu $x=0.00$ 'den $x=0.05$ 'e arttıkça, bant aralığı 3.26 eV'den 3.57 eV'ye artmıştır.

Anahtar Kelimeler:

- ZnO nanopartikül,
- Cu ve Co katkılandırma,
- Optik özellikler,
- Birlikte çöktürme yöntemi

Structural, Morphological and Optical Properties of $Zn_{0.95-x}Cu_{0.05}Co_xO$ Synthesized by Co-Precipitation Method

Highlights:

- $Zn_{0.95-x}Cu_{0.05}Co_xO$ was synthesized by co-precipitation method.
- The average crystallite sizes were found in the range of 30.02-22.00 nm.
- The band gap increased from 3.26 eV to 3.57 eV with increasing cobalt concentration.

ABSTRACT:

There is increasing interest in the synthesis, characterization and application of mixed oxides for better functional performance compared to base metal oxides. In this study, $Zn_{0.95-x}Cu_{0.05}Co_xO$ ($0 \leq x \leq 0.05$) nanocomposites were synthesized by co-precipitation method. The synthesized samples were characterized for its structural, compositional and optical properties using by X-ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM), Energy Dispersive Spectroscopy (EDS), X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS), Raman spectroscopy and UV-Vis absorption spectroscopy. According to XRD results, it is seen that the würtzite structure of hexagonal ZnO does not change. In addition, it can be said that the separate phases of Cu_2O and Co_3O_4 are formed due to the unreacted parts of Cu^{+} and Co^{+3} ions. This is also confirmed by XPS results. The average crystallite size of the $Zn_{0.95-x}Cu_{0.05}Co_xO$ nanocomposites were found in the range of 30.02-22.00 nm. It is seen that the crystal growth decreases as a result of Cu and Co doping in ZnO . SEM images show that all samples are composed of spherical nanoparticles. EDS spectra confirms the presence of Zn , Cu , Co , and O atoms in the samples with expected stoichiometry. As the Co concentration increases from $x=0.00$ to $x=0.05$, the band gap increases from 3.26 eV to 3.57 eV.

Keywords:

- ZnO nanoparticle,
- Cu and Co doped,
- Optical properties,
- Co-precipitation method

¹ Sinem KAYAR (Orcid ID: 0000-0003-1680-1227), Neslihan ERAT (Orcid ID: 0000-0003-2174-4108), Abdulkadir ÖZER (Orcid ID: 0000-0002-0487-3680), Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Abdulkadir ÖZER, e-mail: kadirozer@atauni.edu.tr

Bu çalışma Sinem KAYAR'ın Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

GİRİŞ

Çekici fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip çinko oksit (ZnO), termal ve kimyasal kararlılığı, geniş bant aralığı enerjisi (3.37 eV) ve büyük eksiton bağlama enerjisi (60 meV) nedeniyle en umut verici malzemelerden biridir (Khai ve ark., 2018; Czyżowska ve Barbasz, 2022; Aldeen ve ark., 2022). ZnO termoelektrik cihazlarda (Nadeem ve ark., 2021), opto-elektronik cihazlarda (Kang ve ark., 2021), sensörlerde (Khudiar ve ark., 2022), ışık yayan diyotlarda (Sundarakannan ve Kottaisamy, 2022), katalizörlerde (Dalebout ve ark., 2022), güneş pillerinde (Liu ve ark., 2022), UV koruyucularda (Rise ve ark., 2022) ve varistörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Lao ve ark., 2022). ZnO'ya geçiş elementlerinin katkılanması veya partikül boyutunun değiştirilmesiyle, optik ve elektronik özellikleri iyileştirilmektedir (Aslan ve Zarbali, 2022; Badawi ve ark., 2022; Safeen ve ark., 2022). ZnO'da en yaygın olarak kullanılan metalik katkı maddeleri Al, Co, Cu, Ni, Mn, Li vb.'dir (Al-Namshah ve ark., 2022; Vasudevan ve ark., 2022; Amari ve ark., 2022; Chandekar ve ark., 2022).

İki veya daha fazla metalin bir oksit matrisinde birleştirilmesiyle elde edilen karışık metal oksitler, çeşitli teknolojik uygulamalarda nispeten daha yüksek performansa ve farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip malzemelerin üretiminde kullanılmaktadır. Metaller, bağımsız özellikleri ile izole varlıklar olarak hareket edebilir, ya da metal-metal veya metal-oksijen-metal etkileşimleri ile modifiye edilmiş özelliklere sahip olabilirler (Lahkale ve ark., 2022). Farklı bileşenlere sahip malzemeler arasındaki etkileşim, nano yapıları bir sistemin performansını büyük ölçüde artırabilir. Ayrıca eşleşen bant potansiyellerine sahip birleştirilmiş malzemeler arasındaki yakın temas ara yüzeyleri, yük ayırma verimliliğini artırır, yük taşıyıcı ömrünü uzatır ve mikroskobik ölçekte yük transferini iyileştirirler. Bu farklı metalik katkı elementleri arasında Cu ve Co oldukça önemli metallerdir. Çünkü bunlar (1) lokalize safsızlık seviyeleri oluşturarak ZnO kristallerinin lüminesansını değiştirebilen ve ZnO sisteminin mikro yapısını ve optik özelliklerini değiştirebilen aktivatörlerdir.

Karışık metal oksit nanoparçacıklarını sentezlemek için birçok teknik geliştirilmiştir (Bhatia ve Nath, 2022; Hussain ve ark., 2022). Hidrotermal yöntem, solvotermal yöntem, sol-jel yöntemi ve mikro emülsiyon gibi diğer kimyasal yöntemlere kıyasla birlikte çöktürme yöntemi; işlem kolaylığı, daha az ekipman kullanılması, yüksek saflıkta ve daha düşük maliyetli ürünlerin üretilmesi, homojen nanoparçacıklar ve diğer karakteristik özellikler gibi avantajlarından dolayı endüstriyel alanda en çok kullanılan yöntemdir (Janani ve ark., 2021; Kannan ve ark., 2021; Chai ve ark., 2021; Subhan ve ark., 2022).

Literatürde Cu ve Co birlikte katkılı ZnO üzerine birçok çalışma bulunmasına rağmen, bu çalışmaların çoğu ince filmler üzerindedir (Chakraborti ve ark., 2007; Xu ve ark., 2014; Ney ve ark., 2016; Yuan ve ark., 2016; Goktas, 2018; Akcan ve ark., 2019). İnce film haricindeki çalışmalarda farklı yöntemlerle sentezlenen Cu ve Co birlikte katkılı ZnO nanopartiküllerin genellikle manyetik, dielektrik, fotolüminans özellikleri incelenmiş olup kompozitlerin yapısal ve optik özelliklerine ilişkin kapsamlı çalışmalar hala yetersiz olduğu görülmektedir.

Yapılan çalışmalarda, Cu ve Co'nun ZnO würtzit yapısını değiştirmediği ve sentezlenen $Zn_{0.95-x}Cu_{0.04}Co_xO$ nanokompozitlerde Co katkılama konsantrasyonu %2'ye kadar arttığında ortalama kristal boyutu 27 nm'den 24.9 nm'ye azaldığı ve %2'den sonra konsantrasyon artışı ile kristal boyutunun 28.7 nm'ye artmasının Zn-Cu-Co-O kafesinde mevcut olan düşük gerilimden dolayı meydana gelmektedir. Ayrıca, Co konsantrasyonu %0'dan %4'e çıkarıldığında, $Zn_{0.95-x}Cu_{0.04}Co_xO$ nanokompozitlerin enerji aralığı 3.66'dan 3.74 eV'ye yükselmektedir. Bant aralığındaki mavi kayma, Mass-Burstein etkisinden kaynaklandığı belirtilmektedir (Ashokkumar ve Muthukumaran, 2014; Ashokkumar ve Muthukumaran, 2015). İki veya daha fazla metalin birlikte katkılanması, herhangi bir ikincil faz olmaksızın taşıyıcı

konsantrasyonunu artırmanın anahtar yollarından biridir. Cu'nun Co ile birlikte katkılanmasının taşıyıcı konsantrasyonunu önemli ölçüde artırdığını ve ferromanyetizmanın ilave taşıyıcılar tarafından artırıldığını göstermiştir. Manyetik ölçümler, Co katkılanmanın oda sıcaklığında (RT) ferromanyetizmayı indükleyebileceğini ve tozlara Cu eklenmesinin Co iyonu başına manyetik momenti daha da artırdığını göstermektedir (Hu ve ark., 2011; Tiwari ve ark., 2016; Das ve ark., 2018; Prabakar ve ark., 2021;).

Yapılan çalışmada, sensör, fotonik ve optoelektronik cihazlarda çeşitli uygulamalara sahip olabilecek üçlü karışık metal oksit nanokompozitinin sentezlenmesi amaçlanmıştır. Öncül maddeler olarak $Zn(NO_3)_2$, $Cu(NO_3)_2$ ve $Co(NO_3)_2$, çöktürücü ajan olarak NaOH kullanılarak birlikte çöktürme yöntemiyle $Zn_{0.95-x}Cu_{0.05}Co_xO$ ($0 \leq x \leq 0.05$) sentezlendi ve sentezlenen ürünlerin morfolojik, yapısal ve optik özellikleri üzerine Cu ve Co katkı maddelerinin etkileri incelenmiştir.

MATERYAL VE METOT

$Zn_{0.95-x}Cu_{0.05}Co_xO$ Örneklerinin Hazırlanması

Öncül maddeler olarak yüksek saflıkta (Merck >99%) çinko (II) nitrat hegzahidrat ($Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$), bakır (II) nitrat trihidrat ($Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$) ve kobalt (II) nitrat hegzahidrat ($Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$) kullanıldı. Birlikte çöktürme yöntemi ile $Zn_{0.95-x}Cu_{0.05}Co_xO$ ($0 \leq x \leq 0.05$) numunelerinin sentezinde, 75 ml damıtılmış su ve 25 ml etanol bir beher içerisine konuldu ve bir manyetik karıştırıcı üzerinde karıştırılarak $50^\circ C$ 'ye ısıtıldı. Çözeltiye gerekli miktarlarda $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$, $Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$ ve $Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ilave edildi ve sürekli karıştırılarak 600 rpm'de tamamen çözüldü. Çözeltiye 1M 50 ml NaOH damla damla ilave edildi. Karışımın pH'ı 7-7.5 civarına ayarlandı. Karışım $50^\circ C$ 'de 1 saat karıştırıldıktan sonra sıcaklık $80^\circ C$ 'ye yükseltilerek 1 saat $80^\circ C$ 'de sürekli karıştırıldı. Çöktürme işlemi tamamlandıktan sonra karışım oda sıcaklığına soğutuldu. Daha sonra süzgeç kâğıdından süzülerek süzgeç kâğıdı üzerinde kalan çökelti birçok kez damıtılmış su ve etanol ile yıkandı. 2 saat etüvde $100^\circ C$ 'de kurutulduktan sonra hava atmosferinde $500^\circ C$ 'de kül fırınında 2 saat tavlama işlemi yapılarak hidroksitli bileşikler oksitli hale getirildi.

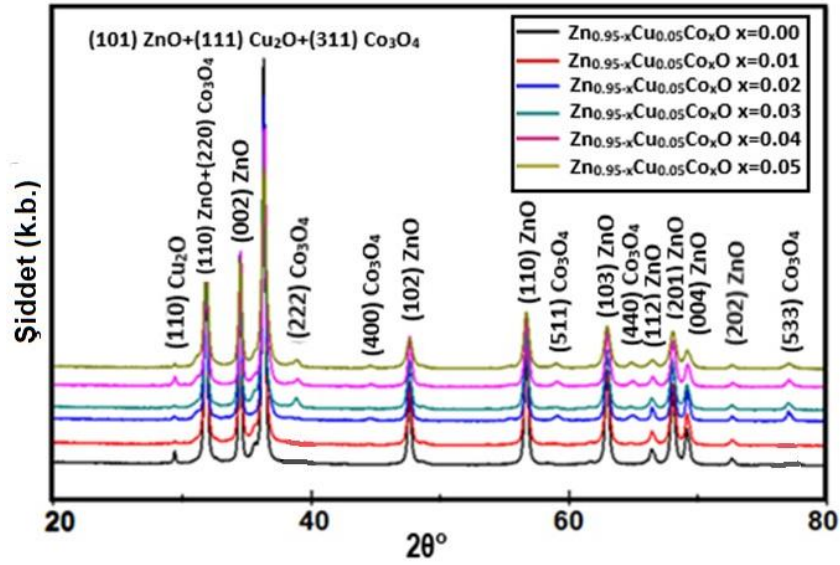
Örneklerin Karakterizasyonu

$Zn_{0.95-x}Cu_{0.05}Co_xO$ ($0 \leq x \leq 0.05$) numunelerinin kristal yapısı, $2^\circ/dak$ tarama hızı ile $20-80^\circ$ 2θ aralığında (PANalytical Empyrean) X-ışını kırınımı (XRD) ile belirlendi. Sentezlenen numunelerin yüzey morfolojisi ve element analizi, bir enerji dağıtıcı X-ışını dedektörü (EDS) ile donatılmış taramalı elektron mikroskobu (SEM) (Zeiss Sigma 300) ile analiz edildi. Elementlerin kimyasal durumları, X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) spektrumları (Specs-Flex) ile yapıldı. UV-görünür numune spektrumları, WITech alpha 300R kullanılarak 300-800 nm aralığında belirlendi. Sentezlenen numunelerin Raman spektrumları alfa 300 konfokal Raman spektrometresi ile kaydedildi.

BULGULAR VE TARTIŞMA

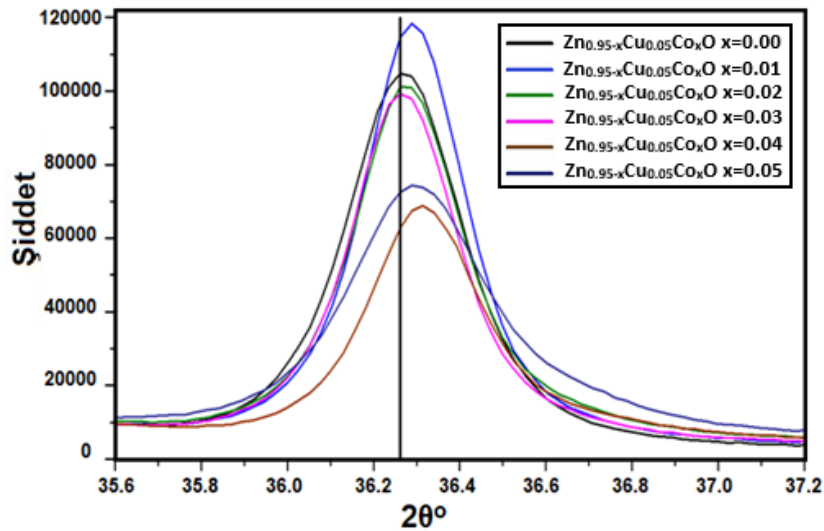
$500^\circ C$ 'de tavllanmış $Zn_{0.95-x}Cu_{0.05}Co_xO$ ($x = 0, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04$ ve 0.05) numunelerinin kristal yapısını incelemek için XRD analizleri yapıldı ve sonuçlar Şekil 1'de gösterildi. $Zn_{0.95-x}Cu_{0.05}Co_xO$ 'nun XRD sonuçlarında ZnO, Cu_2O ve Co_3O_4 fazlarıyla ilgili pikler gözlemlendi. 31.8° (100), 34.4° (002), 36.2° (101), 47.5° (102), 56.6° (110), 62.8° (103), 66.4° (200), 67.9° (112), 69.1° (201), 72.5° (004) ve 76.9° (202) 2θ 'da görülen kırınım tepe noktaları ZnO'nun altıgen wurtzite yapısının düzlemleri ile uyumludur (JCPDS, 36-1451). Cu_2O 'nun XRD piklerinde 29.6° (110) ve 36.4° (111) 2θ değerindeki kırınım tepe noktaları, bakır oksidin kübik yapısının ve kristal düzlemlerindeki yansıma karşılık gelmektedir (JCPDS, 78-2076). Co_3O_4 piklerinin varlığı, $x = 0.02$ ve daha fazla Co katkılı numunelerde gözlemlendi. XRD piklerinde 31.3° (220), 36.9° (311), 38.5° (222), 44.8° (400), 59.3° (511), 65.3° (440)

ve 77.4° (533) 2θ değerindeki kırınım tepe noktaları kübik fazlı Co_3O_4 kristallerine karşılık gelmektedir (JCPDS, 42-1467).



Şekil 1. $Zn_{0.95-x}Cu_{0.05}Co_xO$ nanokompozitlerin XRD spektrumları

XRD verilerinden sentezlenen nanopartiküllerin farklı mikro yapıya sahip olduğu ancak Cu ve Co katkılılandırılması ile ZnO'nun altıgen wurtzite yapısının değişmediği belirlenmiştir. XRD sonuçlarında görülen Cu_2O ve Co_3O_4 'ün ayrı fazlarının Cu^+ ve Co^{+3} iyonlarının reaksiyona girmeden kalan kısımlarından dolayı oluştuğu söylenebilir. Bu konuda yapılan çalışmalarda da Cu ve Co'nun bir kısmının ZnO kafesinde Zn'nin yerini aldığı ve ZnO wurtzite yapısında çok az değişiklik veya değişiklik olmadan meydana gelebildiği belirtilmektedir (Anandan ve ark., 2014; Abebe ve Ujihara, 2021).



Şekil 2. $Zn_{0.95-x}Cu_{0.05}Co_xO$ nanokompozitlerin ana piklerinin genişletilmiş XRD spektrumları

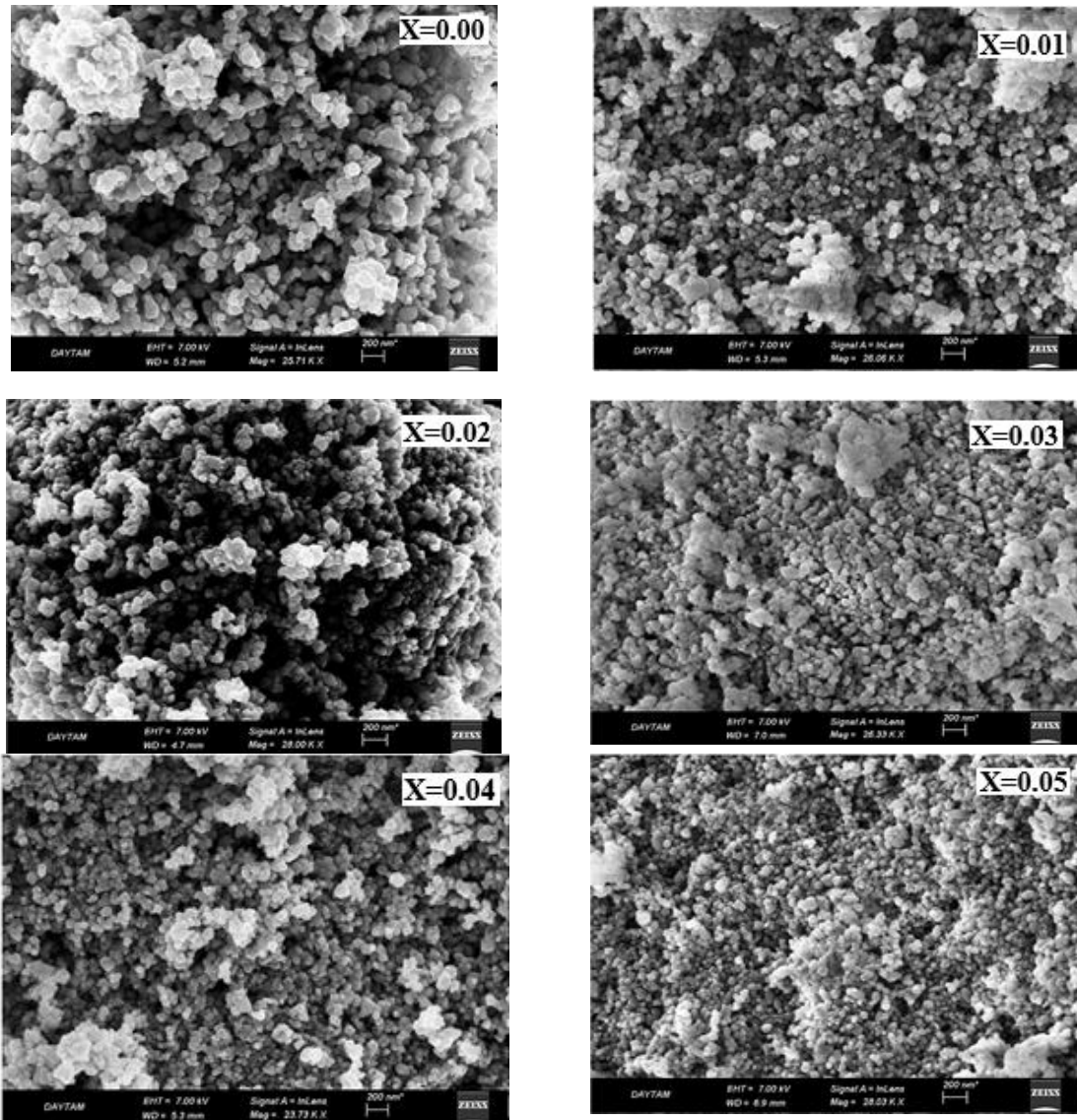
35.8° den 36.6° ye 2θ değerlerinin bir fonksiyonu olarak (101) düzlemi boyunca pik pozisyonunun değişimleri Şekil 2'de verilmiştir. Tüm Co katkılı numuneler için tepe konumlarının daha yüksek 2θ tarafına (sağa kayma) kaydırıldığı görülmektedir. Tüm Co katkılı numuneler için tepe konumlarının daha yüksek 2θ tarafına (sağa kayma) kaydırıldığı görülmektedir. Quan ve ark., (2010) tarafından yapılan bir çalışmada benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Co katkılılandırılmanın artışı ile piklerin sağa kaymasının sebebinin araştırılmasında, anyon ve katyon elektronegatifliklerindeki farklarından faydalanarak Zn-O, Co-O ve Cu-O bağlarının iyonlaşma

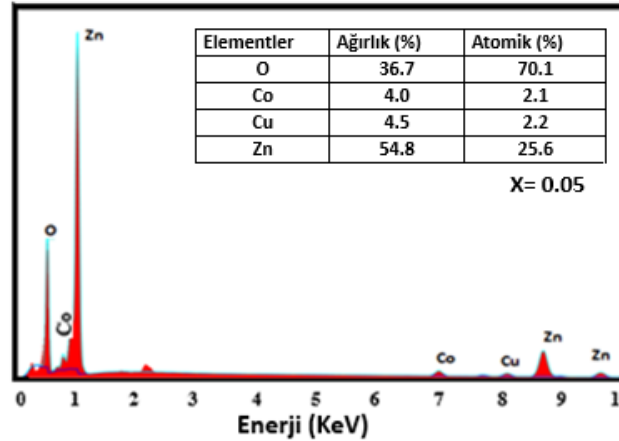
ve kovalentlik fraksiyonları hesaplanmıştır. Sonuç olarak, Zn-O bağının baskın olarak iyonik olduğunu, Zn^{+2} ($3d^{10}S^0$) ve O^{-2} ($2p^6$) arasındaki güçlü bir coulomb etkileşiminin olduğu belirtilmektedir. Buna karşılık Co-O ve Cu-O bağlarının esas olarak iyonik yerine kovalent olduğu tespit edilmiştir. Co-O ve Cu-O'nun güçlü kovalansı, Cu ve Co'nun O ile etkileşiminin Zn ile O'dan daha güçlü olmasını sağlamaktadır. O ile mevcut daha güçlü etkileşim, kafes içindeki oksijen kusurlarını azaltmakta ve dolayısıyla nanoparçacıkların kristalliliğini arttırmaktadır. Böylece, Co katkılama, kristal kafesin stabilitesini ve kalitesini arttırmakta, bu da daha yüksek Co katkılama konsantrasyonlarında tepe yoğunluğunun artmasına yol açmaktadır. Pik yoğunluğundaki değişiklik, aynı zamanda boyut veya mikro-gerilmeden kaynaklandığı belirtilmektedir (Cheng ve ark., 2014).

Çizelge 1. Sentezlenen $Zn_{0.95-x}Cu_{0.05}Co_xO$ nanokompozitler için ortalama tane boyutları

Bileşen	Tane Büyüklüğü (nm)
$Zn_{0.95-x}Cu_{0.05}Co_xO$ (x=0.00)	30.02 nm
$Zn_{0.95-x}Cu_{0.05}Co_xO$ (x=0.01)	29.32 nm
$Zn_{0.95-x}Cu_{0.05}Co_xO$ (x=0.02)	29.12 nm
$Zn_{0.95-x}Cu_{0.05}Co_xO$ (x=0.03)	27.76 nm
$Zn_{0.95-x}Cu_{0.05}Co_xO$ (x=0.04)	27.56 nm
$Zn_{0.95-x}Cu_{0.05}Co_xO$ (x=0.05)	22.00 nm



Şekil 3. $Zn_{0.95-x}Cu_{0.05}Co_xO$ nanokompozitlerin SEM görüntüleri



Şekil 4. $Zn_{0.90}Cu_{0.05}Co_{0.05}O$ nanokompozitin ve EDS spektrumu

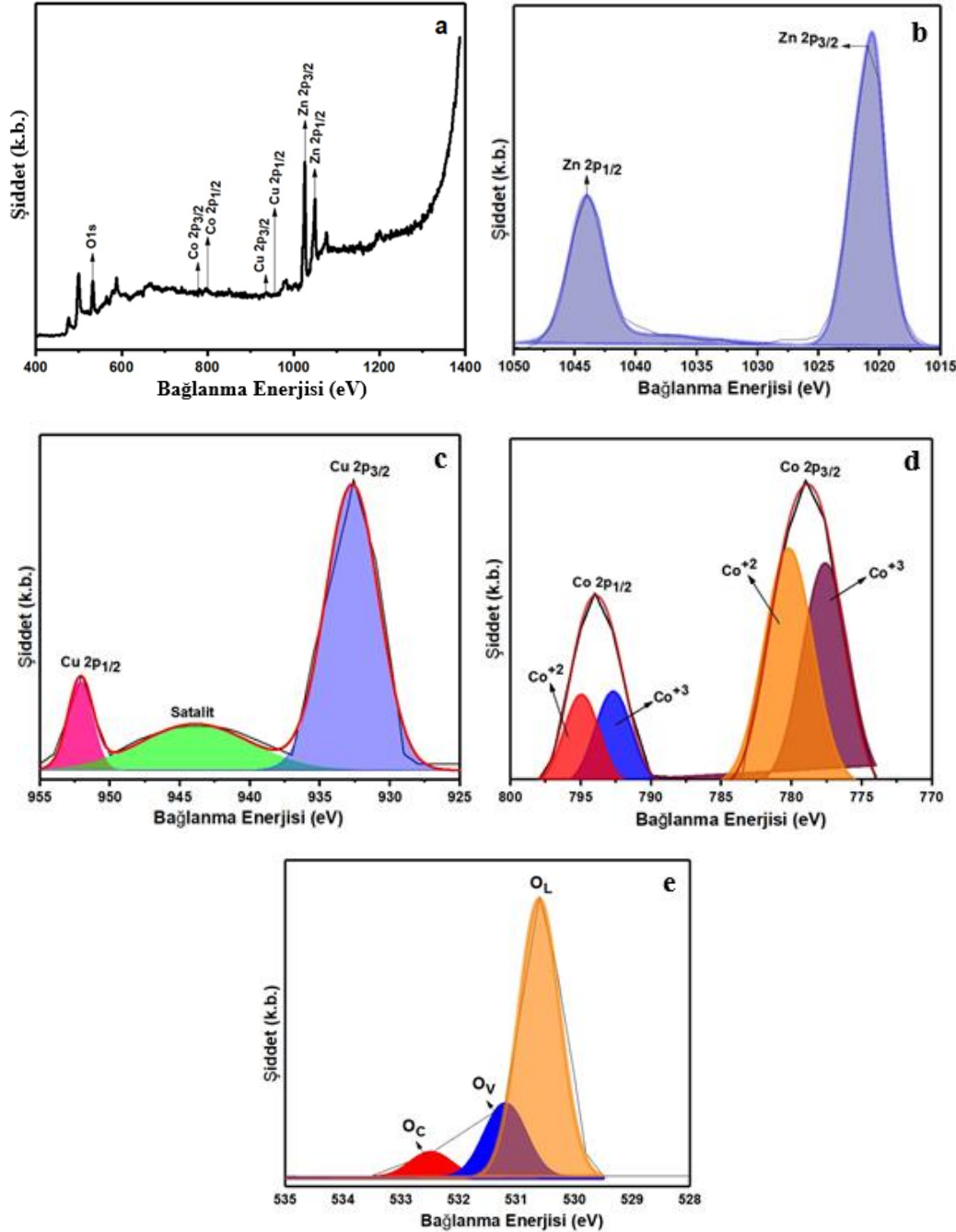
Farklı Co katkılandırılmış ($0 \leq x \leq 0.05$) numunelerin Scherrer formülü (Klug ve Alexander, 1974) ile hesaplanan kristal boyutları Çizelge 1'de verilmiştir. Co katkılandırmanın artışı ile kristal boyutları 30.02 nm'den 22.00 nm'ye azalmaktadır. Daha yüksek katkı konsantrasyonlarında, yer değiştirme kimyasal termodinamik sınırlarından etkilenmektedir. Kobalt kümelerinin oluşumu kristal boyutunda azalmaya yol açmaktadır (Erwin ve ark., 2005; Arshada ve ark., 2011; Shishodia, 2016).

EDS ile kombine edilmiş SEM ile sentezlenen örneklerin morfolojisi ve kimyasal bileşimi analiz edildi. Farklı Co konsantrasyonlarında ($x= 0.0, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04$ ve 0.05) katkılandırılmış $Zn_{0.95-x}Cu_{0.05}Co_xO$ 'nun SEM görüntüleri Şekil 3'de verilmiştir. SEM analizleri, tüm numunelerin küresel nanopartiküllerden oluştuğunu göstermektedir. $Zn_{0.95-x}Cu_{0.05}Co_xO$ partiküllerinde Co katkılandırmanın artmasıyla ortalama partikül boyutunun azaldığı görülmektedir. Bu, Scherrer denkleminde hesaplanan parçacık boyutu sonuçlarıyla tutarlıdır.

Şekil 4'deki $Zn_{0.90}Cu_{0.05}Co_{0.05}O$ nanokompozitin EDS spektrumunda, sadece Zn, Cu, Co ve O atomlarının bulunduğu ve herhangi bir safsızlığın bulunmadığı tespit edilmiştir. Yaklaşık 2 keV'de gözlemlenen pik, numunelerin yüzey kaplamasında kullanılan altın atomlarına aittir. $Zn_{0.90}Cu_{0.05}Co_{0.05}O$ nanokompozitlerde Zn, Cu, Co'nun varlığını ve oksidasyon durumunu belirlemek için XPS analizi yapıldı. Dar aralıklı XPS spektrumları Şekil 5a'da verildi. Şekil 5a'dan görüldüğü gibi, karakteristik pikler dört elementin (Zn, Cu, Co ve O) varlığını teyit etmektedir. $Zn_{0.90}Cu_{0.05}Co_{0.05}O$ nanokompozitlerde katkılandırılan elementlere oksijen atomlarının nasıl bağlandığını belirlemek için Zn 2p, Cu 2p, Co 2p, O 1s'nin yüksek çözünürlüklü taramaları yapıldı ve elde edilen spektrumlar Şekil 5b-e'de verilmiştir.

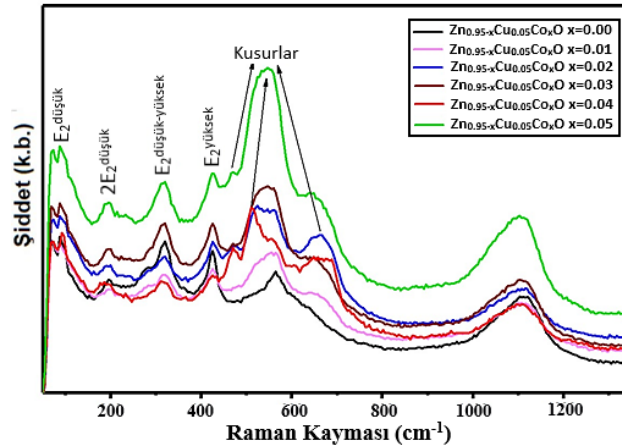
Zn 2p spektrumu için 1020.9 ve 1044.1 eV'de iki güçlü pik, sırasıyla Zn 2p_{3/2} ve Zn 2p_{1/2} olarak belirlendi. Zn 2p_{3/2} ve Zn 2p_{1/2} arasındaki enerji farkı 23.2 eV olduğundan, sentezlenen nanokompozitlerde Zn'nin Zn⁺² olarak bulunduğunu göstermektedir (Şekil 5b). Cu 2p spektrumu için Cu 2p_{3/2} ve Cu 2p_{1/2} için sırasıyla 932.6 ve 952 eV'da iki zayıf pik ve 944 eV'da bir satalit pik tespit edildi (Şekil 5c). 933.7 (Cu 2p_{3/2}) ve 953.6 eV (Cu 2p_{1/2})'de Cu⁺² için karakteristik pikler gözlenmediğinden $Zn_{0.90}Cu_{0.05}Co_{0.05}O$ nanokompozitinde bakırın Cu₂O bileşimine sahip olduğunu ve Cu⁺ varlığını göstermektedir. Elde edilen sonuçlar XRD sonuçları ile de uyumludur. Co 2p'nin yüksek çözünürlüklü spektrumu (Şekil 5d) dört pike bölünebilir. Co 2p_{1/2} ve Co 2p_{3/2} pikleri arasındaki enerji boşluğu genellikle Co'nun kimyasal durumunun tanımlanması için kullanılmaktadır. Co(II)'nin enerji boşluğu yaklaşık olarak 16 eV (Qiu ve ark., 2014; Menezes ve ark., 2015) ve Co(III) ise yaklaşık olarak 15 eV'a karşılık gelmektedir (Wu ve ark., 2018). Sonuç olarak, 796.5 eV ve 780.6 eV'daki bağlanma enerjisi sırasıyla Co⁺² 2p_{1/2} ve Co⁺² 2p_{3/2}'ye ve 793.2 eV ve 778.2 eV'daki pikler sırasıyla Co⁺³ 2p_{1/2} ve Co⁺³ 2p_{3/2}'ye uymaktadır. Elde edilen Co 2p_{1/2} ve Co 2p_{3/2} spektrumlarında bağlanma enerjisinin integral

alanlarından Co^{+2} ve Co^{+3} yüzdeleri sırasıyla % 36 ve % 64 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak $Zn_{0.90}Cu_{0.05}Co_{0.05}O$ nanokompozitinde Co_3O_4 'ün varlığı kanıtlanmıştır, bu durum XRD sonuçları ile de teyit edilmektedir. $Zn_{0.90}Cu_{0.05}Co_{0.05}O$ nanokompozitinde O 1s spektrumları Şekil 5e'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi üç oksijen pikine bölünmüştür, bu da örnekte üç tip oksijen olduğunu göstermektedir. $Zn_{0.90}Cu_{0.05}Co_{0.05}O$ nanokompoziti için, 530.6 eV'de merkezlenen pik, kafes oksijenine (OL), 531.2 eV'deki pik, yüzey oksijen boşluklarına (OV) ve 532.5 eV'deki pik, kimyasal olarak emilen oksijene (OC) aittir. OL, OV ve OC oranları sırasıyla % 73.81, % 19.52 ve % 6.67'dir. Elde edilen sonuçlarda görüldüğü gibi $Zn_{0.90}Cu_{0.05}Co_{0.05}O$ nanokompozitinde yüksek oranda kafes oksijeni (OL) bulunmaktadır.



Şekil 5. $Zn_{0.90}Cu_{0.05}Co_{0.05}O$ nanokompozitlerin XPS spektrumları: (a) tüm spektrumlar, (b) Zn 2p, (c) Cu 2p, (d) Co 2p ve (e) O 1s

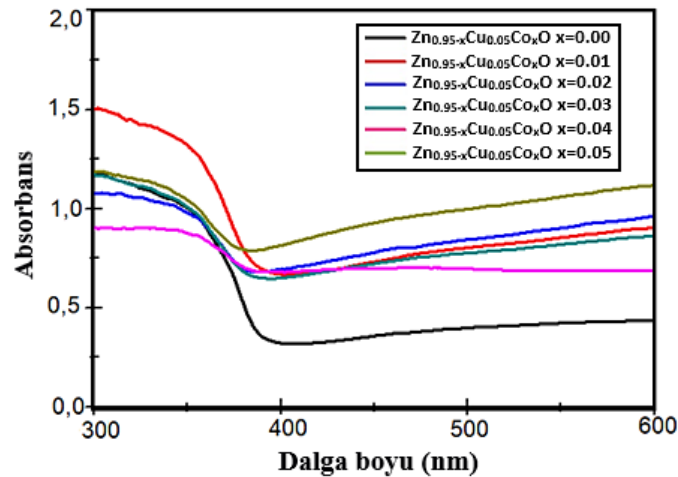
Raman spektroskopisi, malzemenin kalitesini ve faz saflığını incelemek için kullanılmaktadır. Tüm örneklerin Raman spektrumları Şekil 6'da gösterilmiştir. Co ve Cu katkılı ZnO örnekleri, O ve Zn alt kafeslerinden dolayı sırasıyla 437 ve 97 cm^{-1} 'de ZnO'nun karakteristik $E_2^{yüksek}$ ve $E_2^{düşük}$ fonon titreşimlerini gösterir. Oksijen alt kafes titreşim optik modu ($E_2^{yüksek}$), ZnO nanopartiküllerine kıyasla daha düşük frekansa ($425 cm^{-1}$) kaymıştır. $E_2^{yüksek}$ modu, esas olarak Zn-Zn ve O-O arasında oluşan titreşime dayanmaktadır (Vivek ve ark.,2022). Spektrum ayrıca sırasıyla $2E_2^{düşük}$, $E_2^{yüksek-düşük}$, $A_1^{düşük}$ ve $2A_1^{düşük}$ modlarına bağlı olarak 184, 331, 665 ve $1067 cm^{-1}$ 'de birinci ve ikinci dereceden multifonon saçılma titreşimlerini göstermektedir. Ek olarak, kusur kaynaklı modlar olan tüm Co katkılılandırılmalarında 471, 520 ve $684 cm^{-1}$ pikleri görülmektedir. Artan Co katkılılandırılması ile kusur piklerinin arttığı gözlenmektedir (Escobedo-Morales ve ark, 2016).



Şekil 6. $Zn_{0.95-x}Cu_{0.05}Co_xO$ nanokompozitlerin Raman spektrumları

Optik özellikler

$Zn_{0.95-x}Cu_{0.05}Co_xO$ nanopartiküllerin optik absorpsiyon spektrumları UV-Visible diffuse reflection spektroskopisi ile incelendi ve elde edilen sonuçlar Şekil 7'de verildi.

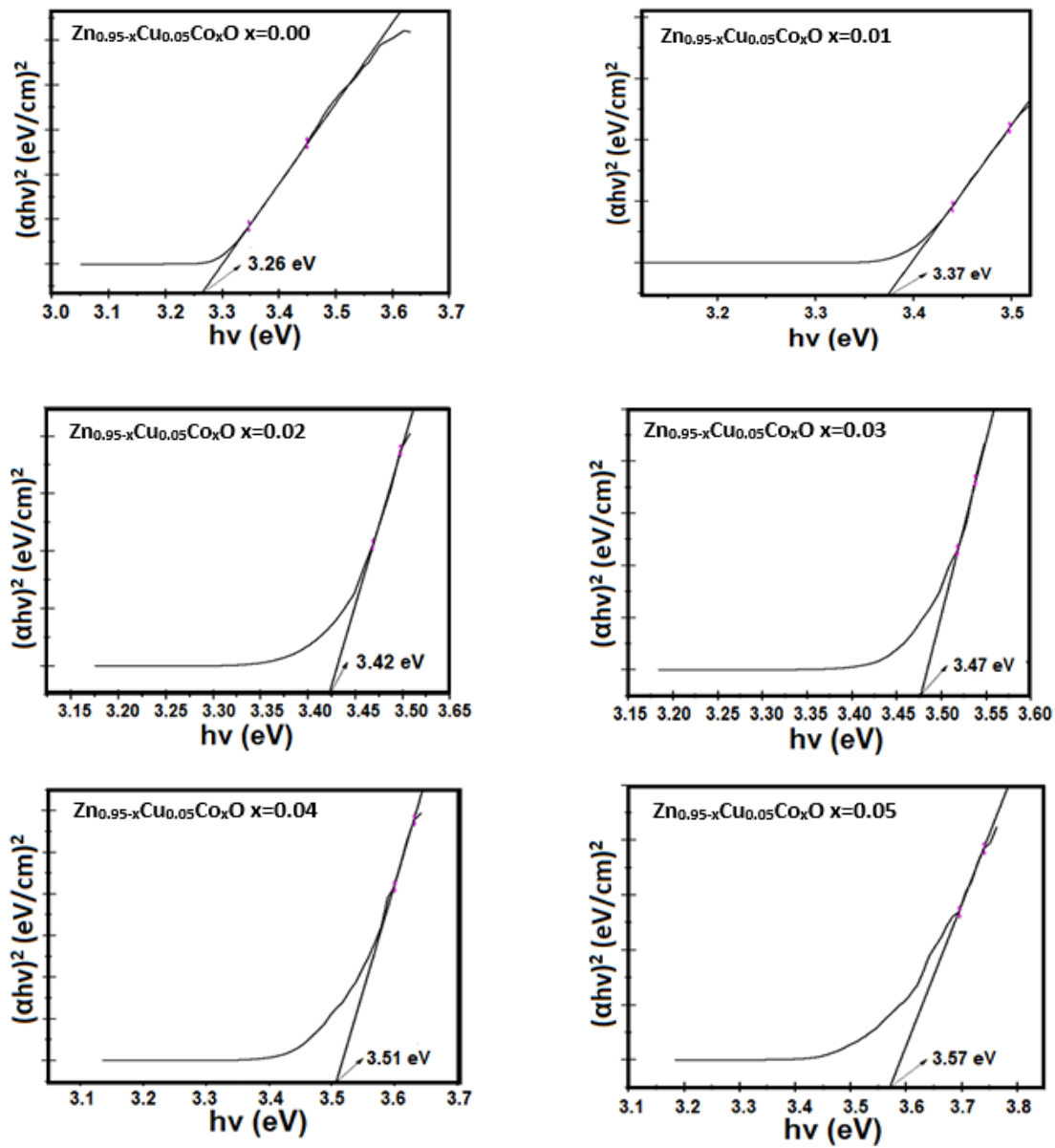


Şekil 7. $Zn_{0.95-x}Cu_{0.05}Co_xO$ nanokompozitlerin UV-Görünür absorpsiyon spektrumları

$Zn_{0.90}Cu_{0.05}O$ örneği ile karşılaştırıldığında Co katkılılandırılmış örneklerin spektrumlarında 565, 612 ve $656 nm$ 'de üç ilave pik görünmektedir. Bu ilave pikler $4A_2(F) \rightarrow 2A_1(G)$, $4A_2(F) \rightarrow 4T_1(P)$ ve $4A_2(F) \rightarrow 2E(G)$ geçişlerine karşılık gelmektedir. A, E ve T, ara enerji bantlarını temsil etmektedir. $Zn_{0.95-x}Cu_{0.05}Co_xO$ örneklerinin optik bant aralığı değerlerini belirlemek için Tauc Eşitliği (1) kullanılarak optik veriler hesaplanmıştır (Tauc ve ark., 1966).

$$\alpha h\nu^2 = A (h\nu - E_g)^n \quad (1)$$

Burada, n üssü optik geçişin türüne bağlı olan bir sabit, A orantı sabiti, $h\nu$ fotonların frekansı ve E_g optik bant aralığıdır. ZnO 'da doğrudan bant geçişi olduğu için n değeri $1/2$ olarak alınmıştır. $Zn_{0.95-x}Cu_{0.05}Co_xO$ nanopartiküller için optik bant aralığı enerjisi (E_g) değerleri, $(\alpha h\nu)^2=0$ olduğu zaman enerji eksenini için $(h\nu)$ 'ye karşı $(\alpha h\nu)^2$ doğrusal bölgesinin ekstrapolasyonu ile absorptans spektrumlarından belirlendi. Şekil 8'de görüldüğü gibi, $Zn_{0.95-x}Cu_{0.05}Co_xO$ 'nun optik bant aralığı, Co katkılılandırmasının $x=0.00$ 'dan $x=0.05$ 'e artışı ile 3.26 'dan 3.57 eV'a kadar artmaktadır. Bant aralığındaki artış ve maviye kayma Burstein-Moss etkisinden kaynaklanmaktadır (Hammad ve ark., 2013). Taşıyıcı konsantrasyonundaki artış, Fermi seviyesini iletim bandına yaklaştırmaktadır. Sonuç olarak, düşük enerji geçişlerinin önlenmesi nedeniyle bant aralığı değeri artmaktadır. ZnO , optoelektronik cihazlarda yaygın olarak kullanılan geniş bant aralıklı bir yarıiletken olduğundan optik özellikleri üzerine yapılan çalışmalar büyük önem taşımaktadır. ZnO nanopartiküllerine Cu ve Co katkılılandırılması bant aralığını artıran bir etkiye sahiptir.



Şekil 8. $Zn_{0.95-x}Cu_{0.05}Co_xO$ nanokompozitlerin absorptans spektrumlarından hesaplanan optik bant aralığı (E_g)

SONUÇ

Yapılan çalışmada, birlikte çöktürme yöntemi ile Cu ve Co katkılandırılarak $Zn_{0.95-x}Cu_{0.05}Co_xO$ nanokompozitler sentezlendi ve sentezlenen örneklerin yapısal ve optik özellikleri üzerine Cu ve Co katkılamanın etkileri çeşitli karakterizasyon teknikleri kullanılarak incelenmiştir. XRD verilerinden sentezlenen nanopartiküllerin farklı mikro yapıya sahip olduğu ancak Cu ve Co katkılandırılması ile ZnO'nun wurtzite altıgen yapısının değişmediği belirlenmiştir. XRD sonuçlarında görülen Cu_2O ve Co_3O_4 'ün ayrı fazlarının Cu^+ ve Co^{+3} iyonlarının reaksiyona girmeden kalan kısımlarından dolayı olduğu söylenebilir. Co katkılandırmasının artmasıyla kristal boyutu 30.02 nm'den 22.00 nm'ye azalmaktadır. SEM görüntülerinde, tüm örneklerin küresel nanopartiküllerden oluştuğu görülmektedir. XPS sonuçları Cu ve Co katkılandırılmış ZnO partiküllerinde Zn^{+2} , Cu^+ , Co^{+2} , Co^{+3} ve üç farklı O boşluklarının varlığını ortaya koymaktadır. Raman spektroskopisi sonuçları da, Cu ve Co katkılandırmanın ZnO'nun wurtzite yapısını değiştirmediğini kusurlar olarak oluşan piklerin reaksiyona girmeyen Cu^+ ve Co^{+3} iyonlarından dolayı meydana geldiğini doğrulamaktadır. Optik bant aralığı, Co katkılama ile 3.26 eV'den 3.57 eV'ye yükseldi. Cu ve Co katkılı numuneler için tüm bant aralığı değerleri, ZnO (3.15 eV) ile karşılaştırıldığında daha yüksektir. Elde edilen sonuçlar Cu ve Co katkılı ZnO nanoparçacıklarının enerji-bant yapısını değiştirebildiğini göstermiştir. Bu çalışmada kullanılan yöntemin ZnO nanopartiküllerinin optik özelliklerini modüle etmek için etkili bir teknik olduğunu ve Cu ve Co katkılandırma ile optik bant aralığının artması ile $Zn_{0.95-x}Cu_{0.05}Co_xO$ nanokompozitin opto-elektronik cihaz uygulamalarında yeni bir aday olduğunu ortaya koymaktadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkıları

Makalenin ağırlıklı kısmı birinci yazar tarafından yapılmış, diğer yazarlar eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

KAYNAKLAR

- Abebe, E. M., & Ujihara, M. (2021). Influence of temperature on ZnO/Co₃O₄ nanocomposites for high energy storage supercapacitors. *ACS omega*, 6(37), 23750-23763.
- Akcan, D., Ozharar, S., Ozugurlu, E., & Arda, L. (2019). The effects of Co/Cu Co-doped ZnO thin films: An optical study. *Journal of Alloys and Compounds*, 797, 253-261.
- Aldeen, T. S., Mohamed, H. E. A., & Maaza, M. (2022). ZnO nanoparticles prepared via a green synthesis approach: Physical properties, photocatalytic and antibacterial activity. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 160, 110313.
- Al-Namshah, K. S., Shkir, M., Ibrahim, F. A., & Hamdy, M. S. (2022). Auto combustion synthesis and characterization of Co doped ZnO nanoparticles with boosted photocatalytic performance. *Physica B: Condensed Matter*, 625, 413459.
- Amari, R., Benrezgaa, E., Deghfel, B., Abdelhalim, Z., Yaakob, M. K., Basirun, W. J., ... & Mohamad, A. A. (2022). Ni doping effect on the electronic, structural and optical properties of ZnO nanoparticles prepared by Co-precipitation route. *Optical Materials*, 128, 112398.
- Anandan, S., Muthukumar, S., & Ashokkumar, M. (2014). Modifications in band gap and optical properties of Zn_{0.96-x}Nd_{0.04}Cu_xO (x= 0, 0.05, 0.1 and 0.15) nanoparticles. *Journal of sol-gel science and technology*, 70, 133-141.

- Arshad, M., Azam, A., Ahmed, A. S., Mollah, S., & Naqvi, A. H. (2011). Effect of Co substitution on the structural and optical properties of ZnO nanoparticles synthesized by sol-gel route. *Journal of alloys and Compounds*, 509(33), 8378-8381.
- Ashokkumar, M., & Muthukumaran, S. (2014). Microstructure and band gap tailoring of $Zn_{0.96-x}Cu_{0.04}Co_xO$ ($0 \leq x \leq 0.04$) nanoparticles prepared by co-precipitation method. *Journal of alloys and compounds*, 587, 606-612.
- Ashokkumar, M., & Muthukumaran, S. (2015). Electrical, dielectric, photoluminescence and magnetic properties of ZnO nanoparticles co-doped with Co and Cu. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 374, 61-66.
- Aslan, E., & Zarbali, M. (2022). Tuning of photosensitivity and optical parameters of ZnO based photodetectors by co-Sn and Ti doping. *Optical Materials*, 125, 112030.
- Badawi, A., Althobaiti, M. G., Ali, E. E., Alharthi, S. S., & Alharbi, A. N. (2022). A comparative study of the structural and optical properties of transition metals (M= Fe, Co, Mn, Ni) doped ZnO films deposited by spray-pyrolysis technique for optoelectronic applications. *Optical Materials*, 124, 112055.
- Bhatia, P., & Nath, M. (2022). Nanocomposites of ternary mixed metal oxides ($Ag_2O/NiO/ZnO$) used for the efficient removal of organic pollutants. *Journal of Water Process Engineering*, 49, 102961.
- Chai, C., Liu, H., & Yu, W. (2021). The electronic and optical properties of the Fe, Co, Ni and Cu doped ZnO monolayer photocatalyst. *Chemical Physics Letters*, 778, 138765.
- Chakraborti, D., Ramachandran, S., Trichy, G., Narayan, J., & Prater, J. T. (2007). Magnetic, electrical, and microstructural characterization of ZnO thin films codoped with Co and Cu. *Journal of Applied Physics*, 101(5), 053918.
- Chandekar, K. V., Shkir, M., Yadav, S. P., Behera, P. K., & AlFaify, S. (2022). Facile synthesis of Mn-doped ZnO nanoparticles by flash combustion route and their characterizations for optoelectronic applications. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 1-21.
- Cheng, K., Cao, D., Yang, F., Xu, Y., Sun, G., Ye, K., ... & Wang, G. (2014). Facile synthesis of morphology-controlled Co_3O_4 nanostructures through solvothermal method with enhanced catalytic activity for H_2O_2 electroreduction. *Journal of Power Sources*, 253, 214-223.
- Czyżowska, A., & Barbasz, A. (2022). A review: zinc oxide nanoparticles—friends or enemies?. *International Journal of Environmental Health Research*, 32(4), 885-901.
- Das, S., Bandyopadhyay, A., Saha, P., Das, S., & Sutradhar, S. (2018). Enhancement of room-temperature ferromagnetism and dielectric response in nanocrystalline ZnO co-doped with Co and Cu. *Journal of Alloys and Compounds*, 749, 1-9.
- Dalebout, R., Barberis, L., Totarella, G., Turner, S. J., La Fontaine, C., de Groot, F. M., ... & de Jongh, P. E. (2022). Insight into the Nature of the ZnO x Promoter during Methanol Synthesis. *ACS catalysis*, 12(11), 6628-6639.
- Erwin, S. C., Zu, L., Haftel, M. I., Efros, A. L., Kennedy, T. A., & Norris, D. J. (2005). Doping semiconductor nanocrystals. *Nature*, 436(7047), 91-94.
- Escobedo-Morales, A., Aranda-García, R. J., Chigo-Anota, E., Pérez-Centeno, A., Méndez-Blas, A., & Arana-Toro, C. G. (2016). ZnO micro-and nanostructures obtained by thermal oxidation: microstructure, morphogenesis, optical, and photoluminescence properties. *Crystals*, 6(10), 135.
- Goktas, A. (2018). High-quality solution-based Co and Cu co-doped ZnO nanocrystalline thin films: Comparison of the effects of air and argon annealing environments. *Journal of Alloys and Compounds*, 735, 2038-2045.

- Hammad, T. M., Salem, J. K., & Harrison, R. G. (2013). Structure, optical properties and synthesis of Co-doped ZnO superstructures. *Applied Nanoscience*, 3, 133-139.
- Hu, F., Liu, Q., Sun, Z., Yao, T., Pan, Z., Li, Y., ... & Wei, S. (2011). Cu and Co codoping effects on room-temperature ferromagnetism of (Co, Cu): ZnO dilute magnetic semiconductors. *Journal of Applied Physics*, 109(10), 103705.
- Hussain, I., Sahoo, S., Mohapatra, D., Ahmad, M., Iqbal, S., Javed, M. S., ... & Zhang, K. (2022). Recent progress in trimetallic/ternary-metal oxides nanostructures: Misinterpretation/misconception of electrochemical data and devices. *Applied Materials Today*, 26, 101297.
- Janani, F. Z., Khair, H., Taoufik, N., Elhalil, A., Sadiq, M., Puga, A. V., ... & Barka, N. (2021). ZnO–Al₂O₃–CeO₂–Ce₂O₃ mixed metal oxides as a promising photocatalyst for methyl orange photocatalytic degradation. *Materials Today Chemistry*, 21, 100495.
- Kang, S. K., Kang, D. Y., Park, J. W., Son, K. R., & Kim, T. G. (2021). Work function-tunable ZnO/Ag/ZnO film as an effective hole injection electrode prepared via nickel doping for thermally activated delayed fluorescence-based flexible blue organic light-emitting diodes. *Applied Surface Science*, 538, 148202.
- Kannan, K., Radhika, D., Gnanasangeetha, D., Krishna, L. S., & Gurushankar, K. (2021). Y³⁺ and Sm³⁺ co-doped mixed metal oxide nanocomposite: Structural, electrochemical, photocatalytic, and antibacterial properties. *Applied Surface Science Advances*, 4, 100085.
- Van Khai, T., Thanh, V. M., & Dai Lam, T. (2018). Structural, optical and gas sensing properties of vertically well-aligned ZnO nanowires grown on graphene/Si substrate by thermal evaporation method. *Materials Characterization*, 141, 296-317.
- Khudiar, S. S., Nayef, U. M., Mutlak, F. A. H., & Abdulridha, S. K. (2022). Characterization of NO₂ gas sensing for ZnO nanostructure grown hydrothermally on porous silicon. *Optik*, 249, 168300.
- Klug, H. P., & Alexander, L. E. (1974). *X-ray diffraction procedures: for polycrystalline and amorphous materials* (p. 992).
- Lahkale, R., Sadik, R., Elhatimi, W., Bouragba, F. Z., Assekouri, A., Chouni, K., ... & Sabbar, E. (2022). Optical, electrical and dielectric properties of mixed metal oxides derived from Mg-Al Layered Double Hydroxides based solid solution series. *Physica B: Condensed Matter*, 626, 413367.
- Lao, X., Ren, X., Yan, Y., Jiang, H., Zhong, M., Kong, A., ... & Shi, L. (2022). Effects of dispersant on electrical properties of zinc-oxide varistors and methods to improve protection performance. *Journal of Electronic Materials*, 51(9), 5169-5180.
- Liu, Y., Wang, Z., Li, L., Gao, S., Zheng, D., Yu, X., ... & Xiong, Y. (2022). Highly efficient quantum-dot-sensitized solar cells with composite semiconductor of ZnO nanorod and oxide inverse opal in photoanode. *Electrochimica Acta*, 412, 140145.
- Menezes, P. W., Indra, A., González-Flores, D., Sahraie, N. R., Zaharieva, I., Schwarze, M., ... & Driess, M. (2015). High-performance oxygen redox catalysis with multifunctional cobalt oxide nanochains: morphology-dependent activity. *ACS Catalysis*, 5(4), 2017-2027.
- Nadeem, M. S., Munawar, T., Mukhtar, F., ur Rahman, M. N., Riaz, M., Hussain, A., & Iqbal, F. (2021). Hydrothermally derived co, Ni co-doped ZnO nanorods; structural, optical, and morphological study. *Optical Materials*, 111, 110606.
- Ney, V., Venkataraman, V., Henne, B., Ollefs, K., Wilhelm, F., Rogalev, A., & Ney, A. (2016). Co and Cu co-doped ZnO epitaxial films—A magnetically soft nano-composite. *Journal of Applied Physics*, 119(16), 163901.
- Qiu, P., Chen, H., & Jiang, F. (2014). Cobalt modified mesoporous graphitic carbon nitride with enhanced visible-light photocatalytic activity. *Rsc Advances*, 4(75), 39969-39977.

- Quan, Z., Li, D., Sebo, B., Liu, W., Guo, S., Xu, S., ... & Zhao, X. (2010). Microstructures, surface bonding states and room temperature ferromagnetisms of $Zn_{0.95}Co_{0.05}O$ thin films doped with copper. *Applied surface science*, 256(11), 3669-3675.
- Prabakar, C., Muthukumaran, S., & Raja, V. (2021). Investigation on microstructure, energy gap, photoluminescence and magnetic studies of Co and Cu in situ doped ZnO nanostructures. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 32, 9702-9720.
- Rise, M. S., Ranjbar, A. H., Noori, H., & Saheb, V. (2022). Synthesis and characterization of ZnO nanorods-Zn₂SiO₄ nanoparticles-PMMA nanocomposites for UV-C protection. *Optical Materials*, 123, 111922.
- Safeen, A., Safeen, K., Shafique, M., Iqbal, Y., Ahmed, N., Khan, M. A. R., ... & Khan, R. (2022). The effect of Mn and Co dual-doping on the structural, optical, dielectric and magnetic properties of ZnO nanostructures. *RSC advances*, 12(19), 11923-11932.
- Shishodia, P. K. (2016). Effect of cobalt doping on ZnO thin films deposited by sol-gel method. *Thin Solid Films*, 612, 55-60.
- Subhan, M. A., Saha, P. C., Akand, M. A. R., Asiri, A. M., Al-Mamun, M., & Rahman, M. M. (2022). Highly sensitive and efficient hydrazine sensor probe development based on MoO₃/CuO/ZnO ternary mixed metal oxide nano-composites for sustainable environment. *Electrochemical Science Advances*, 2(1), e2100031.
- Sundarakannan, B., & Kottaisamy, M. (2022). Blue light excitable red emitting ZnO and its blend for high CRI white light emitting diodes applications. *Journal of Luminescence*, 241, 118447.
- Tauc, J., Grigorovici, R., & Vancu, A. (1966). Optical properties and electronic structure of amorphous germanium. *physica status solidi (b)*, 15(2), 627-637.
- Tiwari, N., Doke, S., Lohar, A., Mahamuni, S., Kamal, C., Chakrabarti, A., ... & Bhattacharyya, D. (2016). Local structure investigation of (Co, Cu) co-doped ZnO nanocrystals and its correlation with magnetic properties. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 90, 100-113.
- Vasudevan, J., Jeyakumar, S. J., Arunkumar, B., Jothibas, M., Muthuvel, A., & Vijayalakshmi, S. (2022). Optical and magnetic investigation of cu doped ZnO nanoparticles synthesized by solid state method. *Materials Today: Proceedings*, 48, 438-442.
- Vivek, S., Preethi, S., & Babu, K. S. (2022). Interfacial effect of mono (Cu, Ni) and bimetallic (Cu-Ni) decorated ZnO nanoparticles on the sunlight assisted photocatalytic activity. *Materials Chemistry and Physics*, 278, 125669.
- Yuan, H., Du, X., & Xu, M. (2016). Ferromagnetic mechanism of (Co, Cu)-codoped ZnO films with different Co concentrations investigated by X-ray photoelectron spectroscopy. *Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures*, 79, 119-126.
- Wu, H., Li, C., Che, H., Hu, H., Hu, W., Liu, C., ... & Dong, H. (2018). Decoration of mesoporous Co₃O₄ nanospheres assembled by monocystal nanodots on g-C₃N₄ to construct Z-scheme system for improving photocatalytic performance. *Applied Surface Science*, 440, 308-319.
- Xu, M., Yuan, H., You, B., Zhou, P. F., Dong, C. J., & Duan, M. Y. (2014). Structural, optical, and magnetic properties of (Co, Cu)-codoped ZnO films with different Co concentrations. *Journal of Applied Physics*, 115(9), 093503.

Airport Common-Use Check-in Operations: A Novel and Efficient Model

Alper DALKIRAN

Highlights:

- Unpleasant passenger experience modeled under emotions, experience, severity measure, and consequences
- The field personal utilization value had dropped from 90% to 0% per the availability.
- extra working hours and hiring are unnecessary in high season

Keywords:

- Aviation Passenger services
- Airport IT Service
- Airport Management
- ITSM
- Service Management
- IT Service Design

ABSTRACT:

This paper examines the capacity problems of common-use environment service improvement and airport passenger services in line with information technology (IT) issues. There are many time-critical processes in the airport terminal for the necessary airport passenger flow processes that IT service design aims to support it. Many flow processes can be designed under several functions while international, domestic, or general aviation cases. The current approaches have been based on the standard industrial methods based on the Information Technology Infrastructure Library (ITIL) practices. However, this infrastructure library practices' distinct general industrial foundations and airport time-critical processes could not fit customer expectations. *This research offers an approach by adding a pre-layer with a user certification rather than fixing the problems on the ground.* Although the proposed novel model does not conflict with the ITIL practices, it primarily develops the practices by coinciding with them a certificated training of end users to establish a positive passenger experience and helping the profitability of the airport. The offered model simulation results show that the Airport IT Service helpdesk and field team instantaneous utilization average was reduced from 96% to 28%, and the field team queue duration during the airport peak hours was 26 minutes to 2 minutes. This study demonstrates that the airport IT support service design should be re-considered during its passenger service operation.

INTRODUCTION

The availability of check-in desks limits the operating effectiveness of the airport. In practical terms, more availability can assist in the more effective use of a limited number of airport check-in counters by the airport authority. Additionally, it can assist in the more efficient allocation of support teams, which can help passengers and airlines more effectively use personnel. Of the need for commercial income, neither airports nor passengers want to wait in queues of check-in counters. The airport check-in process should be planned effectively and efficiently (Yavuz et al., 2020). A study shows that the claimant passenger rate is 59% because of check-in services (Molina Cecchetti, 2004). A novel method is proposed to define a solution to assess operational effectiveness in airport resource allocations by the mean disregarded problem of check-in agents' clumsiness relations with IT types of equipment.

When viewed through service engineering, the Information Technology (IT) service industry is undergoing a fast transition, especially in the aviation services sector. Many firms have sought, but failed, to build their IT services (ITS) in compliance with various certifications to generate new business models to serve their customers better. In many instances, customers have not placed a high value on the suggested service models because no more importance is being provided to the existing supplier-client partnership (Steinberg, 2014).

The higher the number of business needs generated by the passenger, and indirectly by the business itself, the higher it rises, and the more remarkable customers demand service recovery time. In the airport ITSM market, many companies are implementing ITIL-based ITSM processes for these environments. However, because there are insufficient references, they must learn by trial and error. During this time, service providers began implementing a set of procedures known as the IT alignment planning process. It is feasible that the IT alignment planning process will take up to four years to complete. The initial phase of the IT alignment planning process should consist of pilot implementation, followed by an enterprise-wide deployment (Peak and Guynes, 2003). IT alignment planning acquired the attention and acceptance of all company divisions due to its adaptive design and easy integration with corporate strategic planning methods.

On the other hand, higher levels of IT management have understood the IT alignment as below items as per research among the 300 CEOs and CIOs (Luftman, 2003):

- Alignment between IT and the business,
- Strategic planning for IT,
- Security and privacy,
- Recruiting, training, and keeping IT workers,
- Figuring out the value of IT investments;
- Figuring out how well the IT department is doing;
- Quickness and agility,
- Making an information architecture,
- Making things less complicated,
- Reengineering business processes.

Product measures pertain to software objects, whereas process measures pertain to software creation, testing, and maintenance. The IEEE Standard Dictionary of Measures to Produce Reliable Software (IEEE, 1989) describes this simple classification of metrics as either process or product metrics. In the field of IT service management, information technology service providers have a variety of measuring targets from which to choose. They can measure the performance of any IT

service management process, the maturity of IT service management processes or an IT organization, customer satisfaction with IT services and processes, such as costs of service or service unavailability, which are business performance as the quality of IT service. The Capability Maturity Model Integration (CMMI) for services (Lahtela et al., 2010; Ninssinka et al., 2005) and other maturity assessment models (ITSMF UK, 2007) can be utilized to assess the maturity level of an IT organization's ITSM procedures. It stands to reason that various methods of measuring will need to be utilized depending on the aim of the investigation.

There is not much literature found directly on the Common-Use IT services in airports. However, research related to check-in services has been grouped under Check-in, Customer satisfaction, Optimization, Performance evaluation, and service-related subjects. The frequency table analysis can be seen in two sub-groups noticed in the literature for check-in; services were written in Departure Control Systems (Adamcik et al., 2018), and the advantages of shared staff were highlighted by Alodhaibi et al. (2020). Two studies are listed in Customer satisfaction analysis and auditing by AlKheder (2021) and Attié (2021), respectively. Optimization subjects can be grouped under Algorithm Development, Behaviour Analysis, Capacity, Modelling, and Simulation. Ornek et al. (2019) have developed an algorithm to resolve counter-assignment problems. Optimization using behavioral analysis is the second most popular sub-category in the optimization subjects, have been studied by Yang and Zheng (2021), Adacher and Flamini (2021), and Moon and Lee (2022). The most popular sub-category is modeling, which is supported by Orhan and Orhan (2020), who has studied passenger flow modeling, Zhou et al. (2018) developed a dynamic model for queuing problems; Jencova et al. focused on parallel check-in allocation models, and Ueda and Kurahashi (2018) explored the best operational models of self-service technological models. Two recent studies show themselves while searching for capacity sub-group as gate assignment problem (L'Ortye et al., 2021) and terminal building capacity evaluation (Alnowibet et al., 2022). Additionally, Alodhaibi et al. (2019) worked on passenger outbound processes, and Brause et al. (2020) studied passenger service optimization in blackout situations as simulated computer resolutions.

Table 1: A frequency analysis of recent studies on Airport Check-in Services

Research Subject	Modifier	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Total
Check-in	Service	1						1
	Shared Staff			1				1
Customer satisfaction	Analysis				1			1
	Auditing				1			1
Optimization	Algorithm Development		1					1
	Behaviour Analysis				2	1		3
	Capacity				1	1		2
	Modeling	2		1			1	4
Service	Simulation		1	1				2
	Improvement	4	2	1	1	2		10
	Quality		1			2		3
	Total	7	5	4	6	6	1	29

The most popular subject is Service Improvement in recent studies. There are ten papers found in the literature related to this subject. The three studies focused on technological advancements and digital transformation (Kaushik and Thakur, 2022; Zaharia and Pietreanu, 2018; Kovynyov and Mikut, 2019); six papers, on the other hand, assessed the problems on process evaluation and problem management (Park and Lee, 2020; Ahmed, 2018; Zhou et al., 2022; Gures et al., 2018; Choi, 2021; Andreassen et al., 2018). Suroso and Nasution (2019) completed an analysis of self-check-in counters cognitive work.

The frequency analysis mentioned above was the recent publications on airport check-in services. However, a small group of academicians studied IT service subjects. Jantti has stated that the

service desk software does not provide a methodical way of recording ideas for making improvements (Jäntti, 2012a). If “Improvement ideas” are brought to the attention of a Continual Service Improvement team or a Change Management team, there is a chance that a breakthrough may materialize. Still, it is not enough to set forth a significant improvement in the IT support area. Also, Jantti et al. have summarized the IT service desk improvement process in four steps (Jäntti, 2012b). The first step, the difficulties associated with providing help to customers, are discussed. The second step of this article revealed that they have discussed how these problems were resolved by utilizing ITIL-based procedures. In the third step, they demonstrate how the service desk’s performance and ITSM training’s value were evaluated. This step partially matched the solution offered in this article. The takeaways and lessons from the case are discussed in the conclusion step.

For IT service management, there are a variety of standards and frameworks. Each of these standards and frameworks addresses the need to monitor and assess service management and offers its metrics. The Control Objectives for Information and related Technology (COBIT) framework (COBIT, 2019, p. 17) was designed to guide IT governance by arranging advice on processes, organizational structures, information flows, people’s skills and competencies, principles, policies and procedures and also, services, infrastructures, and applications. For each delivery and support process, including DS8 Manage Service Desk and Incidents and Manage Problems, COBIT provides both process metrics and maturity level metrics. These measures can assess a company’s delivery and support capabilities. The first-line resolution rate, the proportion of reopened events, the proportion of problems that were recorded and monitored, and the proportion of problems that recurred are examples of metrics (within a certain amount of time). The two components of the auditable standard for IT service management known as ISO 20000 are the specification for service management (ISOIEC20000, 2005a) and the code of practice for service management (ISOIEC20000, 2005b).

This standard conforms to ITIL and is auditable. The organization must develop suitable monitoring and measurement techniques for service management operations as one of its conditions. This measurement requirement is among the requirements, and it seems impossible to reach the desired ability level without using the standards. In addition, ISO 20000 requires businesses to deliver reactive, proactive and planned reports that reflect their IT service management operations. ISO 20000, on the other hand, does not stipulate which metrics must be used to measure the processes. Jantti has highlighted the significance of adhering to the standards by describing the phases of implementing an IT support organization. These phases focused on improving the service desk and incident management process from the viewpoint of IT service management by providing lessons learned from any study. Jäntti (2012b) has described the phases and provided lessons learned from the study. The results of this approach have been published in another study of Finnish Tax Service IT Service Management (Jäntti et al., 2012).

Airports are, on the other hand, multi-cultural entities. IT service design efforts must be considered under technology acceptance and aligned with different customer values. Local or international approaches can be accepted in the subject airport IT service environment (Steinberg, 2014). ITIL has become a de facto standard for IT Service Management in recent years since it is increasingly used to describe and deliver IT services. On the other hand, ITIL is a common practice approach without an explicit process definition, which allows for a great deal of flexibility. This article discusses the progression to a reference model for IT Service Management procedures and demonstrates their incorporation into a comprehensive process framework for IT management (Rohloff, 2008).

Lahtela et al. (2010) have developed an ITIL-based IT service management measurement system to measure the system's performance on the managers. The authors studied the performance on 18 parameters and focused on the base parameters as open, closed, and new incidents to find the maximum and minimum limits for desired performance. However, this solution can be effective if the incident calls are limited and distributed in time or the customer distinguishes no time-critical special requirements. Besides, the authors have resolved their limitations in the one-unit case.

This paper focuses on redesigning the process by adding simplified training and certification to find possible solutions by building a structure for simple airport IT Service data. Offered certification will enable check-in agents to understand the common-use peripherals readiness, which was the leading root cause of the problem. The data shown in the basics are used to analyze a simplified approach to the problem. Redesigning a business process should create unseen problems in the system. Merely this productivity and functionality are the most significant aspects while designing the IT service to create efficient operations, which needs to be implemented to resolve the trailing problems. Beyond that, the integrity of effective service with the other pieces of IT service must be thought from scratch.

MATERIALS AND METHODS

IT service in airports has several configuration items (CIs) as the customer differentiates with the requirements in both the service level agreement (SLA) and the configuration management (CM) in line with the incident management (IM). Airport services in this study are limited by the common-use equipment that is the undetermined customers in the front end. Tang (2009) has highlighted the significance of check-in counter assignments in resource efficiency in actual airport operation usage. Therefore, practical counter desk usage directly relates to check-in counter availability. Also, walking distance to gates, wait time, and check-in line length can be minimized, enhancing airport service or system performance. These measurements reflect service or system performance and assign flights to check-in counters (Yan et al., 2003).

Nevertheless, airports often have two types of check-in counters. Common-use and airline-specific techniques have been used in different portions of airport configurations. Growing flights and limited check-in desks pushed airports to employ shared counters. Yan et al. (2005) have offered a solution to solve the problem of common-use assignments efficiently. They have decomposed the problem into two more minor issues and solved them repeatedly to achieve a near-optimal solution. Simulations revealed widespread check-in reduces average wait times and helps 'counter and personnel' planning. (Bevilacqua and Ciarapica, 2010). Wu and Mengersen (2012) have conducted an airport operations system performance review to guide future works.

Joustra and Dijk (2001) studied check-in queues to determine their effectiveness and found the following to be true:

- Provide operational check-in rules insights through quantitative foundation and animation.
- Study check-in facility capability.
- Evaluate operational check-in planning.
- Improve check-in staffing.

Appelt et al. (2007) employ a similar modeling strategy for check-in as prior research (Joustra and Dijk, 2001). Proposed check-in modeling scenarios include the analysis of online check-in usage, capacity studies, resource allocation, and visualization of probable future circumstances. Another research predicted airport check-in capacity using fuzzy logic rules based on passenger sum and the

number of bags (Kıyıldı and Karasahin, 2008). However, all the above studies disregarded another primary problem that can be called check-in agents' clumsiness with IT equipment.

This undercover problem is another significant gap in check-in assignment efficiency. Any check-in agent could not manage a basic paper jam problem or missing to deal with any software interaction like clearing the print queue, made the assigned desk occupied for the next 15 to 30 minutes related IT Service support technician to intervene in the problem.

Set up a Simulation Model as a Solution

Predicting the continual changes that occur at airports is greatly aided by simulation. Experience has a crucial role in determining how each passenger behaves. Their behavior is consequently difficult to anticipate. Simulation enables the modeling of various passenger behaviors, considering staffing schedules and variations in passenger volumes based on the time of day or weekday. As to resolve a problem as complex as it could be can be resolved by the simulation. The nature of the problem can be seen in Figure 1.

This known process schema describes an ITIL best practice approach to common-use platforms of airports. An incident call to the Airport IT service desk triggered this known process. Check-in agent logs in when a counter is dedicated to the ground handling company or airline on the airport resource management system. Check-in agent logs in when a counter is dedicated to the ground handling company or airline on the airport resource management system. Check-in agent has started their user interface (UI), which can be a graphical user interface (GUI) or any command prompt based on the airline departure control systems architecture. This UI can be a web-based application too. The Check-in agent should sign on and ensure the readiness of peripherals that can measure the bag weight and scans the passports, IDs, and printers to print baggage tags and boarding passes. Some systems still need to clear the printer queue before the check-in operations. Also, printers may need attention while loading the paper stock to the printers. Many problems can be caused by missing this step.

Airport IT support has dedicated three levels of support.

- 1st level is helpdesk support, which is responsible for categorizing the incidents, exploring the opportunities for remote resolution, transferring the incident to higher level intervention, or carrying the incident to closure.

- 2nd level is the field team support for asked help for the current incident. Field teams are generally divided into junior and senior technician sections categorized by their experiences.

- 3rd level is when the developer team points out the software designer who does the automated tasks instead of agents.

This study focused on resolving the inefficiency problems between agents and check-in stations due to the nature of Airport IT support of common-use platform design. The current airport common-use design provides a platform for all airlines to work on the same device set. Thus, all airlines and check-in agents do not have to change all hardware sets and connection settings throughout their dedicated time. Since time is a valuable asset, this study offers a training schema provided in Figure 2. Also, airport management does not charge extra investment payback or operational costs for more extensive check-in areas and resources. There will be unpleasant consequences of inefficient computer and peripheral use on airport management, handling agents, airlines, and passengers. Table 2 summarizes those results in four domains: emotions, experiences, severity measure of the influence with adverse effects, and consequences of contributed factors. The observations and discussions after the industrial professionals have prepared this table. The conversations and observations were reported

to the airport IT management as an improvement point. Those improvement points were neither answered nor evaluated.

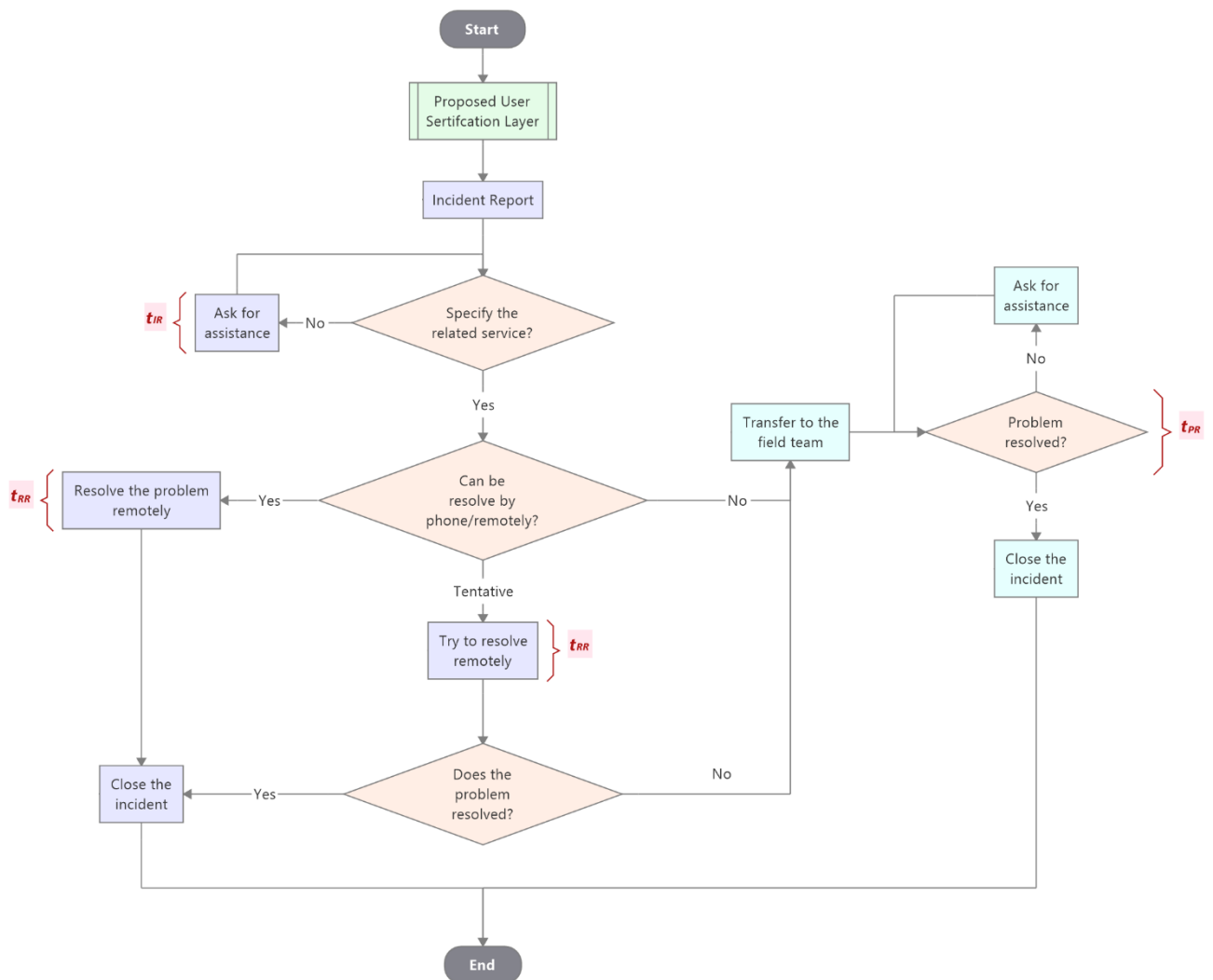


Figure 1. Process schema of a known IT Support Process for airports Common-Use check-in desks including proposed layer

Airport IT Service design aims to reduce the unwanted time to fix the problem remotely and intervene on-site. The duration presents the remote intervention time spent to fix the problem remotely. Additionally, it defines the duration for categorizing an incident before the corrective actions of the reported incident. The duration addresses the field problem resolution. The below equations calculate the average duration of the helpdesk intervention \bar{t}_{HD} , which can be calculated by Equation (1). The 1st level average duration is \bar{t}_{1st} , and the 2nd level average duration is \bar{t}_{2nd} . The $t_{IR,i}$ value represents the duration of the intervention request of each measurement. Equation (2) and Equation (3), respectively, lets the values be calculated in a defined timeframe. The t_{RR} measurement demonstrates the duration of the remote resolution, adding each attempt as a sum by the different resolution teams. Moreover, lastly, t_{PR} points out the duration of problem resolutions for 2nd level resolutions.

$$\bar{t}_{HD} = \frac{\sum t_{IR,i}}{n} \tag{1}$$

$$\bar{t}_{1st} = \frac{\sum t_{RR,i}}{n} \quad (2)$$

$$\bar{t}_{2nd} = \frac{\sum t_{PR,i}}{n} \quad (3)$$

Table 2. Unpleasant results of inefficient counter-allocation time

	Emotions	Experience	Severity Measure	Consequences
Airport management	Inability	Resource management issues in peak hours	Prolonged durations effect on planning changes	Increasing check-in fees
Handling Agent	Stress, Helplessness	Organizational poorness, capacity increases	Changing shift planning and unplanned overtime	Increasing staff count
Airline	Insufficiency	Connection times mismatch and uncontrollable organization	Affected fillet planning and crew management	Alternative locations or handling agents
Passenger	Anxiety, Tension	Difficulties reaching food, beverage, or other amenities or lacking communication with their relatives.	Number of unhappy passengers for the affected flight	Unwillingness to buy new tickets

Table 3 defines the relations of resolution groups of incidents. On the other hand, Table 4 describes the model's duration calculations hierarchy and approach. Both tables explain the approach in four stages. The four stages of received incidents have been grouped under incident opening, incident updating, remote resolution, and field resolution items. However, resolving under the incident update time and which level is responsible at this stage is impossible. Therefore, this stage was removed from the approach.

The data must be normalized since it has been gathered from the yearly incident reports. The data recording system was not designed to measure direct team performances that need to be altered and normalized by specific approaches. The resolution codes have filtered the data, and office IT support incidents have been disregarded. Therefore, the other resolution codes like airside support works, car park incidents, and flight information system calls have been filtered from the results. This purification took lots of time, but finding a good result and proving the model was working was necessary.

On the other hand, reports were not specific enough for ongoing incidents' month closure. It is intensely used to measure support teams' key performance indicators. This study accepts that the next month's first two days resolved those results, and those become irrelevant in this study. However, those figures are shown in the results section.

The check-in operation options can be summarized below. The traditional Check-in Model is the most common check-in model, where passengers physically check in at the airport counter and drop off their luggage. Self-Service Check-in Model allows passengers who use self-check-in automated kiosks or machines provided by the airlines. Online Check-in Model enables passengers to check in for their flights online, usually 24 hours before departure, and print their boarding passes at home or the airport. Mobile Check-in Model has let passengers act freely. Like online check-in, passengers can check in for their flights using their mobile devices and receive a digital boarding pass. Curbside Check-in Model is a model that allows passengers to check in at the airport curb, usually with the assistance of airline staff who come to the passenger's vehicle. Remote Check-in Model lets passengers check in at remote locations such as hotels or conference centers before going to the airport, usually with the assistance of airline staff. The automated Baggage Drop Model is a model that allows passengers who have already checked in to drop off their luggage using automated machines

provided by the airlines. Home Baggage Check-in Model is the newest model that enables passengers to have their luggage picked up from their home or hotel and checked in for their flight, usually for an additional fee.

This paper focuses on the first two operational check-in options. However, these two still the most common approach for check-in services. The IT support models for the check-in, as mentioned earlier options, can be listed below:

- **In-house IT Support Model:** In this model, the airline or airport has its own IT support team responsible for maintaining and supporting check-in desk IT systems.
- **Outsourced IT Support Model:** In this model, the airline or airport outsources its IT support to a third-party provider responsible for maintaining and supporting the check-in desk IT systems.

- **Hybrid IT Support Model:** In this model, the airline or airport has a combination of in-house and outsourced IT support. For example, the airline may have its own IT support team but also use a third-party provider for specialized IT support services.

- **Cloud-based IT Support Model:** In this model, the check-in desk IT systems are hosted on cloud servers, and the airline or airport relies on the cloud provider for IT support and maintenance.

- **Managed IT Support Model:** In this model, the airline or airport contracts with a third-party provider for comprehensive IT support, including monitoring, maintenance, upgrades, and troubleshooting.

- **On-demand IT Support Model:** In this model, the airline or airport contracts with a third-party provider for IT support as needed. For example, the airline may call on the provider for support during peak travel seasons or special events.

These models may also involve different IT support services, such as hardware maintenance, software updates, network and security support, and helpdesk support. Table 2 describes those sections grouped under Help Desk Level, 1st Level, and 2nd Level operational teams. Each level has done troubleshooting steps, but the level of the problem limits their tasks.

Table 3. The relations of resolution groups

	Roles on IT Support		
	Help Desk Level	1st Level	2nd Level
Incident opening	TRUE	FALSE	FALSE
Incident updating		TRUE	
Remote Resolution		TRUE	
Field Resolution	FALSE		TRUE

Table 4. Calculation hierarchy of average duration distribution for each group

	Calculation of Average Durations on IT Support		
	Help Desk Level	1st Level	2nd Level
Incident opening	\bar{t}_{HD}	0	0
Incident updating	N/A	N/A	N/A
Remote Resolution	\bar{t}_{1st}	\bar{t}_{1st}	\bar{t}_{1st}
Field Resolution	0	\bar{t}_{2nd}	\bar{t}_{2nd}

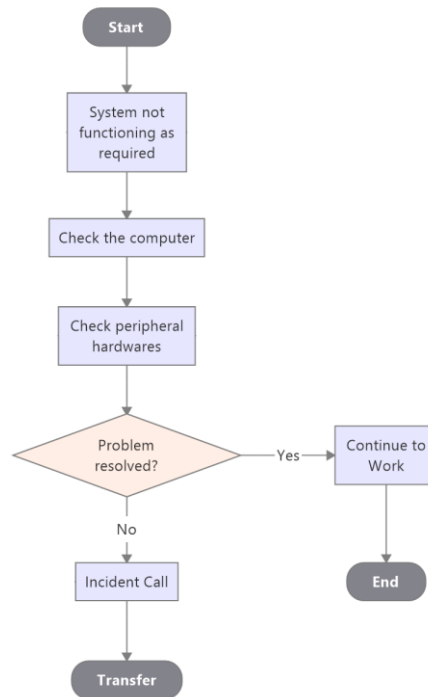


Figure 2. Proposed model for training and certification that lets check-in agents to do preliminary checks

Figure 3 has been developed to be a base for simulation studies. This horizontal concept map can be assessed as a time flow starting with an incident to showing disposal points in green termination points. Average durations and the resolution level data helped develop this flow model. Simulation software has been programmed by the details shown in the pink rectangular. Those data have been filtered through an analysis to support this simulation.

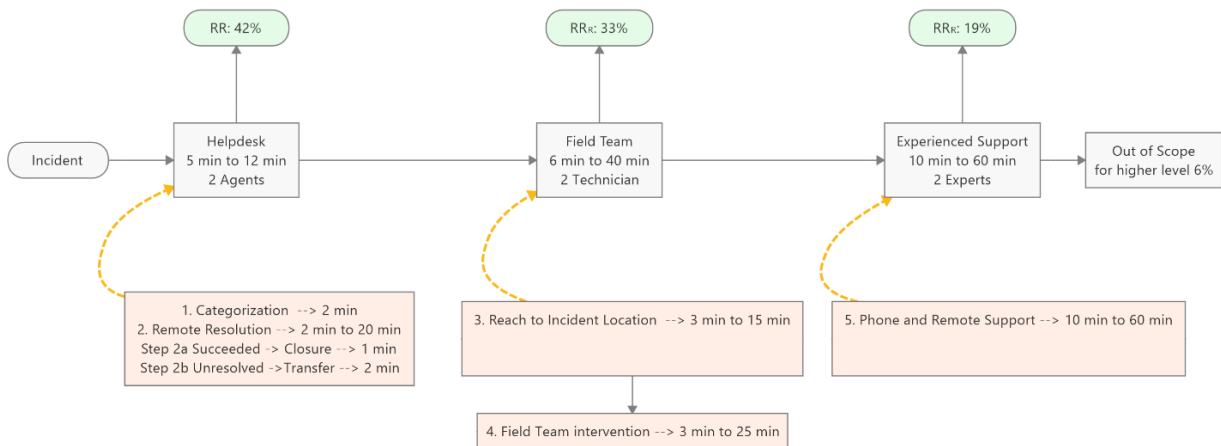


Figure 3. Simulation model sketch-up for Arena application

Many companies around the world develop common-use platforms under different brands. Furthermore, the support models for common-use systems are differentiating for each brand, and there will not be a specific approach. Some airports manage the common-use environment financially, and some have financing with cooperation between all airport parties, like airlines and handling agents. Some airports have been forced to use the common-use systems by default at the beginning of the rental period or built-operate-transfer model agreements with the owner. Each model has to be supported by the IT Service support on service agreements starting with different models. Some

airports can buy the service with a complete package starting from the 1st level; some require only the 3rd level. Thus, this study offers a solution for airports that have asked only for 3rd level support and looking for check-in efficiency under their control.

Check-in agents do not care about the hardware availability and use this occasion as a complaints mechanism. The counter resource fees are at the forefront of service that each passenger, agent, or handling agent can use against any unwanted situation. Therefore, this study acknowledges that although the proposed results will help efficiency, it will not be easy to set up comprehensive certified end-user training. Nevertheless, it is better to change the approach for a sustainable approach.

RESULTS AND DISCUSSION

The data set for this study was used from actual airport data. Table 5, the below table, demonstrates the relation between flight count and incident structure monthly that are directly related to incidents with airport common-use reports. Those numbers are obtained from a middle-sized airport's IT department. Plenty of data is stored in the incident management for airport IT service since this is a systematic approach to identifying, classifying, assessing, resolving, recovering, and reviewing IT service for common-use check-in resources and processes.

The filtered data let results appear based on incident reports checked on the relation of flight counts and incident properties. There are three incident properties have been chosen below.

- *Failed Incidents* were incidents that were called the helpdesk by mistake or prematurely connected calls. The flight count correlation is 0.9 for this property.

- *Closed Incidents* are incidents directly related to common-use system problems with a correlation score of 0.94. This rate proves that all incidents have been correctly filtered.

- *Ongoing Incident* property is the worst and unrelated data from the filtered data by the correlation result of 0.16. Thus, this will not be used anymore in problem resolution.

Table 5. Filtered common-use check-in incident reports

Months	Flight Counts	Failed Incidents	Closed Incidents	Ongoing Incidents
January	5601	349	2558	217
February	5185	210	2021	58
March	5922	358	3447	188
April	6251	325	3657	77
May	7081	517	5239	230
June	7168	524	5596	102
July	8005	603	5735	268
August	8372	636	6221	103
September	7768	597	4918	75
October	7182	341	4584	247
November	5250	276	3271	135
December	6632	310	4297	111

The analyzed data shows in Figure 4 that the airport arrival and departure flight count and closed incidents are floating together like shadows. The departure flight count is the key for check-in operation IT Support due to the nature of the process. However, failed incident report support the necessity of the problem by effectiveness being the key to airport passenger operations. The high season is a considerable stress source for tourist airports. This airport doubles the passenger sum with higher load factors in the high season. So, the failed incidents peak in high season is the main reason for failed incident openings because of lack of readiness in the check-in counters. The other root cause of the high incident opening failures is because of inexperienced users during the high season who generally panic about dealing with different passenger requests while the pax queues grow longer.

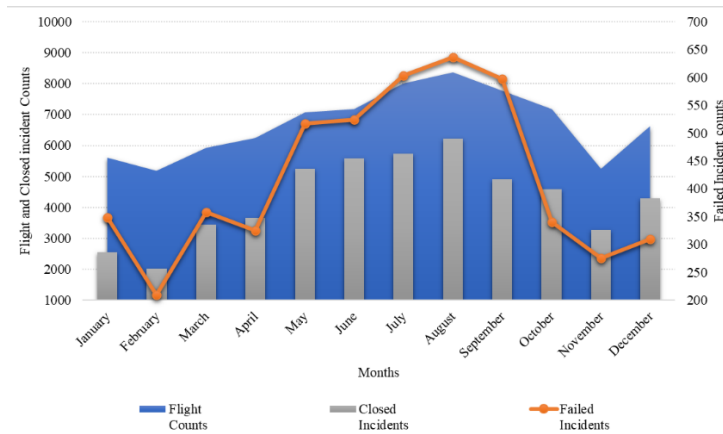


Figure 4. Analysis Results for airport IT Service desk incident records

There are two simulation results have been defined in the Arena Simulation application. The first simulation was carried out with the as-is model, and the second simulation considered that the educated staff gears the check-in operation. The main difference between these two models is the count of check-in operation count and calculating the workload as the time and queue of airport IT incidents on common-use devices. Both models were built on two field technicians and helpdesk agents counterbalancing the incident calls and successful closures. Also, both models were simulated a hundred times for accurate results.

The simulation results have been assessed under two categories: Instantaneous Utilization and total utilization duration. Figure 5 represents the instantaneous utilization results of the simulation for both scenarios. The simulation results for the as-is scenario show that the utilization rate for all teams is at the highest rates, and Table 5 supports the waiting queue times in this regard. The higher reaching and problem-fix times trigger the unpleasant results of airport management. The average helpdesk response time can be increased to a minute; that would be the limit for just picking up a phone after the welcome message.

Nevertheless, the enormous problem is starting to add extra time by adding 26 minutes to 41 minutes for each incident. This figure’s average is 26 minutes while the airport is in busy hours. The experienced field team’s closure figures seem a disaster with 145 minutes of maximum average if the airport IT management increases the experienced staffing. It is also evident that the Experienced field team average reaches 95 minutes during busy airport hours.

When the simulation results were examined for data accuracy, the half-width figures showed as narrowing down the results is reliable. However, Figure 5 (b) shows that the minimum average and maximum average bands have become more expansive. Half-width figures for each analysis for both scenarios, the distribution width of each statistical distribution are standard and accurate. Furthermore, some half-width figures have shown a perfect fit after the improvement models simulations. These figures points-out that the resolution for time-critical problems should be resolved in the root cause.

Table 6. Average Helpdesk waiting and Field Teams reaching durations for an incident

	Average	Model As-is		Model Improvement		
		Minimum Average	Maximum Average	Average	Minimum Average	Maximum Average
Experienced Field Team Queue	26 min	14 min	41 min	2 min	0 min	28 min
Field Team Queue	95 min	27 min	145 min	0 min	0 min	0 min
Help Desk Queue	24 sec	6 sec	59 sec	1 sec	0 min	11 sec

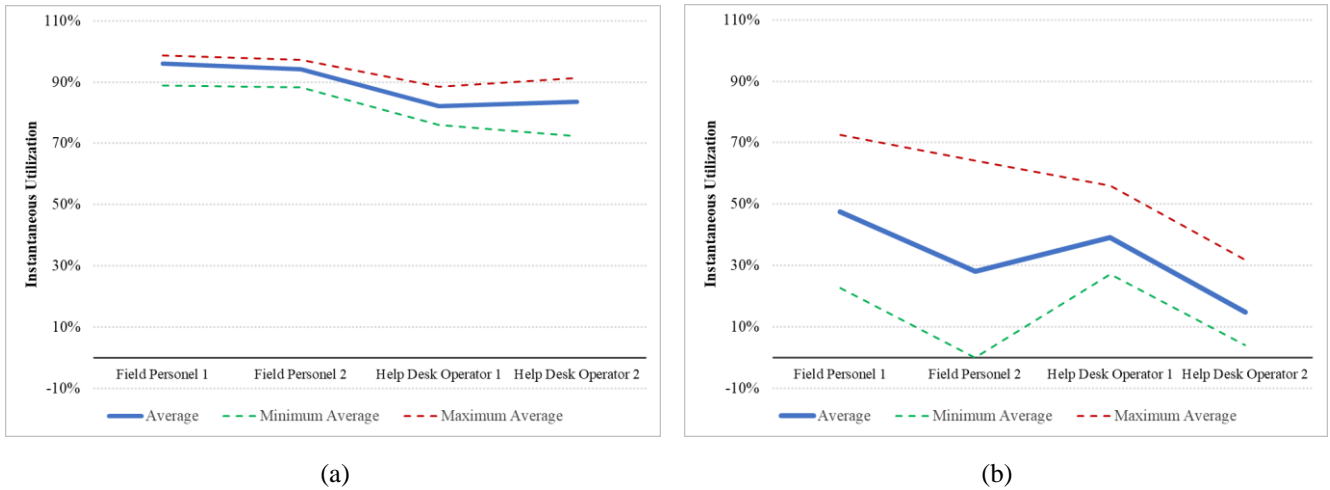


Figure 5. Instantaneous Utilization results for Helpdesk and Field team, (a) Model As-Is, (b) Model Improvement

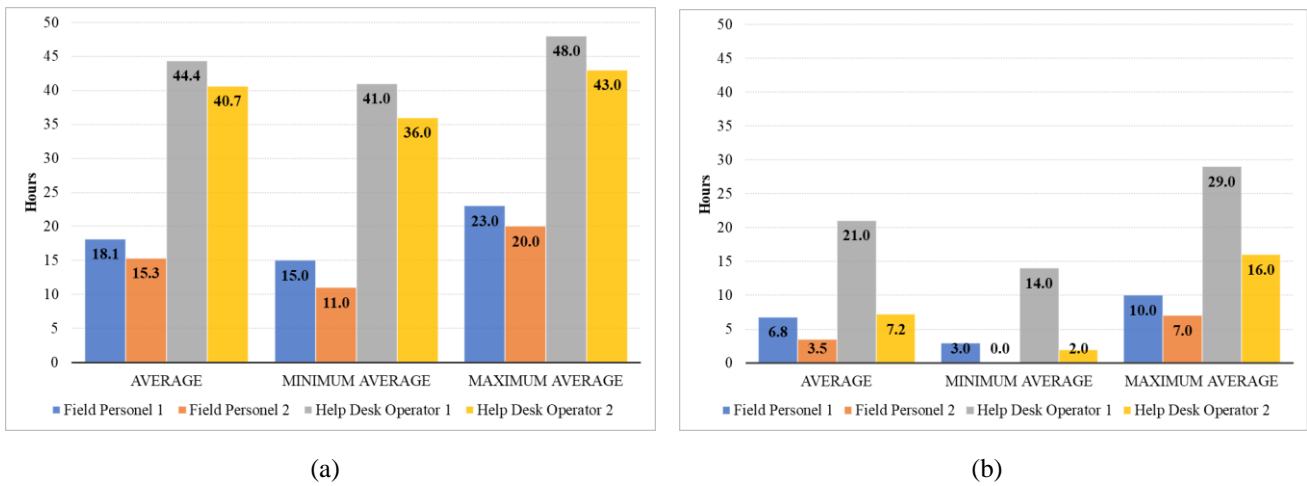


Figure 6. Utilization Hours results for Helpdesk and Field team, (a) Model As-Is, (b) Model Improvement

CONCLUSION

Because the data were obtained using staff and system-specific attributes, the same analysis may be done even after capturing other key performance indicators such as the customer’s origin and name. The airlines, the handling agents, and the airport’s passenger transfer services may all use the results to modify the check-in procedure based on the time of day. In addition, considering that many business passengers do not check bags, self-service kiosks or fast-track check-in queues may be the most efficient check-in method for future services. The simulation results may be utilized to analyze the differences between the timeframes where the reports are provided.

Controlling the number of transactions processed at the transfer desk is an additional case choice. As mentioned earlier, this research has not examined any data to model the issue. The simulation might demonstrate the outcomes of such an analysis even when an airline elects to allow its passengers to check in earlier. If the necessary data is accessible, additional research may also consider airport IT personnel, passenger service staffing for airline or handling agent schedules, and scheduling considerations. This research had no possibility of obtaining these results at any point.

More studies are necessary to develop new strategies and not waste time on airport resources, handling agent resources as a staff efficiency and passenger satisfaction. IT support strategies may differ while applying copy-and-paste consultancy resolutions in specific environments like airport

check-in counters. Many more novel approaches are needed as the airports are full of time-critical processes, IT, handling agents, terminal operators, and owner points of view.

This study intends to broaden the scope of airport research by including the planning and staffing of airport information technology services as part of developing check-in procedures. When this information is combined and acknowledged to fix another issue with the check-in procedure and the level of service provided, it is possible to understand a passenger's complete experience and unlock another profitability metric at the airport.

Nomenclature

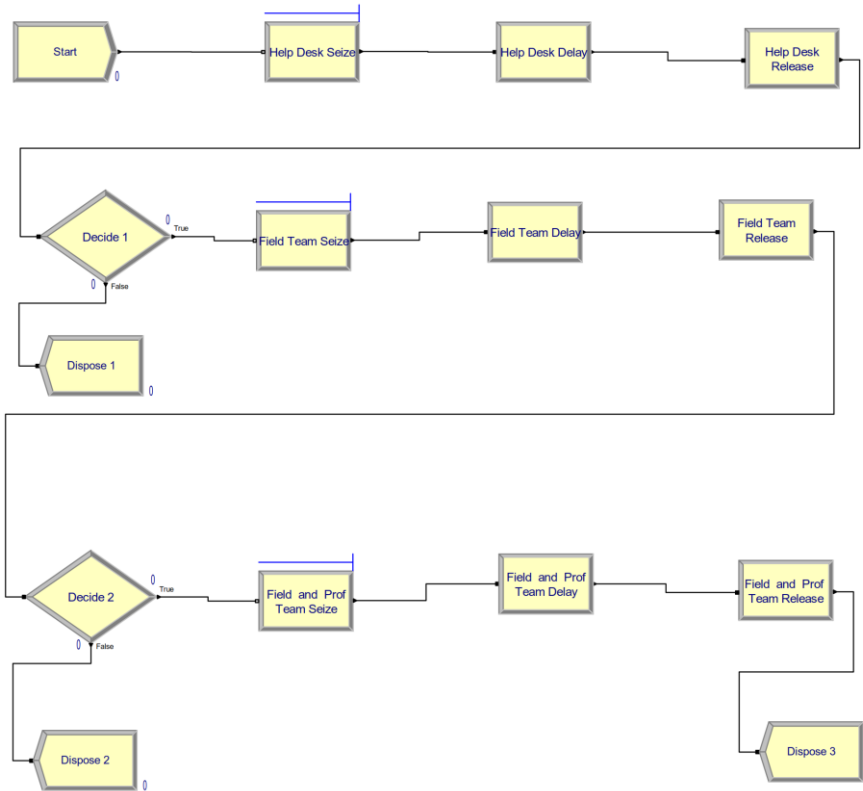
1 st Level:	Incident categorizing and initial troubleshooting level
2 nd Level	: Experienced technicians troubleshooting level
BT	: Bilişim Teknolojileri
BTAK	: Bilgi Teknolojisi Altyapı Kütüphanesi
CEO	: Chief Executive Officer
CI	: Configuration Item
CIO	: Chief Information Officer
CM	: Configuration Management
CMMI	: Capability Maturity Model Integration
COBIT	: Control Objectives for Information and related Technology
DCS	: Departure Control System
GUI	: Graphical User Interface
HD	: Help Desk
IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineers
IM	: Incident Management
ISO	: International Standards Organization
IT	: Information Technologies
ITIL	: Information Technology Infrastructure Library
ITS	: IT Services
ITSM	: Information Technology Service Management
SLA	: Service Level Agreement
UI	: User Interface

Symbols

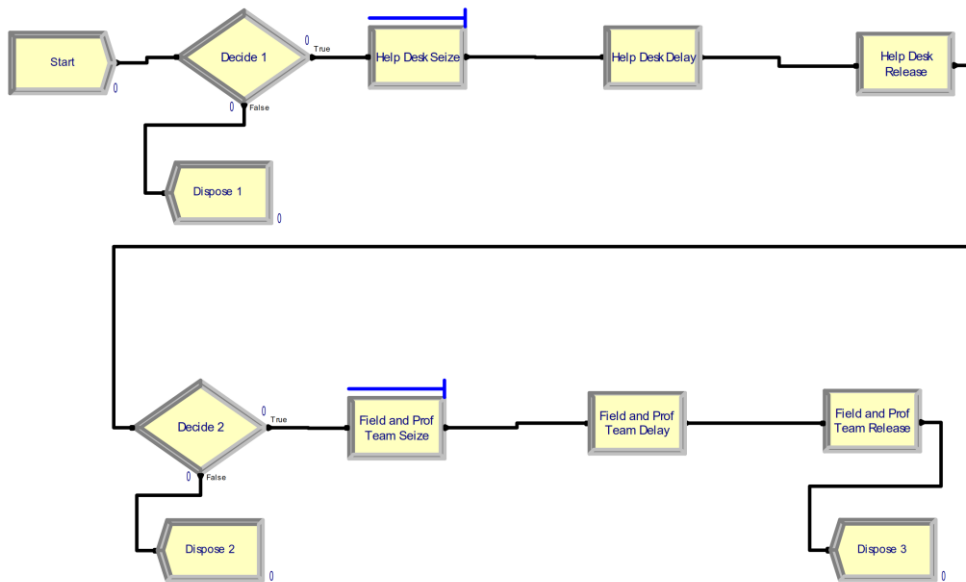
\bar{t}_{1st}	: Average duration of the 1st level intervention
\bar{t}_{2nd}	: Average duration of the 2nd level intervention
\bar{t}_{HD}	: Average duration of the helpdesk intervention
t_{IR}	: The measured duration of intervention request
t_{PR}	: The measured duration of problem resolution finalized at 2nd level
t_{RR}	: The measured duration of remote resolution

Appendixes

Appendix 1: Simulation diagram of as is.



Appendix 2: Simulation diagram of proposed solution



REFERENCES

Adacher, L., & Flamini, M. (2021). Optimization of airport check-in service quality focused on operational costs and passengers’ satisfaction. Plos one, 16(8), e0253586.

Adamčík, F., Galanda, J., Šulej, R., Jenová, E., & Jezný, M. (2018, August). Local Modular Departure Control System for Airports. In 2018 XIII International Scientific Conference-New Trends in Aviation Development (NTAD) (pp. 8-12). IEEE.

Ahmed, S. Y. (2018). Design of mobile application for travelers to transport Baggage and Handle Check-in process. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 9(2).

- AlKheder, S. (2021). Passengers intentions towards self-services check-in, Kuwait airport as a case study. *Technological Forecasting and Social Change*, 169, 120864.
- Alnowibet, K. A., Khireldin, A., Abdelawwad, M., & Mohamed, A. W. (2022). Airport terminal building capacity evaluation using queuing system. *Alexandria Engineering Journal*, 61(12), 10109-10118.
- Alodhaibi, S., Burdett, R. L., & Yarlagadda, P. K. (2019). Impact of passenger-arrival patterns in outbound processes of airports. *Procedia Manufacturing*, 30, 323-330.
- Alodhaibi, S., Burdett, R. L., & Yarlagadda, P. K. (2020). A framework for sharing staff between outbound and inbound airport processes. *Mathematics*, 8(6), 895.
- Andreassen, T. W., van Oest, R. D., & Lervik-Olsen, L. (2018). Customer inconvenience and price compensation: A multiperiod approach to labor-automation trade-offs in services. *Journal of Service Research*, 21(2), 173-183.
- Appelt, S., Batta, R., Li Lin, & Drury, C. (2007). Simulation of passenger check-in at a medium-sized us airport. 2007 Winter Simulation Conference. doi:10.1109/wsc.2007.4419729
- Attíe, R. (2021) Designing of a Quality Audit Methodology for IT Support Service: Development of a quality audit criteria. Masters Thesis, University of Turku.
- Bevilacqua, M., & Ciarapica, F. E. (2010, December). Analysis of check-in procedure using simulation: a case study. In 2010 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (pp. 1621-1625). IEEE.
- Brause, L. M., Popa, A., Koch, T., Deutschmann, A., & Hellmann, M. (2020). Optimization of resource demand for passenger services at airports during system failures such as blackouts. *European Transport Research Review*, 12(1), 1-13.
- Choi, J. H. (2021). Changes in airport operating procedures and implications for airport strategies post-COVID-19. *Journal of Air Transport Management*, 94, 102065.
- COBIT (2019). COBIT® 2019 FRAMEWORK: GOVERNANCE AND MANAGEMENT OBJECTIVES (5th ed., p. 302). ISACA. <https://store.isaca.org/s/store#/store/browse/detail/a2S4w000004Ko9ZEAS>
- IEEE (1989). IEEE Standard Dictionary of Measures to Produce Reliable Software. *IEEE Std 982.1-1988*, 1-36. <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.1989.86055>
- ISO/IEC20000, I. T. (2005a). Service Management, Part 1: Specification for service management. *ISO/IEC JTC1/SC7 Secretariat*.
- ISO/IEC20000, I. T. (2005b). IT Service Management, Part 2: Code of practice for service management. *ISO/IEC JTC1/SC7 Secretariat*.
- ITSMF UK (2007). ITIL Service Management Self Assessment. <http://www.itsmf.com/bestpractice/selfassessment.asp>
- Jäntti, M. (2012a). Examining challenges in IT service desk system and processes: a case study. In *The Seventh International Conference on Systems (ICONS)* (pp. 105-108).
- Jäntti, M. (2012b). Improving IT service desk and service management processes in finnish tax administration: a case study on service engineering. In *International Conference on Product Focused Software Process Improvement* (pp. 218-232). Springer, Berlin, Heidelberg. doi: 10.1007/978-3-642-31063-8_17
- Jäntti, M., Cater-Steel, A., & Shrestha, A. (2012). Towards an improved it service desk system and processes: a case study. *International Journal on Advances in Systems and Measurements*, 5(3 & 4), 203-215. <https://research.usq.edu.au/item/q1v99/towards-an-improved-it-service-desk-system-and-processes-a-case-study>
- Jenčová, E., Koščák, P., & Koščáková, M. (2023). Dimensioning the Optimal Number of Parallel Service Desks in the Passenger Handling Process at Airports Considered as a Queueing System—Case Study. *Aerospace*, 10(1), 50.
- Joustra, P. E., & Van Dijk, N. M. (2001, December). Simulation of check-in at airports. In *Proceeding of the 2001 Winter Simulation Conference* (Cat. No. 01CH37304) (Vol. 2, pp. 1023-1028). IEEE. doi: 10.1109/WSC.2001.977409
- Kaushik, R., & Thakur, A. K. (2022) A Brief Review on IoT, its Applications, Challenges & Future Aspects in Aviation Industry. *International Journal of Current Science*. 12(2) 909-914.
- Kıyıldi, R. K., & Karasahin, M. (2008). The capacity analysis of the check-in unit of Antalya Airport using the fuzzy logic method. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 42(4), 610-619. doi: 10.1016/j.tra.2008.01.004 doi: 10.1016/j.tra.2008.01.004
- Kovynyov, I., & Mikut, R. (2019). Digital technologies in airport ground operations. *NETNOMICS: economic research and electronic networking*, 20(1), 1-30.
- L'Ortye, J., Mitici, M., & Visser, H. G. (2021). Robust flight-to-gate assignment with landside capacity constraints. *Transportation Planning and Technology*, 44(4), 356-377.
- Lahtela, A., Jäntti, M., & Kaukola, J. (2010). Implementing an ITIL-based IT service management measurement system. In *2010 Fourth International Conference on Digital Society* (pp. 249-254). IEEE. doi: 10.1109/ICDS.2010.48

- Lahtela, A., Jäntti, M., & Kaukola, J. (2010, February). Implementing an ITIL-based IT service management measurement system. In *2010 Fourth International Conference on Digital Society* (pp. 249-254). IEEE. doi: 10.1109/ICDS.2010.48
- Luftman, J. (2003). Measure your business-IT alignment. *Optimize: Business execution for CIOs Magazine*, 26.
- Molina Cecchetti, M. A. (2004). Evaluating airline-transit cooperation in airport rail and remote check-in services: a strategic approach for increased ridership (*Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology*). <http://hdl.handle.net/1721.1/30042>
- Moon, H. Y., & Lee, B. Y. (2022). Self-service technologies (SSTs) in airline services: multimediating effects of flow experience and SST evaluation. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*.
- Niessinka, F., Clerca, V., Tjindinka, T., & van Vliet, H. (2005). The IT Service capability maturity model version 1.0. *CIBIT Consultants&Vrije Universiteit*, 60.
- Orhan, İ. & Orhan, G. (2020). Modelling and Managing Airport Passenger Flow: A Case of Hasan Polatkan Airport in Turkey . *International Journal of Aviation Science and Technology* , 01 (02) , 71-79 . DOI: 10.23890/IJAST.vm01is02.0204
- Park, S. U., & Lee, J. D. (2020). Analyzing Factors that Influence the Efficiency of Airport Passenger Terminal by Using AHP (Analytic Hierarchy Process) Method (Case Study of Juanda Airport—Surabaya, Indonesia). *KSCE Journal of Civil Engineering*, 24(12), 3856-3865.
- Peak, D., & Guynes, C. S. (2003). Improving information quality through IT alignment planning: A case study. *Information Systems Management*, 20(4), 22-29. doi: 10.1201/1078/43647.20.4.20030901/77289.4
- Rohloff, M. (2008). A reference process model for IT service management. *AMCIS 2008 Proceedings*, 2. <https://aisel.aisnet.org/amcis2008/2>
- Steinberg, R. A. (2014). *Implementing ITSM: From Silos to Services: Transforming the It Organization to an It Service Management Valued Partner*. Trafford Publishing.
- Suroso, H. C., & Nasution, A. H. (2020, June). Cognitive Work Analysis to Comprehend Operations in Self Check-in Counter. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 875, No. 1, p. 012058). IOP Publishing.
- Tang, C. H. (2010). A network model for airport common use check-in counter assignments. *Journal of the Operational Research Society*, 61(11), 1607-1618. doi: 10.1057/jors.2009.126
- Ueda, K., & Kurahashi, S. (2018). Agent-based self-service technology adoption model for air-travelers: Exploring best operational practices. *Frontiers in physics*, 6, 5.
- Wu, P. P. Y., & Mengersen, K. (2013). A review of models and model usage scenarios for an airport complex system. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 47, 124-140. doi: 10.1016/j.tra.2012.10.015
- Yan, S., Chang, K. C., & Tang, C. H. (2005). Minimizing inconsistencies in airport common-use checking counter assignments with a variable number of counters. *Journal of Air Transport Management*, 11(2), 107-116. doi: 10.1016/j.jairtraman.2004.09.006
- Yan, S., Tang, C. H., & Chen, M. (2004). A model and a solution algorithm for airport common use check-in counter assignments. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 38(2), 101-125. doi: 10.1016/j.tra.2003.10.001
- Yang, T. M., & Zheng, M. C. (2021). Usability of the Self-check-In Kiosk in Airports Based on Users' Behavior Mapping. In *Advances in Usability, User Experience, Wearable and Assistive Technology: Proceedings of the AHFE 2021 Virtual Conferences on Usability and User Experience, Human Factors and Wearable Technologies, Human Factors in Virtual Environments and Game Design, and Human Factors and Assistive Technology*, July 25-29, 2021, USA (pp. 994-1001). Springer International Publishing.
- Yavuz, N., Olgaç, S., Günay Aktaş, S., Mert Kantar, Y. (2020). Passenger Satisfaction in European Airports. In: Coşkun, İ., Othman, N., Aslam, M., Lew, A. (eds) *Travel and Tourism: Sustainability, Economics, and Management Issues*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7068-6_14
- Zaharia, S. E., & Pietreanu, C. V. (2018). Challenges in airport digital transformation. *Transportation research procedia*, 35, 90-99.
- Zhou, H., Hu, X. B., Zhou, J., Gu, S. H., & Wang, T. Q. (2021). A New City Air Terminal Service Mode: Urban Mobile Station for Luggage Check-in Service and Evolutionary Approach. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(7), 7281-7297.
- Zhou, Y., Anderson, R., Vakilzadian, H., Moeller, D. P., & Deutschmann, A. (2018, May). Developing a dynamic queueing model for the airport check-in process. In *2018 IEEE International Conference on Electro/Information Technology (EIT)* (pp. 0871-0876). IEEE.

Atf İçin: Kırbaş, U., Sözen, E. ve Genç, Z. (2023). Sıcak Asfalt Karışımlarında Filler Olarak Kullanılan Farklı Kireçlerin Kaplama Performansına Etkilerinin İncelenmesi. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 1043-1054.

To Cite: Kırbaş, U., Sözen, E. & Genç, Z. (2023). Investigation of the Effects of Lime Usage as Filler in Asphalt Mixture on Performance. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 1043-1054.

Sıcak Asfalt Karışımlarında Filler Olarak Kullanılan Farklı Kireçlerin Kaplama Performansına Etkilerinin İncelenmesi

Ufuk KIRBAŞ^{1*}, Eray SÖZEN², Zafer GENÇ²

Öne Çıkanlar:

- Üstyapı performansına farklı sönmüş kireçlerin etkileri

Anahtar Kelimeler:

- Kireç
- Sıcak Asfalt Karışım
- Stabilitate

ÖZET:

Çalışmada, sıcak karışım asfaltlarda filler yerine üç farklı menşei kirecin belirli oranlarda karışımda kullanımının etkileri araştırılmıştır. Samsun ili Kavak ilçesinde bulunan ocaklardan üretilen üç farklı sönmüş toz kirecin, sıcak asfalt karışımlarında farklı oranlarda filler olarak kullanılması durumunda karışımın performans değişimleri incelenmiştir. Çalışmada sıcak karışım asfalt numuneleri, kireçsiz numunelerin yanında karışım içerisindeki filler miktarı %0.5, %1, %1.5, %2 oranlarında azaltılarak yerine aynı miktarda temin edilen üç farklı menşei kireç ilave edilerek hazırlanmıştır. Ardından, su hasarının sıcak karışım asfaltın performansına etkilerini karşılaştırmak ve araştırmak için aynı numune grubu tekrar üretilerek AASHTO T 283 standardına göre koşullandırılmıştır. Marshall stabilite ve akma değerlerine göre her iki grup numunenin sonuçları karşılaştırılmıştır. Yapılan analizlerde her iki durumda da CaO ve MgO toplamının Karayolları Teknik Şartnamesinde (KTS) önerilen %90 eşliğinden büyük olmasının ve SO₃'ün KTS'de önerilen %2 eşliğinden küçük olmasının üstyapı performansını artırır şekilde etkili olduğu tespit edilmiştir.

Investigation of the Effects of Lime Usage as Filler in Asphalt Mixture on Performance

Highlights:

- Effects of different limes on pavement performance

Keywords:

- Lime
- Hot Mix Asphalt
- Stability

ABSTRACT:

This study investigated the effects of using lime of three different origins in the mixture in specific proportions instead of fillers in hot mix asphalts. The performance changes of the mixture were investigated when three different hydrated powdered limes produced from the quarries in the Kavak district of Samsun were used as fillers to varying rates in the hot asphalt mixtures. In the study, hot mix asphalt samples were prepared by reducing the amount of filler in the mixture by 0.5%, 1%, 1.5%, and 2%, as well as lime-free samples, by adding lime of three different origins, which were supplied in the same amount. Then, the same sample group was reproduced and conditioned according to the AASHTO T 283 standard to compare and investigate the effects of water damage on the performance of the hot mix asphalt. The results of both groups of samples were compared according to Marshall stability and flow values. In the analyses made, it has been determined that the sum of CaO and MgO is greater than the 90% threshold recommended in the Highways Technical Specification (HTS), and the SO₃ is less than the 2% threshold recommended in the HTS are effective in increasing the pavement performance in both cases.

¹ Ufuk KIRBAŞ ([Orcid ID: 0000-0002-2389-425X](https://orcid.org/0000-0002-2389-425X)), Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fak. İnşaat Müh. Böl., Kurupelit kampüsü, Samsun, Türkiye

² Eray SÖZEN ([Orcid ID: 0000-0002-3614-1097](https://orcid.org/0000-0002-3614-1097)), Zafer GENÇ ([Orcid ID: 0000-0002-3590-9105](https://orcid.org/0000-0002-3590-9105)), Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kurupelit kampüsü, Samsun, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Ufuk KIRBAŞ, e-mail: ufuk.kirbas@omu.edu.tr

GİRİŞ

Esnek üstyapılar, yol kullanıcıları için gerekli olan sürüş konforu ve güvenliğini sağlayan, trafik yükleri, iklim vb. sebeplerden meydana gelen gerilmelere karşı yeterli dayanıma sahip olacak şekilde tasarlanan çok katmanlı ulaştırma yapılarıdır. Esnek üstyapılarda asfalt tabakasının performans ve stabilitesi kullanılan malzeme ile doğrudan ilişkilidir. Esnek üstyapılarda kullanılacak olan malzemelerin özelliklerinin bilinmesi üstyapının hizmet ömrü açısından oldukça önemlidir (Tunç, 2004). Sönmüş kireç, asfalt karışımlarında soyulma önleyici katkı maddesi olarak uzun bir kullanım geçmişine sahiptir. Uygun kimyasal ve fiziksel özelliklerinden dolayı çeşitli bozulma türlerini önlemede ve istenen şekilde etkili olduğu ve ayrıca bazı avantajlara sahip olduğu bilinmektedir. Yapılan çalışmalarda, sıcak asfalt karışımlarında farklı sıcaklıklarda farklı oranlarda sönmüş kireç eklenmesinin dinamik modülü %17-65 oranında arttırılabildiği tespit edilmiştir (Rasouli ve ark., 2018).

Söndürülmüş ve öğütülmüş kireç katkısı muhtelif şekillerde esnek üstyapıların karışım harcına katılan ve fillerden farklı olarak kimyasal olarak aktif olan bir maddedir. Aynı zamanda kireç asfalt elementinin polar molekülleriyle reaksiyon oluşturarak soyulma türü bozulmaların önlenmesinde etkili bir çözüm olmaktadır. Asfaltın molekülleri sönmüş kireçle girdikleri reaksiyon neticesinde suda çözünmeyen ve su ile temas kurmayan tuz kristalleri oluştururlar (Petersen ve ark., 1987; Yalçın, 2014). Yapılan çalışmalardan sıcak asfalt karışım içerisinde sönmüş kireç partiküllerinin dağılması ile karışımın rijitliğinin arttırılabildiği anlaşılmaktadır (Rasouli ve ark., 2018). Sönmüş kireç karışım içerisinde bitüm ve agrega arasındaki bağların güçlenmesine yardımcı olarak su etkilerine maruz kalınan bir ortamda dahi bu özelliğini korumaktadır. Kireç kimyasal ifadeyle güçlü bir alkali malzeme olmakla birlikte asidik ya da bazik bir ortamda nütürleştirme sağlamaya yardımcı olmaktadır. Reaksiyon sırasında kirecin bünyesinde bulunan kalsiyum agreganın yüzeyinde bulunan hidrojen, sodyum ve potasyum molekülleri ile yer değiştirme eğilimindedir. Reaksiyon sonucunda oluşan bu kalsiyum yönünden zengin olan ortam organik kökenli asidik moleküllerle tepkime oluşturarak rutubetli ortamlara karşı diğer bir deyişle yalıtılmış yüzeylerin oluşmasına vesile olurlar. Yapılan bazı çalışmalarda sıcak asfalt karışımına %1-2 oranında sönmüş kireç ilavesinin, karışımının dayanıklılığını %25-50 oranında arttırdığı tespit edilmiştir (Şengül, 2006; Crandall and Finke, 1961).

Üstyapılardaki iki temel geri döndürülemez bozulma türü yorulma çatlama ve kalıcı deformasyondur. Esnek üstyapılarda maruz kalınan tekrarlanan trafik yükleri ve sıcaklık dalgalanmaları kendini bir seri halinde çatlama şeklinde gösterir. Yorulma direnci üzerine yapılan çalışmalarda sönmüş kireçli asfalt karışımlarının yorulma direncinin %77'sinde performans iyileşmesi sağlandığı bilinmektedir (Şengül, 2006). Kireç katkısı asfalt karışımlarında mineral dolgu görevi görür ve asfalt bağlayıcıyı sertleştirir. Ayrıca kirecin düşük sıcaklıklarda kırılma büyümesine karşı direnci nem stabilitesini ve dayanıklılığı arttırdığına dair tespitler literatürde yer almaktadır (Rasouli ve ark., 2018). Öte yandan araştırmacılar tarafından, agrega-asfalt bağına geliştirerek asfaltı nem etkilerine karşı daha az hassas hale getirdiği ve tekerlek izi direncini arttırdığı vurgulanmaktadır (Ogundipe, 2016; EuLA, 2010). Tekerlek izi veya kalıcı deformasyonların azaltılabilmesi için agrega ve bağlayıcı özelliklerinin bilinmesinin yanı sıra karışımın özelliklerinin de bilinmesi gerekmektedir. Kalıcı deformasyonlar yalın haliyle genellikle Marshall oranı yaklaşımı ile sayısal olarak ifade edilebilmektedirler (Turan, 2012; Gupta and Bellary, 2018).

Asfalt kaplamaların performansını nem ve sıcaklık oldukça etkilemektedir. Üstyapılarda görülen nem hasarı etkilerinin asfalt betonuna giren suyun sıyrılma etkisi ile ortaya çıktığı ve asfalt bağlayıcı ile agrega arasındaki kuvveti yok ettiği varsayılmaktadır. Bu durum üstyapıda bozulmalara neden olmaktadır (Ogundipe, 2016). Bunu önlemek için sönmüş kireç katkılı karışım kullanılması, fiziko-

kimyasal bağı arttırarak bitüm ve yüzey gerilimini azaltır ve asfalt kaplamanın performansını iyileştirmede yardımcı olmaktadır (Mohan and Obaid, 2014). Sürekli nem koşullarına ve yoğun trafik yüküne maruz kalan bitümlü sıcak karışımlar (BSK) genellikle bu nedenlerden dolayı hızlı bozulmaktadırlar. Asfalt karışımlarında sönmüş kireç kullanımı, nem hasarını önlemek ve azaltmak için oldukça etkili bir yöntemdir. Söndürülmüş kireç içeren karışımlar üzerinde yapılan araştırmalarda, geleneksel karışıma oranla %20 ila %25'e kadar daha fazla dayanım elde edilebildiği ispatlanmıştır (Kavussi and Bakhtiari, 2014; Iwański and Mazurek, 2013). BSK kaplamalarda filler yerine kireç katkısı kullanılan ve sonuç değer üzerindeki kazanım oranları incelenen bazı çalışmalar Çizelge 1'de özetlenmiştir.

Çizelge 1. Sıcak asfalt performansını sönmüş kireç ilavesi açısından değerlendiren bazı çalışmalar

Yazar	Kullandığı Kireç Oranı (%)	Performans Göstergesi	Ortalama Performans Artışı (%)
Kavussi vd., 2014	0-1-1.5-2	Stabilite, indirekt çekme dayanımı, Nem hasarı ve yüksek sıcaklık	66
Yalçın, 2014	2	Nem hasarı, indirekt çekme rijitlik modülü, tekerlek izi, indirekt çekme yorulma	87
Turan, 2012	2-4	Polimer modifiye bitüm katkısı (SBS) ve Marshall Oranı	14
Şengül, 2006	2-4-6	Nem hasarı, Marshall oranı, tekerlek izi	48
Rasouli vd., 2018	1-1.5-2	Dört noktalı eğilme yorulma	35
Ogundipe, 2016	10	Marshall stabilite ve akma	5
Mohan vd., 2014	0-0.5-1-1.5-2-2.5	İndirekt çekme, Marshall stabilite, çekme mukavemeti	30
Gupta vd., 2018	1-2	İndirekt çekme ve çekme mukavemeti	10
Bouron vd., 2021	0-0.5-1.5	Uzun dönem karşılaştırma, İndirekt çekme ve çekme mukavemeti	42
Wei vd., 2022	0-2.5	Farklı iklim senaryolarında yorulma ömrü	13

Yapılan çalışmalarda görüldüğü üzere, literatürde çok sayıda çalışmada kirecin kaplama performansını arttırdığı bilgisi yer almaktadır. Bunun yanında, farklı kireçlerin performans üzerindeki etkilerinin karşılaştırıldığı çalışmaların literatürde eksikliği açıkça görülmektedir. Çalışmada, bu eksikliğe katkı sağlamak amacıyla, sıcak asfalt karışımlarına filler malzemesi azaltılarak yerine aynı oranda (%0.5, %1, %1.5, %2) üç farklı kökene sahip kireç katılması hedeflenmiştir. Bu yöntemle üretilen sıcak asfalt karışımları su hasarlarını betimleyen şekilde koşullandırılmış ve koşullandırılmamış numuneler üretilmiştir. Üretilen ve koşullandırılan numunelere ASTM D6927-15 standardına göre performans testleri uygulanmış ve Marshall oranı (stabilite/akma) değeri üzerinden sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

MATERYAL VE METOT

Çalışmada, farklı kireç katkısı türlerinin performans üzerindeki etkisinin daha net anlaşılması için performansının en yüksek olması beklenen aşınma tabakası tasarımı dikkate alınarak deneysel karşılaştırmalar yapılmıştır. Üretilen numunelerde agrega gradasyonu olarak Karayolları Teknik Şartnamesinde (KTŞ) detaylıca açıklanan Tip 1 sınır değerleri kabul edilmiştir.

Kireç yol zemin inşaatlarında ve asfalt yapımında aşınmaya karşı katkı maddesi olarak pek çok alanda kullanılmaktadır. Yüzey alanı sönmüş kirecin en önemli özelliğidir. Yüzey alanı kireçlerin aktivite tayini açısından en güvenilir ölçülerden birisidir. Kirecin m² /g cinsinden ölçülen alanı ne kadar büyükse aktivitesi de o kadar fazla olmaktadır. Yüzey alanı büyük olan kirecin çökme hızı, plastisite, emme kapasitesi vb. fiziksel özellikleri oldukça iyidir. (Kılıç ve Anıl, 2006).

Sıcak karışım asfaltın aşınma tabakası için fillerin literatürde yer alan çalışmaların ışığında ve KTŞ'nin soyulma önleyici olarak kullanılması durumunda tavsiye ettiği aralıkları dikkate alarak seçilen %0.5, %1, %1.5 ve %2 oranlarında azaltılması ve aynı oranda Samsun ili Kavak ilçesinde

üretilmiş olan üç ayrı marka (A, K, D) kirecin eklenmesiyle ayrı ayrı numuneler hazırlanmıştır. Böylece azaltılan oranda eklenen kireç katkıları arasında oluşacak performans farklarının ve geleneksel sıcak karışım asfalta kireç katkısının etkileri incelenmiştir.

Agrega

Çalışmada kullanılan agrega, Samsun ili Kavak ilçesinden temin edilmiştir. TİP-1 aşınma tabakası için kullanılan agreganın gradasyonu Çizelge 2’de yer almaktadır. Sıcak asfalt karışımı için kullanılacak olan agrega üzerinde Los Angeles aşınma deneyi, tane yoğunluğu ve su emme tayini deneyleri yapılmıştır. Agreganın elek analizi TS EN 1097/1367/933’e göre yapılmıştır. Karışımda kullanılan agreganın özellikleri ve özellikleri belirlemede kullanılan standartlar Çizelge 3’de özetlenmiştir.

Çizelge 2. Sıcak asfalt karışımında kullanılan agreganın gradasyon değerleri

Elek Boyu Mm (in, No)	Karışım Yüzde Geçen	KTŞ TİP-1 Aşınma Tabakası Limitleri
19 (3/4")	100	100
12.5 (1/2")	94	88-100
9.5 (3/8")	81	72-90
6.0 (1/4")	-	-
4.75 (No.4)	47	42-52
2.00 (No.10)	30	25-35
0.425 (No.40)	15	10-20
0.180 (No.80)	10.5	7-14
0.075 (No.200)	5.5	3-8

Çizelge 3. Sıcak asfalt karışımında kullanılan agreganın özellikleri

Agrega Özellikleri	Kullanılan Standart	Değer	KTŞ Aşınma Tabakası Limitleri
Yassılık İndeksi	EN 933-3	FI ₁₅	FI ₂₀ (≤20)
Parçalanma Kırılma Direnci	EN 1907-2	LA ₂₄	LA ₂₇ (≤27)
Donma/Çözünme Direnci	EN 1367-2	MS ₁₈	MS ₁₈
Su Emme Oranı (Kaba)	EN 1097-6	%0.33	WA ₂₄ (≤2.0)
Su Emme Oranı (İnce)	EN 1097-6	%0.44	WA ₂₄ (≤2.0)
Görünür Tane Yoğunluğu (Kaba) (t/m ³)	EN 1097-6	2.720	-
Görünür Tane Yoğunluğu (İnce) (t/m ³)	EN 1097-6	2.695	-
Görünür Tane Yoğunluğu (Filler) (t/m ³)	EN 1097-6	2.726	-

Bitüm

Çalışmada kullanılan bitüm Samsun Karayolları 7. Bölge Müdürlüğü Bitüm Depo Şefliği’nden temin edilmiştir. Kullanılan bitümün kıvamlılığı 50/70 penetrasyondur. Laboratuvar ortamında kullanılacak bitümün özelliklerinin tayini için TS’ye göre özgül ağırlık tayini, penetrasyon ve yumuşama noktası deneyleri yapılmıştır. Kullanılan bitüm bağlayıcının özellikleri Çizelge 4’de görülmektedir.

Çizelge 4. Bitüm bağlayıcının (50/70 penetrasyonlu) özellikleri

Deney	Sınır	Standart	Birim	Değer	KTŞ Limitleri
Özgül Ağırlık		TS EN 1536+A1	g/cm ³	1.0222	-
Yumuşama Noktası		TS EN 1427	°C	49.5	43-51
Penetrasyon		TS EN 1426	0.1 mm	53	50-70
Parlama Noktası	En az	TS EN ISO 2592	°C	230	230

Sönmüş Kireç

Uygun fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle özellikle asfalt kaplamaların aşınma tabakasında oluşan bozulmaları geciktirmesi ve performansı olumlu yönde arttırması için sıcak asfalt karışımına eklenecek olan kirecin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 5’de yer almaktadır.

Çizelge 5. A, K ve D marka kirecin fiziksel ve kimyasal özellikleri

	Analiz Değerleri	A Marka (%)	K Marka (%)	D Marka (%)
Kimyasal	Ca(OH) ₂	≥ 84	≥ 80	≥ 82
	Toplam CaO + MgO	≥ 87	≥ 85	≥ 95
	MgO	1-3	≤ 2	≤ 1
	SO ₃	≤ 0.90	≤ 2	≤ 1
Fiziksel	200 no'lu (Elek üstü)	≤ 0.3	≤ 2	≤ 2
	90 no'lu (Elek üstü)	≤ 1.3	≤ 4	≤ 6
	Birim Hacim Kütlesi (kg/dm ³)	≤ 0.53	≤ 0.6	≤ 0.6

Marshall Tasarımı ve Koşullandırma

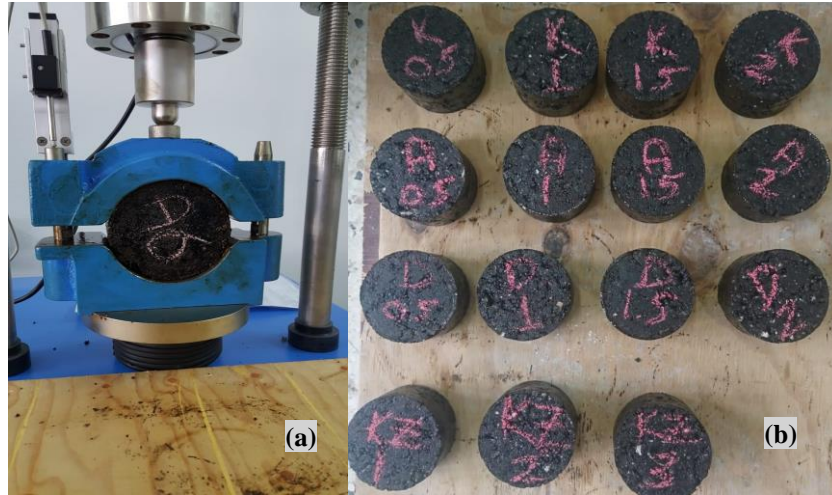
Çalışmada gradasyonu belirli bir agregaya konulacak bitümün optimum miktarının belirlenmesinde Marshall tasarım yaklaşımı kullanılmıştır. Ayrıca Marshall, farklı karışım tasarımlarının ve koşullandırma etkilerinin (su hasarı vb.) göreceli olarak değerlendirilmesinde de kullanılabilir (ASTM, 2006).

Literatürdeki çok sayıda çalışmada kirecin karışıma etkisini belirlemek için sonuçların daha belirgin hale gelmesi adına bazalt kökenli agregaya kullandığı bilinmektedir. Bununla beraber ülkemizde çok sayıda bölgede (Örneğin Orta Karadeniz bölgesi) bazalt kökenli agregayı temin ederek yol üstü yapısı imalatı yapmak ekonomiklikten çok uzaktır. Bölgenin genel jeolojik yapısı sıklıkla agregaya ocağı olarak kireç taşı ocaklarında üretim yapmayı zorunlu hale getirmektedir. Ülkemizde herhangi bir bölgede üretilen agreganın zorunlu ekonomik nedenlerle kireç taşı kökenli agregaya olarak kullanılması durumunda sönmüş kirecin karışım performansına etkisini belirlemek, uygulamada görev alan mühendisler karar verme noktasında bir ışık tutacağı öngörülerek çalışmada kireç taşı kökenli agregaya kullanılmıştır.

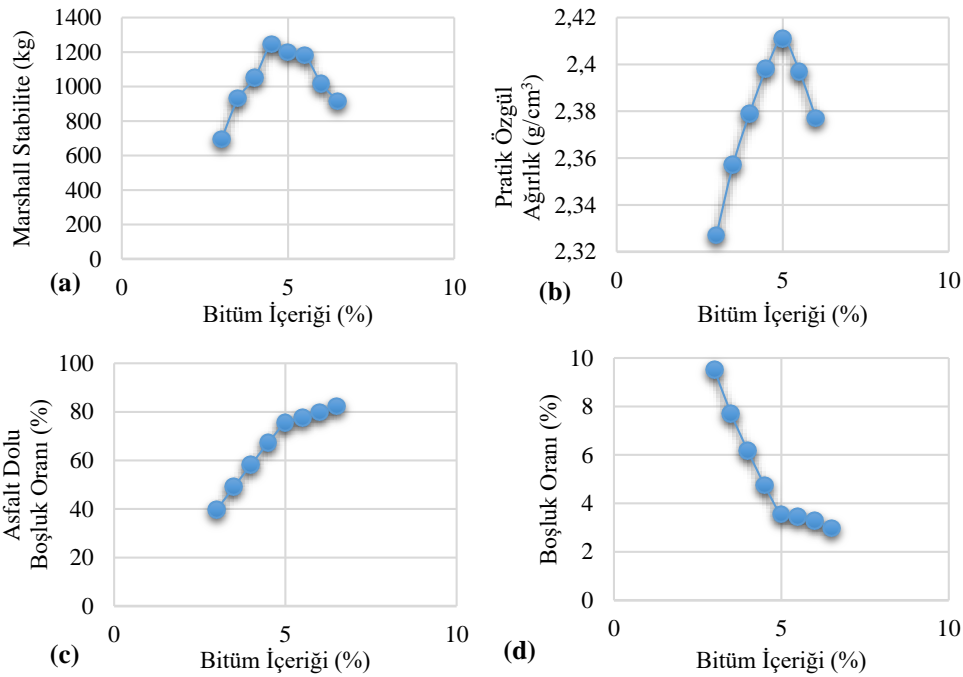
DeneySEL çalışmalara KTŞ'de aşınma tabakası için önerilen Tip 1 agregaya gradasyonuna uygun kireç kökenli agreganın ihtiyaç duyduğu optimum bitüm muhtevası belirlenerek başlanmıştır (ASTM, 2006). Agregaya karışımına yüze %3, %3.5, %4, %4.5, %5, %5.5, %6, %6.5 şeklinde oranlarında bitüm katmak suretiyle her bir bitüm yüzdesi için 3'er adet olmak üzere toplamda 24 adet briket üretilmiştir. Akabinde numunelerin standardın tavsiye ettiği şekilde boşluk oranları, stabilite ve akma değerleri okunmuştur. DeneySEL çalışmayı yansıtan görseller Şekil 1'de sunulmaktadır.

Farklı bitüm yüzdelerinde hazırlanmış olan numunelerin Şekil 2'de verilen grafikleri çizildikten sonra maksimum stabilite değerini veren bitüm yüzdesi, maksimum birim hacim ağırlığı veren bitüm yüzdesi, bitüm ile dolu agregaya boşluğunun %65-75 olduğu bitüm yüzdesi ve %4 boşluk yüzdesini sağlayan bitüm yüzdesi değerlerinin ortalaması alınarak sıcak asfalt karışımında kullanılacak olan optimum bitüm oranı belirlenmiştir (Umar ve Açar, 1991). Farklı bitüm yüzdelerinde yapılan bu hesaplamalar ile sıcak asfalt karışımı için optimum bitüm oranı yüzde 4.8 olarak bulunmuştur.

Marshall stabilitesi ile optimum bitüm oranının elde edilmesinin ardından koşullandırma için optimum bitüm oranı kullanılarak 3 adet kireç katkısız ve %0.5, %1, %1.5 ve %2 oranlarında her bir marka (A, K, D) kireç için üçer adet olmak üzere 24 adet briket daha üretilmiştir. Çizelge 6'da kireçsiz, kireçli koşullandırılmamış ve koşullandırılmış tüm numunelerin ortalama tartım, yoğunluk ve boşluk değerleri yer almaktadır.



Şekil 1. Marshall stabilite deney aleti (a) ve briketler (b)



Şekil 2. Marshall stabilite (a), pratik özgül ağırlık (b), asfaltla dolu boşluk oranı (c) ve boşluk oranı-bitüm ilişkisi (d)

Çizelge 6. Kireçsiz, koşullandırılmamış ve koşullandırılmış numunelerin ortalama tartım, yoğunluk ve boşluk değerleri

Numune Türü	D_p (gr/cm ³)	D_t (gr/cm ³)	V_h (%)	VMA (%)	V_f (%)
Kireçsiz	2.419	2.507	3.51	14.01	74.9
A	2.417	2.507	3.59	14.08	74.5
A*	2.425	2.507	3.28	13.80	76.2
K	2.409	2.507	3.91	14.36	72.8
K*	2.410	2.507	3.88	14.33	72.9
D	2.391	2.507	4.63	15.00	69.2
D*	2.414	2.507	3.69	14.16	74.0

* Koşullandırılmış numune

Karışımların performansına su hasarının etkisinin belirlenmesi amacıyla AASHTO T 283 standardında açıklandığı şekliyle üç farklı menşeli kireç ile hazırlanan karışımlar su hasarını betimlediği varsayılan koşullamaya tabi tutulmuştur. Literatürdeki çalışmalarda su hasarı verilen numunelerin arasındaki farkları daha açık görebilmek amacıyla koşullandırma sonrasında numunelere performans açısından daha zayıf oldukları dolaylı çekme testi uygulandığı bilinmektedir. Bununla

beraber, bu çalışmada yol üstyapısı kaplama tabakaları gibi plak tabakaların daha çok maruz kaldığı basınca karşı performans değişimleri değerlendirilerek analizlerde göreceli olarak farkların daha az olduğu ama birçok bozulma türünün mekanizmasını temsil edebilen parametreler tercih edilmiştir. Karışımda filler yerine dört farklı oranda kireç ilavesi ile oluşturulan koşullandırılmamış ve su hasarını belirlemek için koşullandırılmış numuneler Marshall stabilite cihazında kırılarak stabilite ve akma değerleri okunmuştur.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada üretilen numunelerin yapısal dayanımları Marshall stabilite ve akma testi aracılığıyla değerlendirilmiştir. Bilindiği üzere, Marshall stabilitesi değerinin bitümlü malzemelerin burulma, yer değiştirme, tekerlek izi ve kayma gerilmelerine karşı mekanik direncini betimleyebildiği varsayılmaktadır (Tunç, 2004). Stabilite esas olarak iç sürtünme ve kohezyondan elde edilmektedir. Bu ifadede iç sürtünme, agregaların birbirine kenetlenme ve sürtünme direncini temsil etmektedir. Kohezyon ise bağlayıcı olarak kullanılan bitümün yapış(tır)ma kuvvetini ifade etmektedir. Çalışmada dikkate alınan farklı kireç katkılarının teorik olarak gradasyonda agregalar arasında kenetlenmeyi arttırıcı etki sağlaması beklendiğinden dolayı başarımlı değerlendirmede Marshall stabilite deneyinin belirleyici bir analiz olduğu açıktır.

Yapılan analizler ve değerlendirmeler sonucu elde edilen sonuçlar koşullandırılmamış durum için Çizelge 7’de ve koşullandırılmış durum için Çizelge 8’de gösterilmektedir. Deney sonuçları incelendiğinde kireç katkılı tüm numunelerde kireç oranı arttıkça akma miktarının azaldığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlardan anlaşılacağı üzere kireç katkısı ile sıkışan karışımın agrega kenetlenmesinde artış meydana gelmektedir. A ve D kireç katkılarında kireç oranının artışı ile stabilite ve akma değerlerinde çok önemli değişimler olmamaktadır. Fakat koşullandırılmamış durumda K kireci için stabilite ve akma değeri kireç oranı arttıkça daha da düştüğünden dolayı karışıma olumlu katkısının bulunmadığı görülmektedir. Kireç katkılı ve katkısız numunelerin stabilite değerleri karşılaştırıldığında K kirecinde tüm kireç oranlarında kireçsiz numuneye göre stabilite ve akma değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir. Öte yandan, D kireç katkılı briketlerde kireç oranı arttıkça Marshall stabilite değerinin arttığı ve plastik akma direncinin yükseldiği tespit edilmiştir.

Çizelge 7. Koşullandırılmamış A, K ve D kireçli ve kireçsiz numunelerin ortalama stabilite ve akma değerleri

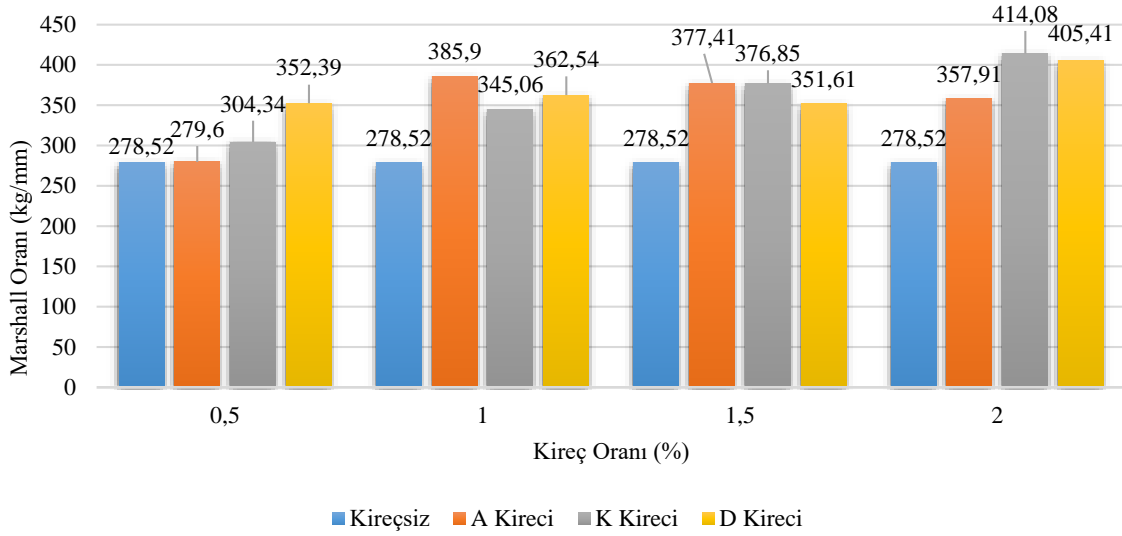
Kireç Oranı (%)	A Kireci		K Kireci		D Kireci	
	Marshall Stabilite (kg)	Akma (mm)	Marshall Stabilite (kg)	Akma (mm)	Marshall Stabilite (kg)	Akma (mm)
Kireçsiz	1245	4.47	1245	4.47	1245	4.47
0.5	1247	4.46	1193	3.92	1251	3.55
1	1204	3.12	1118	3.24	1258	3.47
1.5	1253	3.32	1172	3.11	1308	3.72
2	1199	3.35	1176	2.84	1350	3.33

Çizelge 8’de yer alan koşullandırılmış kireçli ve kireçsiz numunelerin stabilite değerleri karşılaştırıldığında ise en yüksek stabilite değerini %1.5 oranında A kirecinde olduğunu görülmektedir. Benzer şekilde D kirecinin de %0.5 oranında sıcak karışıma eklenmesinin stabilizeyi arttırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca sıcak asfalt karışımına düşük oranlarda A kireci ilavesinin akma değerini düşürdüğü dolayısıyla içsel sürtünmeyi arttırdığı tespit edilmiştir. Koşullandırılmamış ve koşullandırılmış numunelerin Marshall Oranı (Stabilite/Akma) değerleri sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4’de görülmektedir. Şekil 3 ve Şekil 4’e bakıldığında özellikle %0.5 oranında A kireci içeren numunelerin koşullandırma sonra Marshall oranında diğer yüzde oranındaki kireçli numunelere göre %52.1’lik bir artış ile basınç dayanımının yükselmesi bakımından en yüksek değeri vermiştir.

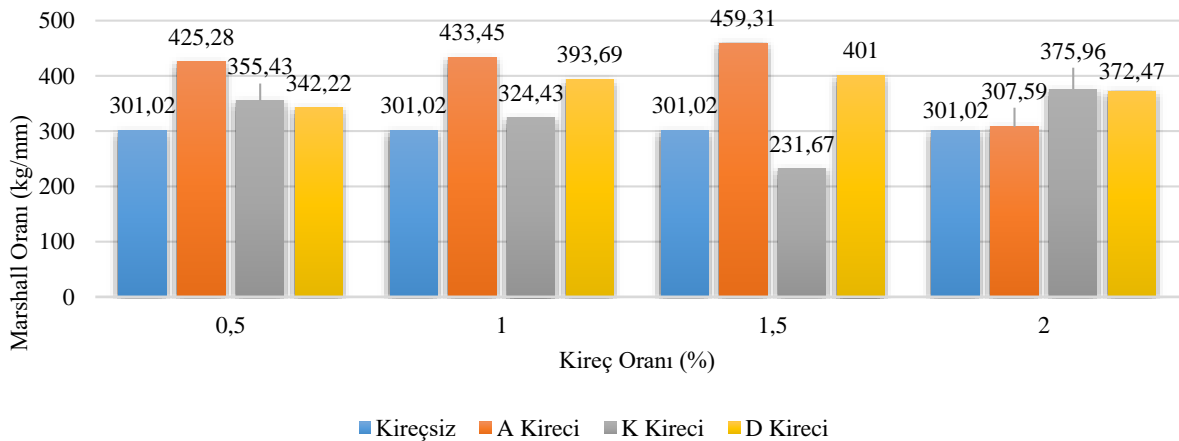
Çizelge 8. Koşullandırılmış A, K ve D kireçli ve kireçsiz numunelerin ortalama stabilite ve akma değerleri

Kireç Oranı (%)	A Kireci		K Kireci		D Kireci	
	Marshall Stabilite (kg)	Akma (mm)	Marshall Stabilite (kg)	Akma (mm)	Marshall Stabilite (kg)	Akma (mm)
Kireçsiz	1186	3.94	1186	3.94	1186	3.94
0.5	1127	2.65	1244	3.50	1297	3.79
1	1257	2.90	1142	3.52	1185	3.01
1.5	1332	2.90	1251	5.40	1207	3.01
2	1175	3.82	1267	3.37	1177	3.16

Akma değerlerin bakıldığında ise D kirecinin %1 ve %1.5 oranlarında yaklaşık %20-23 mertebesinde düşüş tespit edilmiştir. Buradan anlaşılacağı gibi D kirecinin filler yerine %1 ve %1.5 oranının da sıcak asfalt karışımına ilavesinin ardından koşullandırmaya maruz kalması D kirecinin Marshall oranını (stabilite/akma) Şekil 3 ve Şekil 4’de görüldüğü gibi arttırmıştır. Bu da basınca daha dayanıklı bir asfalt karışımı elde edildiğini göstermektedir. Buradan anlaşılacağı gibi sıcak asfalt karışımına düşük oranlarda A kirecinin ilave edilmesi koşullandırma sonrası performansı artırırken D kirecinde ise yüksek oranlarda ilave edilmesi ile asfalt performansının arttığı tespit edilmiştir.

**Şekil 3.** Koşullandırılmamış Numunelerin Marshall Oranı (Stabilite/Akma)

Son olarak %1.5 oranında K kireci ilavesinin koşullandırma sonrası Marshall oranı bakımından %38.5’lik düşüşü diğer marka ve kireç oranlarına göre en yüksek basınç dayanımı kaybını gösterdiği yine Şekil 3 ve Şekil 4’den anlaşılmaktadır.

**Şekil 4.** Koşullandırılmış Numunelerin Marshall Oranı (Stabilite/Akma)

Tüm %2 kireçli numunelerde koşullandırma öncesi ve sonrası Marshall oranlarına bakıldığında A kireci için %16.36, K kireci için %10.14 ve D kireci için %8.84'lük performans kaybı görülmektedir. Ayrıca kirecsiz, koşullandırılmamış ve koşullandırılmış kireçli numunelerin Marshall oranları Şekil 3 ve Şekil 4'de karşılaştırıldığında sıcak asfalt karışımına sönmüş toz kireç ilavesinin asfalt karışımının basınç dayanımını ve performansını ortalama % 4 oranında artırdığı tespit edilmiştir.

Elde edilen sonuçlardan sıcak asfalt karışımlar üzerinde her kireç katkısının aynı fiziksel performans etkilerini ortaya çıkarmadığı açıkça görülmektedir. Kirecsiz ve artan oranlarda kireç katkıları değişimi sırasıyla Marshall oranı değerleri incelendiğinde A kireci kullanımında kireç katkısı ile koşullandırılmamış durumda tüm kireç katkı oranlarında ortalama performans artışı %25.7 olurken, koşullandırılmış durumda ise bu oran %45.9'a yükselmektedir. K kireci kullanımında bu değişim koşullandırılmamış durumda %29.3 olurken, koşullandırılmış durumda %15.6 olmaktadır. D kireci kullanımında ise kireç katkısı ile performans artışı koşullandırılmamış durumda %32.1 olurken koşullandırılmış durumda %35.5 olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu değişimler Çizelge 9'da görülmektedir. Çizelge 9 incelendiğinde A kirecinin koşullandırılmış durumda performansı daha başarılı olarak arttırdığı, K kirecinin ise koşullandırılmamış durumda performansı daha başarılı olarak arttırdığı görülmektedir. Buna karşın D kirecinin ise koşullandırılmış ve koşullandırılmamış her iki durumda benzer etkileri ortaya çıkardığı görülmektedir.

Çizelge 9. Kireç katkısı artışı (%0.5 - %2 aralığında) ile Marshall oranı performans artışları

	Koşullandırılmamış durum	Koşullandırılmış durum
A Kireci	% 25.7	% 45.9
K Kireci	% 29.3	% 15.6
D Kireci	% 32.1	% 35.5

Bununla beraber deneyimlerden kireç markalarının kimyasal ve fiziksel özelliklerinin bu değişimler üzerinde etkili olabileceği anlaşılmaktadır. Buna istinaden kullanılan kireçlerin fiziksel ve kimyasal yapısını dikkate alarak sonuçlar irdelenmiştir. Su hasarını betimler şeklinde koşullandırılmış durumda kullanılan kirecin kimyasal özelliklerden minimum Ca(OH)₂ oranının yüksek oluşunun ve maksimum SO₃ oranının düşük oluşunun performansı artırır şekilde etkili olduğu anlaşılmaktadır. Öte yandan kirecin fiziksel özelliklerinden 200 no'lu, ve 90 no'lu elek üstü malzeme oranının az olmasının ve birim hacim kütesinin göreceli olarak küçük olmasının koşullandırılmış durumda üstyapı performansını artırır yönde etki ettiği görülmektedir. Yapılan analizlerde her iki durumda da CaO ve MgO toplamının Karayolları Teknik Şartnamesinde (KTŞ) önerilen %90 eşiğinden büyük olmasının ve SO₃'ün KTŞ'de önerilen %2 eşiğinden küçük olmasının üstyapı performansını artırır şekilde etkili olduğu tespit edilmiştir.

Çalışma literatürde daha önceden yer alan çalışmalar ile karşılıklı olarak da değerlendirilmiştir. Kavussi ve Bakhtiari (2014) tek bir kireç katkısı ile yaptıkları çalışmalarında %1, %1.5 ve %2 kireç oranlarını değerlendirdikleri ve Marshall oranı değişimine göre kireç katkısı ile ortalama %22 performans artışı sağlandığı anlaşılmaktadır. Yalçın (2014) çalışmasında %2 oranında yine tek bir kireç katkısı ile yaptığı değerlendirmede, muhtelif modifiye bitüm kıyaslamaları yaptığında Marshall oranında %16 civarında performans artışları olduğunu kayda geçirmiştir. Turan (2012) çalışmasında modifiyesiz ve SBS modifiyeli bitümleri kullanarak %2 ve %4 oranlarında tek bir kireç katkısı ile Marshall oranı değişimlerini değerlendirmiştir. 100 ve 150 mm çaplı standart numunelerde değişim dikkate alındığında %4 kireç katkısı ve SBS modifiyeli bitüm kullanımında ortalama % 25 oranında iyileştirmenin sağlandığı saptanmıştır. Yapılan bu çalışma ile örtüşmesi açısından Marshall oranı parametresi açısından kıyaslama yapıldığında kireç katkısının literatürde yer alan çalışmalara benzer oranlarda iyileştirme sağladığı diğer bir deyişle Marshall oranı parametresinin literatür ile örtüştüğü

söylenilmektedir. Bu çalışmanın literatüre kattığı yenilik, benzer coğrafyada temin edilen hammadde ile üretilmesine rağmen farklı deneysel karakteristiklere sahip kireçlerin, asfaltın basınç dayanımı üzerinde farklılıklara sebep olduğunu gerçeğini vurgulamaktır. Bu literatür karşılaştırmasında vurgulanan iyileştirme değerleri Marshall oranı parametresi açısından değerlendirilmiştir. Öte yandan Çizelge 1’de verilen başarımların değerleri tüm performans değişimlerini dikkate alarak belirlenen ortalama iyileştirmeleri yansıtmaktadır. Okuyucuların bu farkı dikkate alarak değerlendirme yapması anlamlı olacaktır.

SONUÇ

Bu çalışmada geleneksel sıcak asfalt karışımlarına Samsun ili Kavak ilçesinde üretilen ve fabrikalardan temin edilen üç farklı sönmüş toz kireç katkısının Marshall stabilitesine göre basınç yönünden performans değişimleri irdelenmiştir. Sıcak asfalt karışımları temsil eden numunelerin üretiminde kireç katkısız, A, K ve D kodları ile adlandırdığımız kireçlerin aynı oranlarda katılması ile oluşturulan iki grup briket hazırlanmıştır. Bir grup numuneye iklimi temsilen suyun üstyapıda oluşturduğu hasarı betimleyen AASHTO T283 standardına uygun koşullandırma uygulanmıştır. Bunun neticesinde geleneksel sıcak asfalt karışımını temsilen kireç katkısız numuneler, koşullandırılmamış kireç katkılı numuneler ve koşullandırılmış kireç katkılı numunelerin basınç dayanımını dikkate alan performans karşılaştırmaları yapılmıştır.

Koşullandırılmamış ve koşullandırılmış kireç katkılı ve kireç katkısız numunelerin Marshall oranı (stabilite/akma) yönünden değerlendirmeleri yapılmıştır. Değerlendirmelerde koşullandırılmamış kireç katkılı numunelerden %2 oranında K kireci içeren numunelerin sıcak asfalt karışımının performansını olumlu yönde artırdığı tespit edilmiştir. Öte yandan, üstyapılarda iklim etkilerini temsilen yapılan koşullandırılmış numunelerin Marshall oranlarına bakıldığında A kirecinin %0.5-1-1.5 oranlarında asfalt kaplama performansını olumlu yönde artırdığı gözlemlenmiştir. Buradan anlaşıldığı gibi koşullandırmanın kirecin karakteristiğine bağlı olarak farklı davranış sergilediği ve kireç türleri arasında Marshall oranında değişime neden olduğunu belirlenmiştir. %2 ve üzeri kireç katkılı numunelerde kireçsiz numunelere göre basınç dayanımında artış gözlemlenmesine rağmen bu artışların koşullandırma sonrası kazançtan kayıp olacak şekilde düştüğü sonucuna ulaşılmıştır.

Üstyapı performansının gözle görülür değerlendirmesi bakımından aşınma tabakasının mevcut durumu oldukça önemlidir. Aşınma tabakasında dış koşullar nedeniyle oluşan bozulmalar üstyapının ileri dönemlerdeki performansını etkilemektedir. Çalışmanın geneline bakıldığında sıcak asfalt karışımlarında filler yerine aynı oranda sönmüş toz kirecin ilavesinin asfaltın ilk yapım ve sonraki aşamaları için basınç dayanımı ve performansı olumlu yönde artırdığı gözlemlenirken kullanılan kirecin menşesinin bu performans değişimi üzerinde belirleyici olduğu tespit edilmiştir. Çalışmanın sonraki aşamasında kireç katkılı sıcak asfalt karışımlarında agrega türü değiştirilerek ve bitüm modifikasyonu yapılarak farklı çalışmaların yapılabileceği düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Ondokuz Mayıs Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne PYO.MUH.1906.17.011 kodlu proje ile desteklenmiştir. Yazarlar Ondokuz Mayıs Üniversitesi’ne teşekkür ederler.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

- ASTM D6927-15. (2006). Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Asphalt Mixtures. Annual Book of ASTM Standards. USA.
- Bouron, S., Hammoum, F., Ruat, H., Metais, P., Lisueur, D. (2021). Improving the durability of asphalt mixtures with hydrated lime: Field results from highway A84, *Case Studies in Construction Materials*, 14, e00551.
- Crandall, R.C. and Finke, F.L., (1961). *A Report On Hydrated Lime For Use In Experimental Hot-Mix Asphaltic Concrete*. USA:Department of Texas Highways Press.
- EuLA, (2010). *Hydrated Lime: A Proven Additive for Durable Asphalt Pavements*. European Lime Association. Report to the European Lime Association.
- Gençtürk, G. (2011). *Sönmüş kireç ile çimento ve Pr Plast kullanımının asfalt kaplamaların mekanik özellikleri üzerindeki etkileri*. (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Gupta, L. and Bellary, A. (2018). Comparative study on the behavior of bituminous concrete mix and warm mix asphalt prepared using lime and zycotherm as additive. *MaterialsToday: Proceedings*, 5, 2074-2081.
- Iwański, M. and Mazurek, G. (2013). Hydrated lime as the anti-aging bitumen agent. *Procedia Engineering*, 57, 424-432.
- Kavussi, A. and Bakhtiari, J. (2014). Application of different testing methods for evaluating effects of hydrated lime in bituminous mixes. *Procedia Engineering*, 77, 148-154.
- Kılıç, Ö., Anıl, M. (2006). Kireç Söndürme Şartlarının Söndürülmüş Kireç Kalitesine Etkisi. *Madencilik*, 45 (1), 15-22.
- Mohan, H. M. and Obaid, H. A. (2014). Laboratory Examination for the effect of adding hydrated lime on the moisture damage resistance of asphalt concrete mixtures. *Kufa Journal of Engineering*, 5(2), 1-12.
- Ogundipe, O. M. (2016). Marshall stability and flow of lime-modified asphalt concrete. *Transportation Research Procedia*, 14, 685-693.
- Petersen, J.C., Plancher, H. ve Harnsbergen, P.M., (1987). Lime Treatment of Asphalt to Reduce Age Hardening and Improve Flow Properties, *TRB Annual Meeting Proceedings*, 56, 632-653.
- Rasouli, A., Kavussi A., Qazizadeh, M. J. and Taghikhani, A. H. (2018). Evaluating the effect of laboratory aging on fatigue behavior of asphalt mixtures containing hydrated lime. *Construction and Building Materials*, 164, 655-662.
- Şengül, C.E. (2006). *Asfalt kaplamalarda tekerlek izinde oturma ve su hasarı problemlerinin azaltılması için sönmüş kireç kullanımı*. (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- TS EN 933-3. (2012). Agregaların deneyleri için deneyler – Bölüm 3: Tane şekli – Yassılık oluşturma. TK17: Maden Teknik Komitesi. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 933-4. (2009). Agregaların geometrik özellikleri için deneyler – Bölüm 1: Tane şeklinin tayini – Şekil indisi. Teknik Kurul. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 1097-2. (2000). Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm 2: Parçalanma direncinin tayini için metotlar. Maden İhtisas Grubu. Türk Standartları Enstitüsü.

- TS EN 1097-6. (2002). Agregaların mekanik ve eksik özellikleri için deneyler bölüm 6: Taneleri ve su emme öğretim tayini. Maden İhtisas Grubu. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 1367-2. (1999). Agregaların termal ve bozulma özellikleri için deneyler bölüm 2: Magnezyum yolculuk deneyi. Maden İhtisas Grubu. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 1426. (2008). Bitüm Bağlayıcılar-İğne batma derinliği tayini. Teknik Kurul. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 1427. (2008). Bitüm ve bitümlü bağlayıcılar-Yumuşama noktası tayini-Halka ve bilye yöntemi. Teknik Kurul. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN ISO 2592. (2006). Petrol ürünleri-Parlama ve yanma noktası tayini-Cleveland açık kap metodu. Teknik Kurul. Türk Standartları Enstitüsü.
- Tunç, A. (2004). *Esnek Kaplama Malzemeleri El Kitabı*. Ankara:Asil Yayın Dağıtım Limited Şirketi.
- Turan, M. A. (2012). *SBS ve sönmüş kireç katkılı sıcak asfalt karışımlarda tekerlek izi direncinin ve Marshall oranı yaklaşımı ile değerlendirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Umar, F. ve Açar, E., (1991). *Yol Üstyapısı*. İstanbul:İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası.
- Wei, Q., Ashaibi, A.A., Wang, Y., Albayati, A., (2022). Experimental study of temperature effect on the mechanical tensile fatigue of hydrated lime modified asphalt concrete and case application for the analysis of climatic effect on constructed pavement. *Case Studies in Construction Materials*, 17, e01622.
- Yalçın, E. (2014). *Filler olarak kireç kullanımının modifiye bitümlerle hazırlanan karışımların performansına etkisinin incelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>

Atf İçin: Kasil, H. B. ve Çodur, M.Y. (2023). Taş Mastik Asfaltlarda Agregata ve Bitümlü Bağlayıcıların Süzülme Yüzdesine Etkisinin Araştırılması. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 1055-1066.

To Cite: Kasil, H. B. & Çodur, M.Y. (2023). Investigation of the Effect of Aggregate and Bituminous Binders on the Percentage of Draindown in Stone Mastic Asphalts. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 1055-1066.

Taş Mastik Asfaltlarda Agregata ve Bitümlü Bağlayıcıların Süzülme Yüzdesine Etkisinin Araştırılması

Halis Bahadır KASİL^{1*}, Muhammed Yasin ÇODUR¹

Öne Çıkanlar:

- Bitümün süzülme yüzdesine etkisi belirlendi.
- Agreganın süzülme yüzdesine etkisi belirlendi.
- Süzülme yüzdesinin belirlenmesi için Schellenberger deney yöntemi kullanıldı.

Anahtar Kelimeler:

- Magmatik kökenli kayaç,
- Sedimanter kökenli kayaç,
- Bitümlü bağlayıcı,
- Taş mastik asfalt,
- Süzülme yüzdesi

ÖZET:

Taş Mastik Asfalt (TMA) kaplamalar dayanıklılığı ve çatlaklara karşı direnci artırmak gibi avantajlara sahiptir. Kesikli gradasyonlu TMA kaplamaları tekerlek izini azaltması, yorulma çatlaklarını geciktirmesi nedeni ile daha fazla tercih edilmektedir. TMA kaplamaların filler ve bitüm oranı geleneksel asfalt kaplamalara göre daha fazladır. TMA kaplamalarının olumlu yönleri yanında önlem alınması gereken bazı olumsuz yönleri de mevcuttur. Plentte üretimin yapıldığı yolda uygulanmasına kadar geçen zaman içinde bitüm aşağıya doğru süzülmetedir. Bitümün süzülmesi kaplamadaki homojenliğin bozmaya sebep olmaktadır. Bunun yanında TMA karışımı finişer ile yola serilip silindirle sıkıştırma yapılması sonucunda bitümlü bağlayıcı, kaplamanın içinden yüzeye doğru çıkarak kuma yapmaktadır. Bu çalışmada sabit gradasyona sahip, elyafli ve elyafsız TMA karışımları için farklı agregata ve bitüm kullanımının süzülme yüzdesine etkisi araştırılmıştır. Yapılan Schellenberger bitüm süzülme deneyleri sonucunda bitüm özgül ağırlığı ve yumuşama noktası artışının süzülme yüzdesini azalttığı gözlenmiştir. Farklı agregata ile aynı rafineri bitümünden hazırlanan karışımlarda, agregaların bitüm absorpsiyonlarındaki azalmanın süzülme yüzdesini artırdığı ancak agregaların soyulma mukavemetlerinin artışı ve karışımın ince agregata kısmında Sedimanter Kayaç sınıfından agregaların kullanılması süzülme yüzdesini azalttığı tespit edilmiştir.

Investigation of the Effect of Aggregate and Bituminous Binders on the Percentage of Draindown in Stone Mastic Asphalts

Highlights:

- The effect of bitumen on the draindown percentage was determined.
- The effect of the aggregate on the draindown percentage was determined.
- Schellenberger test method was used to determine the draindown percentage.

Keywords:

- Igneous origin rock,
- Sedimentary origin rock,
- Bituminous binder,
- Stone mastic asphalt,
- Percentage of asphalt draindown

ABSTRACT:

Stone Mastic Asphalt (SMA) pavements have advantages such as increasing durability and resistance to cracks. Gap-graded SMA pavements are more preferred because they reduce rutting and delay fatigue cracks. In SMA pavements, the filler and bitumen ratio is higher than conventional asphalt pavements. In addition to the positive aspects of SMA pavements, there are also some negative aspects that need to be taken care of. The bitumen draindown during the time it takes from the production in the plant to the application on the road. The draindown of the bitumen causes disruption of the homogeneity in the pavement. In addition, as a result of laying the SMA mixture on the road with a paver and compacting it with a roller, the bituminous binder rises from the pavement to the surface and desorption. In this study, the effect of using different aggregates and bitumen for fiber and non-fiber SMA mixtures with constant gradation on the percentage of draindown was investigated. As a result of the Schellenberger bitumen draindown tests, it was observed that the increase in the specific gravity and softening point of the bitumen decreased the drain down percentage. In mixtures prepared from the same refinery bitumen with different aggregates, it was found that a decrease in bitumen absorption of aggregates increases the draindown percentage, but an increase in the peeling strength of aggregates and the use of aggregates from the Sedimentary Rock class in the fine aggregate part of the mixture reduces the draindown percentage.

¹ Halis Bahadır KASİL (Orcid ID: 0000-0002-6678-7868), Muhammed Yasin ÇODUR (Orcid ID: 0000-0001-7647-2424), Erzurum Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Halis Bahadır KASİL, e-mail: halis.kasil24@erzurum.edu.tr

Bu çalışma Halis Bahadır KASİL'in Doktora tezinden üretilmiştir.

GİRİŞ

Karayolları, ulaşım sistemlerinin ayrılmaz bir parçasıdır. Hükümetlerce sağlanan bütçeler de karayollarının ülkeler için önemini göstermektedir.

Türkiye’de genel olarak Marshall Karışım Dizayn yöntemi ile tasarlanan yoğun gradasyonlu Bitümlü Sıcak Karışımlar (BSK) uygulama alanı bulmaktadır. Farklı iklim koşulları ve trafik yükleri bazen TMA gibi özel imalatların kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. TMA uygulamalarındaki avantajlar, endüstrinin ve araştırmacıların bu alana yönelmesine neden olmaktadır. TMA karışımları genellikle kalıcı deformasyona, yorulmaya karşı mükemmel bir dirence sahip ve bitüm açısından zengin karışımlar olması nedeniyle yüksek bir dayanıklılık sunmaktadır (Chissama and Picado-Santos, 2021). Bu kaplama türü Avustralya ve Yeni Zelanda’da geniş uygulama alanı bulmaktadır (Anonymous, 2000; Chegenizadeh et al., 2021). Trafiğin artması, kullanıcıları yüksek dayanımlı ve güvenli kaplamalar tasarlamaya yönlendirmektedir.

TMA karışımlar %70-80 kaba agregada, %20-30 ince agregada ve %6-7 gibi yüksek bitüm içeren kesikli gradasyona sahiptir (Oda et al., 2012; Chissama and Picado-Santos, 2021). TMA iskeletinin büyük kısmını kaba agregaların oluşturması kaplamada daha fazla boşluğa neden olmaktadır. Bu boşluklar ise mastik harç olarak da adlandırılan ince agregada, filler, bitüm ve bitümlü süzülmesine engel olan elyaf ile doldurulmaktadır (Anonymous, 2000; Şanlıer ve Pamuk, 2017; Chegenizadeh et al., 2021; Chissama and Picado-Santos, 2021). Elyaf katkısı genel olarak karışımın toplam kütlelerine %0.3 oranında ilave edilmektedir (Jamieson and White, 2021).

Amerikan ve Avrupa standartları, bitümlü bağlayıcının süzülmesini önlemek, agregada etrafında daha kalın bir film tabakası sağlamak, oksidasyonu ve nemin nüfuz etmesini önlemek, agregaların çatlamasını ve ayrılmasını geciktirmek için katkı ilavesini tavsiye etmektedir. Katkı türleri arasında selülozik elyaf, yüksek maliyetli olmasına rağmen sıklıkla kullanılmış ve iyi sonuçlar vermiştir (Oda et al., 2012; Chissama and Picado-Santos, 2021). Selülozik elyaflar nispeten düşük maliyet, geri dönüştürülebilirlik, sıfır karbon ayak izi ve mekanik özellikler (düşük yoğunluk ve iyi dengelenmiş sertlik, tokluk ve dayanıklılık) gibi bir dizi önemli avantajlar sunar. Selülozik elyafların esas amaçlarından biri, depolama ve nakliye sırasında bağlayıcının süzülmesine engel olmaktır (Anonymous, 2000; Afonso et al., 2017;).

Kesikli gradasyona ve yüksek bağlayıcı içeriğine sahip olan TMA tipi bitümlü karışımlarda süzülme %’sinin kontrolünün yapılması gerekmektedir (Chissama and Picado-Santos, 2021). TMA karışımlarında süzülme yüzdesinin tespiti için EN 12697-18 standardına göre yapılan Schellenberger testi Avustralya’da daha çok tercih edilmektedir (Anonymous, 2000; Chegenizadeh et al., 2021; Chissama and Picado-Santos, 2021).

Yüksek bağlayıcı içeriği, ek filler ve süzülme önleyici inhibitörlerin kullanılması gibi nedenlerle geleneksel karışımlardan yaklaşık %20 daha yüksek maliyetli olmasına rağmen TMA’nın uzun ömürlü ve geliştirilmiş performansa sahip olması ekonomik olmasını sağlamaktadır. TMA karışımlarındaki yüksek bitüm içeriği, yorulma ve yansıma çatlamasına karşı da yüksek direnç sağlamaktadır (Anonymous, 2000).

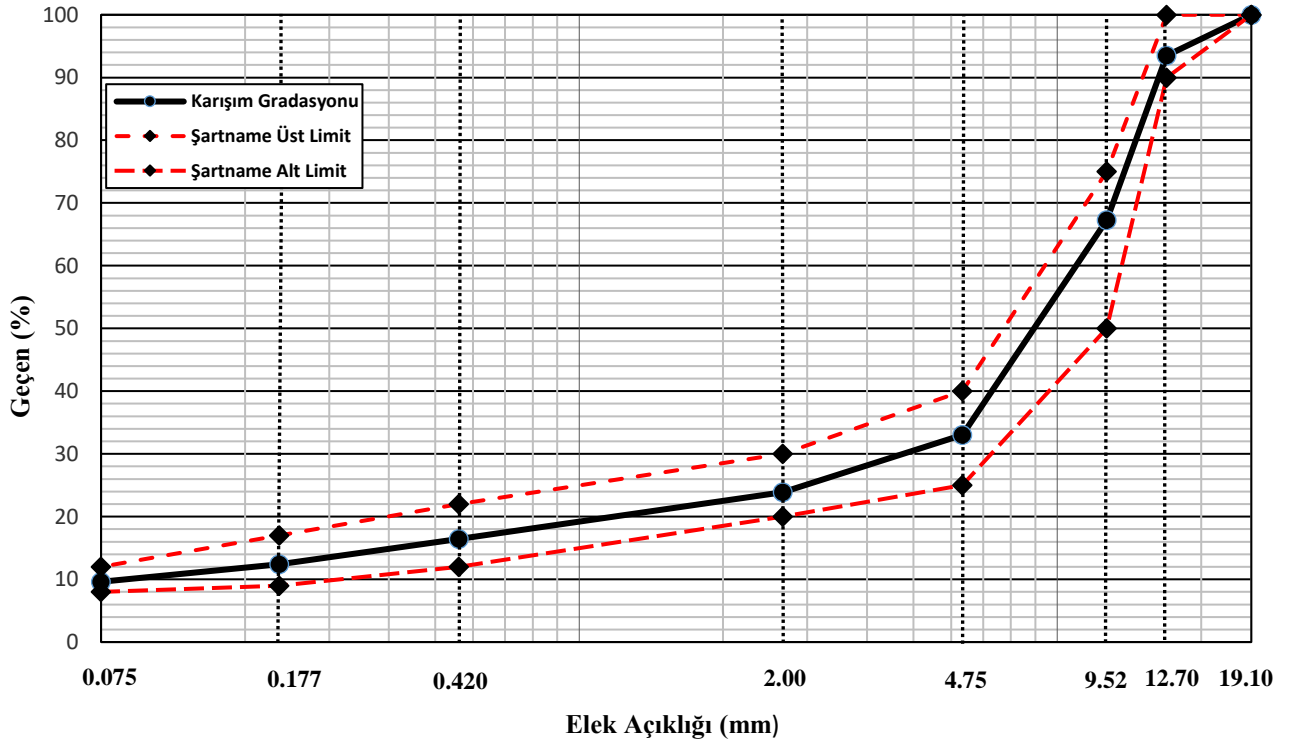
Literatürde, TMA’da bitüm yüzdesinin fazla olması nedeni ile bağlayıcının süzülme miktarının kontrol edilmesinin zorunlu olduğu ve özellikle selülozik elyaf kullanımının önem arz ettiği anlaşılmaktadır. Bu bağlamda literatürde çalışmaya konu olan süzülme yüzdesine etki edecek agregada ve bitüm farkı ile ilgili çalışmalara rastlanmamıştır.

MATERYAL VE METOT

Geleneksel Bitümlü Sıcak Karışımlarda (BSK) hammadde olarak agrega ve bitüm kullanılmaktadır. Fakat TMA karışımlarında zengin bitümden dolayı meydana gelebilecek drenaja karşı direnç sağlamak ve esnek davranışı iyileştirmek için bitüm ve agregaya elyaf ilave edilmektedir.

Agrega

TMA Aşınma Tabakası için Karayolu Teknik Şartnamesinde (KTŞ) belirtilen TMA Tip-I/A gradasyonu sınır değerlerine göre, kullanılan agreganın seçilen karışım gradasyonu Çizelge 1’de sayısal olarak ve Şekil 1’de grafik olarak gösterilmiştir (Anonim, 2013). Çalışmada Türkiye’nin Doğu Anadolu Bölgesinde karasal iklimin yoğun olarak yaşandığı Erzurum il sınırları içinde bulunan 4 adet taşocağı tercih edilmiştir. Bu taşocaklarının üçü magmatik kökenli, biri ise sedimanter kökenlidir. Agregaların ortak özellikleri KTŞ’de belirtilen Los Angeles sınır değeri %25’in, Metilen Mavisini sınır değeri 1.5 g/kg’ın, MgSO₄ sınır değeri %14’ün, yassılık indeksi sınır değeri %25’in altındadır ve agregaların tüm yüzeyleri %100 kırılmıştır (Anonim, 2013).



Şekil 1. TMA karışım gradasyonu ve KTŞ limitleri (Anonim, 2013)

Çizelge 1. TMA karışım gradasyonu ve KTŞ limitleri (Anonim, 2013)

Elekt Boyutları		Şartname Alt Limit Geçen, %	Karışım Gradasyonu Geçen, %	Şartname Üst Limit Geçen, %
İn, No	mm			
3/4"	19.10	100	100	100
1/2"	12.70	90	93.5	100
3/8"	9.52	50	67.3	75
No.4	4.75	25	33.0	40
No.10	2.00	20	23.9	30
No.40	0.420	12	16.4	22
No.80	0.177	9	12.4	17
No.200	0.075	8	9.6	12

Bitüm

Bağlayıcı olarak B70/100 penetrasyon sınıfında 3 farklı bitüm kullanılmıştır. Bitümler Batman, İzmit ve Kırıkkale Tüpraş rafinerilerinden temin edilmiştir. Bu bitümler Türkiye'deki sıcak karışım asfalt endüstrisinde kullanılmaktadır. Bitüm penetrasyon dereceleri, TS EN 1426'ya göre elde edilmiştir (TS EN 1426, 2013). Bu uygulamada, deney sıcaklığı 25 °C, toplam uygulanan yük 100 g ve yükleme süresi 5 sn'dir. Deneyde kalibreli bir iğnenin bitüm örneği üzerinde ürettiği penetrasyon miktarı ölçülmektedir (Yüknü ve ark., 2021). B70/100 bitümlü bağlayıcılar için elde edilen penetrasyon dereceleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Bitüm penetrasyon dereceleri

Rafineri Adı	İzmit Tüpraş		
Deney Adı	Deney Standardı	Deney Sonucu	Sınır Değer
Penetrasyon, (25 °C) 0.1 mm	TS EN 1426	74	$70 \leq *DS < 100$
Rafineri Adı	Kırıkkale Tüpraş		
Deney Adı	Deney Standardı	Deney Sonucu	Sınır Değer
Penetrasyon, (25 °C) 0.1 mm	TS EN 1426	74	$70 \leq *DS < 100$
Rafineri Adı	Batman Tüpraş		
Deney Adı	Deney Standardı	Deney Sonucu	Sınır Değer
Penetrasyon, (25 °C) 0.1 mm	TS EN 1426	72	$70 \leq *DS < 100$

*DS=Deney Sonucu

Elyaf

Bitümce zengin TMA karışımlarında, serme-sıkıştırma yapılırken fazla bitümün kusmasına ya da BSK'dan ayrılmasına engel olmak için karışıma (polimer esaslı selülozik) elyaf ilave edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada bitümlü bağlayıcının süzülmesini engellemek için Türkiye'de sıkça kullanılan polimer esaslı selülozik elyaf tercih edilmiştir.

Deneysel Çalışmalar

Türkiye'de TMA karışımlarındaki bitümlü bağlayıcıların süzülme miktarını belirlemek için TS EN 12697-18'e göre Schellenberger bitüm süzülme deneyi yapılmaktadır (TS EN 12697-18, 2018). Bu yöntem özet olarak, beher içindeki 1 kg'lık TMA numunesinin bir saat boyunca sabit sıcaklıkta bekletildikten sonra beher ters çevrilerek boşaltılıp, iç cidarlarında kalan bitümün kütlesi, TMA numunesindeki ilk bitümün kütlesinin yüzdesi olarak hesaplanır ve bu değer süzülme yüzdesini gösterir (TS EN 12697-18, 2018; Gültekin ve ark., 2021). Genel olarak %0.3 minimum elyaf katkısı ilavesi tercih edilmektedir (Jamieson and White, 2021).

TMA uygulamalarında yüksek bitüm miktarı, magmatik kökenli kayalarda su absorpsiyonuna bağlı olarak karışımın bünyesinde kalmasını sağlayacak olan elyaf miktarında artış meydana getirmektedir. Elyaf miktarının artışı maliyeti artırdığı için bu çalışmada elyaf miktarını etkileyen faktörler konusunda çalışmalar yapılmış ve grafiksel olarak gösterilmiştir. Bu bağlamda öncelikle Şekil 1'de gösterilen gradasyona uygun olarak hazırlanan magmatik kökenli taşocaklarından elde edilmiş agregalar ile farklı rafinerilere ait bitümlü bağlayıcılar karıştırılarak elyaf ve elyafsız olarak süzülme deneyleri yapılmıştır. Daha sonra yine Şekil 1'de gösterilen gradasyona uygun olarak hazırlanan kaba agregata kısmı magmatik kökenli, ince agregata kısmı ise sedimanter (tortul) kökenli kayalardan elde edilen agregata karışımları farklı rafinerilere ait bitümlü bağlayıcılar ile karıştırılarak

elyafli ve elyafsız olarak süzülme deneyleri yapılmıştır. Süzülme deneyinde, TS EN 12697-18 standardı kullanılmıştır (TS EN 12697-18, 2018).

Numune hazırlanması

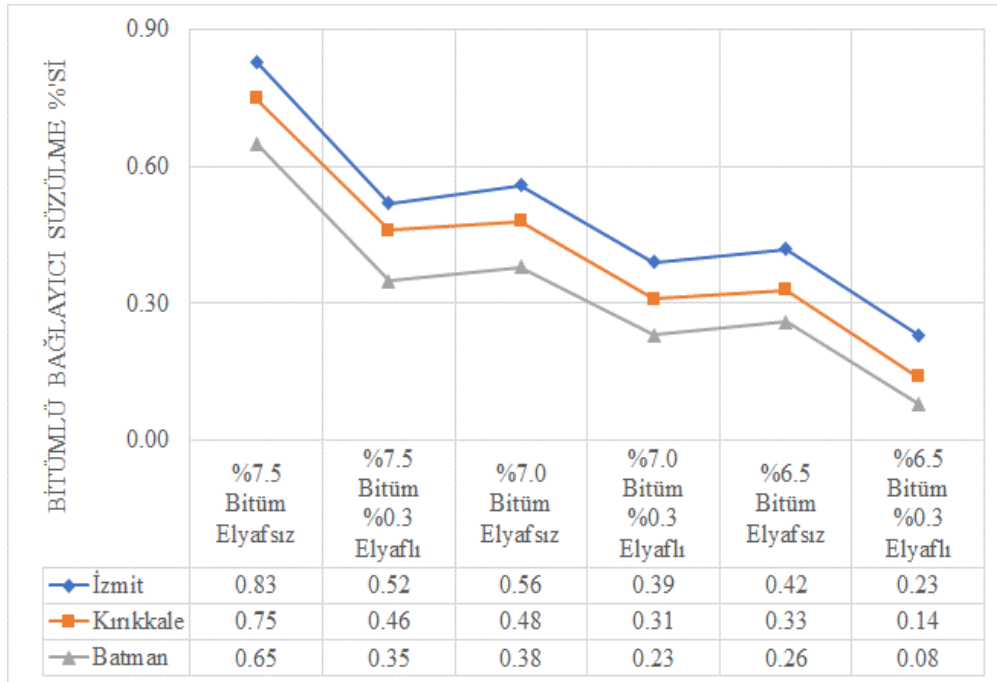
KTŞ'de TMA Aşınma tabakasında minimum optimum bitüm oranı %5.8 olarak belirtilmektedir (Anonim, 2013). Bu nedenle süzülme deneyinin yapılması için öncelikle deneyde kullanılacak optimum bitüm oranının belirlenmesi gerekmektedir. Bitümce zengin TMA karışımların süzülme yüzdelerinde elyaf etkisini daha belirgin olarak görmek amacıyla karışımdaki bitüm oranı, agrega ağırlığının %7.5'i olarak alınmıştır. Deneyler ilerledikçe gerek görüldüğü durumlarda bitüm oranı %0.5 ile %1.0 kadar azaltılmıştır. Deney için agrega ve bitümlü bağlayıcı toplamı 1000 g olacak şekilde her grup için 3 adet karışım hazırlanarak tartılmış ayrı ayrı kaplara koyulmuş ve en az 8 saat 135 ± 5 °C etüvde bekletilmiştir. Numuneler dışında ayrıca karışımların koyulacağı beherler de etüvde ısıtılmışlardır. Karışımda kullanılacak elyaf tartımları da 1000 g'lık toplam agrega+bitüm miktarı üzerinden hesaplanmıştır (Anonim, 2013; TS EN 12697-18, 2018).

Metot

Etüvde bekleme süresi tamamlanan agrega ve bitümlü bağlayıcı 135 ± 5 °C'de karıştırılıp önce boş beher daha sonra numune dolu beher tartımları yapılarak kaydedilmiştir. Numune dolu beherler (60 ± 1 dakika) 170 °C etüvde bekletilmiştir. Süresi tamamlanan beher içindeki numuneler etüvden çıkarılarak ters çevrilip 10 saniye beklenip daha sonra boş beher tartımları yapılmış ve kaydedilmiştir. Aynı zamanda karışımın da sıcaklığı kaydedilmiştir. Beher içerisinde bitümlü bağlayıcı dışında agrega varsa 1 mm'lik elek üzerinde beherdeki kalıntılar çözücü ile yıkanarak elek üstünde kalan malzeme etüvde kurularak tartılmıştır. Her numune için aynı döngü uygulanmıştır. Bu deneye elyafsız olarak başlanarak elyaf eklemek suretiyle deneylere devam edilmiştir. %0.3 elyaf ilavesinden sonra uygun sonuç alınamaması durumunda bitüm miktarı %0.5 düşürülerek elyafsız ve elyafli olarak deneylere devam edilmiştir (Anonim, 2013; TS EN 12697-18, 2018).

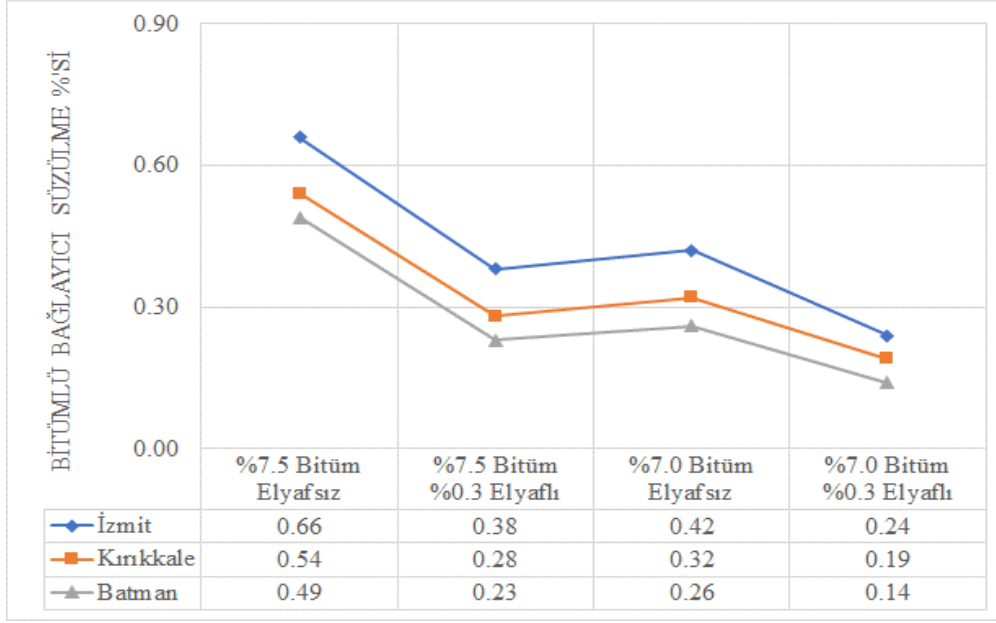
Deney sonuçları

TS EN 12697-18 standardına göre yapılan süzülme yüzdesi deney sonuçları Şekil 2 ile Şekil 7 arasındaki grafiklerde görülmektedir (TS EN 12697-18, 2018).



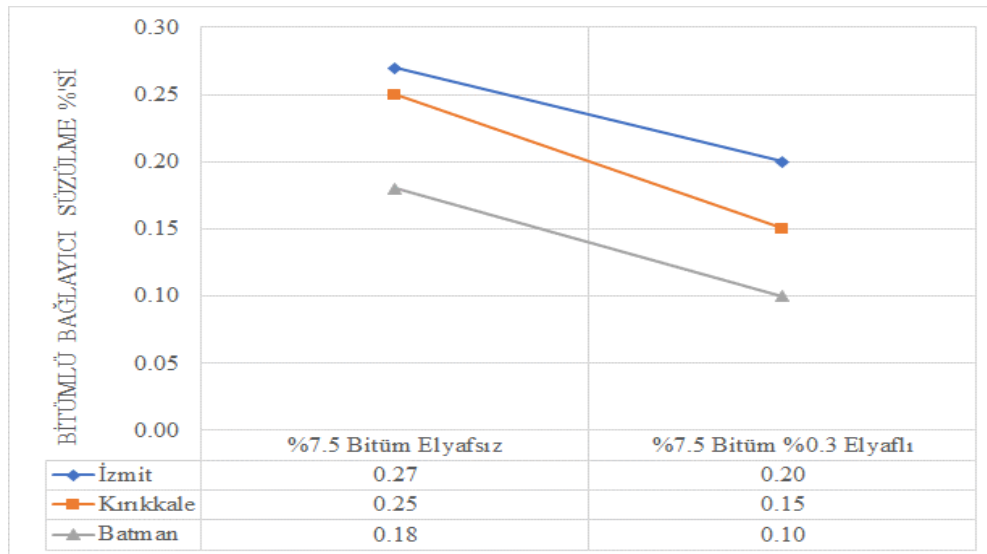
Şekil 2. İspir İkizdere taşoçağı ile farklı rafinerilere ait karışımların süzülme yüzdeleri

İspir İkizdere Taşocağına ait agregalar ile %7.5 oranında İzmit, Kırıkkale ve Batman Tüpraş Rafinerilerine ait bitüm ile yapılan karışımlara süzülme deneyleri yapılması sonucunda değerlerin yüksek olması nedeni ile bitüm oranı öncelikli olarak %7.0 ve daha sonra %6.5'a kademeli olarak düşürülerek deneylere devam edilmiştir. Şekil 2'de görüldüğü üzere %6.5 bitümlü bağlayıcı kullanımı ve %0.3 elyaf miktarı ile KTŞ koşulları sağlandığından dolayı %0.3 elyaf kullanılmasına karar verilmiştir (Anonim, 2013).



Şekil 3. Laleli taşocağı ile farklı rafinerilere ait karışımların süzülme yüzdeleri

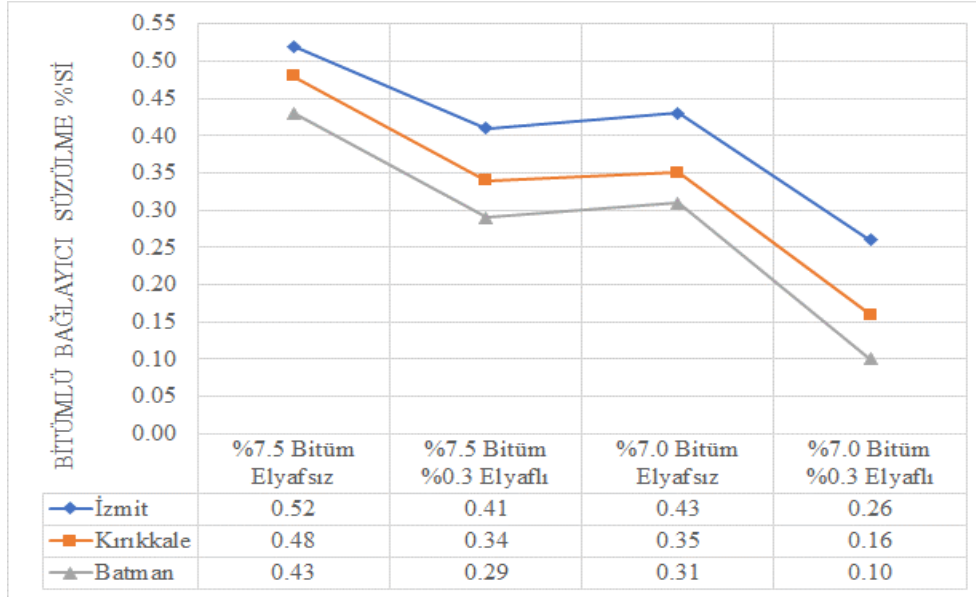
Laleli Taşocağına ait agregalar ile %7.5 oranında İzmit, Kırıkkale ve Batman Tüpraş Rafinerilerine ait bitüm ile yapılan karışımlara süzülme deneyleri yapılması sonucunda değerlerin yüksek olması nedeni ile bitüm oranı %7.0'ye düşürülerek deneylere devam edilmiştir. Şekil 3'de görüldüğü üzere %7.0 bitümlü bağlayıcı kullanımı ve %0.3 elyaf miktarı ile KTŞ koşulları sağlandığından dolayı %0.3 elyaf kullanılmasına karar verilmiştir (Anonim, 2013).



Şekil 4. Kırğındere taşocağı ile farklı rafinerilere ait karışımların süzülme %'leri

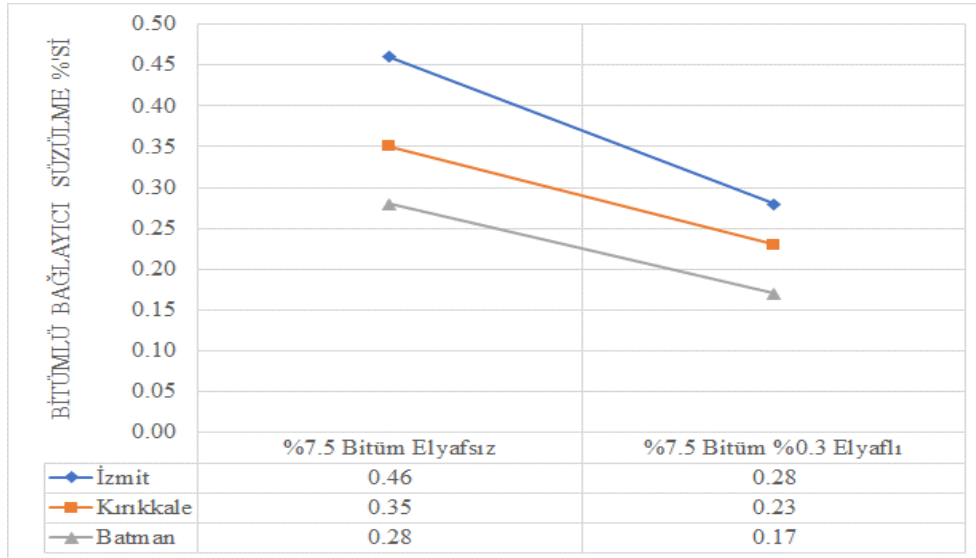
Kırğındere Taşocağına ait agregalar ile %7.5 oranında İzmit, Kırıkkale ve Batman Tüpraş Rafinerilerine ait bitüm ile yapılan karışımlara süzülme deneyleri yapılmıştır. Şekil 4'de görüldüğü

üzere %7.5 bitümlü bağlayıcı kullanımı ve %0.3 elyaf miktarı ile KTŞ koşulları sağlandığından dolayı %0.3 elyaf kullanılmasına karar verilmiştir (Anonim, 2013).



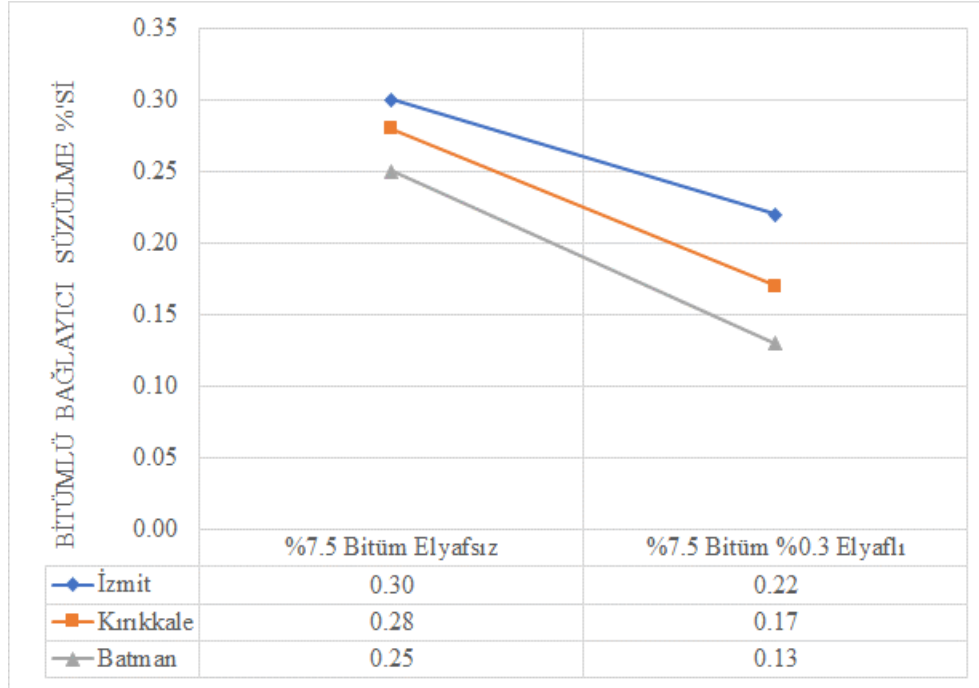
Şekil 5. Kaba agrega kısmı İspir İkizdere ve ince agrega kısmı Mustafa Bey taşocakları ile farklı rafinerilere ait karışımların süzülme yüzdeleri

Kaba Agrega kısmında İspir İkizdere, İnce Agrega kısmında Mustafa Bey taşocaklarına ait agregalar ile %7.5 oranında İzmit, Kırıkkale ve Batman Tüpraş Rafinerilerine ait bitüm ile yapılan karışımlara süzülme deneyleri yapılması sonucunda değerlerin yüksek olması nedeni ile bitüm oranı %7.0'e düşürülerek deneylere devam edilmiştir. Şekil 5'de görüldüğü üzere %7.0 bitümlü bağlayıcı kullanımı ve %0.3 elyaf miktarı ile KTŞ koşulları sağlandığından dolayı %0.3 elyaf kullanılmasına karar verilmiştir (Anonim, 2013).



Şekil 6. Kaba agrega kısmı Laleli ve ince agrega kısmı Mustafa Bey taşocakları ile farklı rafinerilere ait karışımların süzülme yüzdeleri

Kaba Agrega kısmında Laleli, İnce Agrega kısmında Mustafa Bey taşocaklarına ait agregalar ile %7.5 oranında İzmit, Kırıkkale ve Batman Tüpraş Rafinerilerine ait bitüm ile yapılan karışımlara süzülme deneyleri yapılmıştır. Şekil 6'da görüldüğü üzere %7.5 bitümlü bağlayıcı kullanımı ve %0.3 elyaf miktarı ile KTŞ koşulları sağlandığından dolayı %0.3 elyaf kullanılmasına karar verilmiştir (Anonim, 2013).



Şekil 7. Kaba agregaya kısmı Kırğındere ve ince agregaya kısmı Mustafa Bey taşocakları ile farklı rafinerilere ait karışımların süzülme yüzdeleri

Kaba Agregada kısmında Kırğındere, İnce Agregada kısmında Mustafa Bey taşocaklarına ait agregalar ile %7.5 oranında İzmit, Kırıkkale ve Batman Tüpraş Rafinerilerine ait bitüm ile yapılan karışımlara süzülme deneyleri yapılmıştır. Şekil 7’de görüldüğü üzere %7.5 bitümlü bağlayıcı kullanımı ve %0.3 elyaf miktarı ile KTŞ koşulları sağlandığından dolayı %0.3 elyaf kullanılmasına karar verilmiştir (Anonim, 2013).

BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada magmatik kökenli agregalar, sedimanter kökenli agregalar ve farklı Tüpraş rafinerilerine ait bitümlü bağlayıcılar kullanılarak 18 ayrı karışım ile hazırlanan TMA karışımlarına farklı miktarlarda selülozik polimer esaslı elyaf katkısıyla bitüm süzülme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları değerlendirildiğinde süzülme miktarlarındaki değişimde rafineri farkı, kayaç cinsi, bitüm absorpsiyonu, agregaların soyulma yüzdeleri, karışımdaki kaba agregada kısmında magmatik kökenli, ince agregada kısmında sedimanter (tortul) kökenli agregalar kullanılması gibi faktörler etkili olmuştur. Bu faktörleri tek tek ele alacak olursak;

Farklı Rafinerilerin Özgül Ağırlık ve Yumuşama Noktası Değerleri ile Süzülme Yüzdeleri Arası İlişki

Bitümlere TS EN 1427 ve TS EN 15326 standartlarına göre sırasıyla yumuşama noktası ve özgül ağırlık deneyleri yapılmıştır (TS EN 15326, 2010; TS EN 1427, 2015). Farklı rafineriler ile yapılan süzülme yüzdesi deney sonuçları değerlendirildiğinde İzmit Tüpraş rafinerisine ait süzülme yüzdesi Kırıkkale Tüpraş Rafinerisine göre daha yüksek ve Kırıkkale Tüpraş Rafinerisinin süzülme yüzdesi de Batman Tüpraş rafinerisinin süzülme yüzdesinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Farklı bitüm ile yapılan agregada ve elyaf kombinasyonlarından elde edilen karışımlara yapılan süzülme yüzdesi deneylerinden elde edilen değerler ile bitümlü bağlayıcı özgül ağırlığının ve yumuşama noktalarının ters orantılı olduğu Çizelge 3’de görülmektedir. Bu farklılığın temel sebebi bitümün ısıya karşı hassasiyetidir. Yumuşama noktası yüksek olan bitümlü bağlayıcının ısıya karşı hassasiyeti düşük olduğundan (Aytekin, 2018) dolayı Batman Tüpraş rafinerisinin süzülme yüzdesi daha az olmaktadır.

Çizelge 3. Farklı rafinerilerin özgül ağırlık ve yumuşama noktası değerleri ile süzülme %'leri arası ilişki

Yapılan Deneyler	Ocak Adı	Rafineri Adı		
		İzmit	Kırıkkale	Batman
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	-	1.034	1.038	1.040
Yumuşama Noktası (°C)	-	44.3	45.4	47.4
Süzülme (Elyafsız) % 'si	İspir İkizdere	0.83	0.75	0.65
	Laleli	0.66	0.54	0.49
	Kırgındere	0.27	0.25	0.18
	İspir İkizdere+Mustafa Bey	0.52	0.48	0.43
	Laleli+Mustafa Bey	0.46	0.35	0.28
	Kırgındere+Mustafa Bey	0.30	0.28	0.25

Bitüm Absorbsiyonunun Süzülme Yüzdesine Etkisi

Farklı taşocakları ile yapılan süzülme yüzdesi deney sonuçları değerlendirildiğinde İspir İkizdere taşocağına ait süzülme yüzdesi Laleli taşocağına göre daha yüksek ve Laleli taşocağına ait süzülme yüzdesi de Kırgındere taşocağının süzülme yüzdesinden daha yüksek olduğu Çizelge 5'te görülmektedir. Farklı taşocakları ile yapılan bitümlü bağlayıcı ve elyaf kombinasyonlarından elde edilen karışımlara yapılan süzülme deneylerinden elde edilen yüzdeler ile Bitümlü Karışımlar Laboratuvar El Kitabı'na göre belirlenen agrega bitüm absorpsiyonları arasında ters orantı olduğu Çizelge 4'te görülmektedir (Gültekin ve ark., 2021). Bu farklılıkta esas etken agregaların bitüm absorpsiyonu arttıkça gözeneklerde bitümün emilimi artacağından (Lee ve ark., 1990) süzülme yüzdelere azalmasıdır. Bitüm absorpsiyonu yüksek olan agreganın süzülme yüzdesi daha az olmaktadır. Bu durumda Kırgındere taşocağının bitüm absorpsiyonu daha yüksek olduğu için süzülme yüzdesinde daha düşük olmaktadır.

Çizelge 4. Agregada su absorpsiyonları (Gültekin ve ark., 2021; TS EN 1097-6, 2022) ve TMA karışımlarına ait bitüm absorpsiyonları (Gültekin ve ark., 2021)

Ocak Adı	İspir İkizdere	Laleli	Kırgındere	İspir İkizdere + Mustafa Bey	Laleli + Mustafa Bey	Kırgındere + Mustafa Bey
Kaba Agregada Su Absorpsiyonu, %	0.56	0.98	1.23	0.56	0.98	1.23
İnce Agregada Su Absorpsiyonu, %	0.74	1.12	1.35	0.62	0.62	0.62
Bitüm Absorpsiyonu, %	0.31/0.32/0.35*	0.49/0.52/0.53*	0.62/0.63/0.65*	0.29/0.31/0.32*	0.43/0.45/0.46*	0.49/0.52/0.55*

*Bitüm absorpsiyon değerleri sırasıyla İzmit, Kırıkkale ve Batman Tüpraş Rafineri Bitümlerine ait değerlerdir

Çizelge 5. Magmatik kökenli agregaların bitüm absorpsiyonu ile süzülme yüzdelere arası ilişki

Rafineri Adı	Ocak Adı		
	İspir İkizdere	Laleli	Kırgındere
	Bitüm Absorpsiyonu, % / Süzülme (Elyafsız), %		
İzmit	0.31 / 0.83	0.49 / 0.66	0.62 / 0.27
Kırıkkale	0.32 / 0.75	0.52 / 0.54	0.63 / 0.25
Batman	0.35 / 0.65	0.53 / 0.49	0.65 / 0.18

Agregada Soyulma Mukavemetinin Farklı Olmasının Etkisi

Bitümlü karışıma TS EN 12697-11 ve KTŞ'ye göre soyulma mukavemeti deneyi yapılmıştır (Anonim, 2013; TS EN 12697-11, 2020). Farklı taşocakları ve bitüm rafinerileri ile yapılan soyulma mukavemeti deney sonuçları Çizelge 6'da görülmektedir. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde İspir

İkizdere-Laleli-Kırgındere taşocaklarının İzmit Tüpraş rafinerisi bitümü ile yapılan soyulma mukavemeti deney sonucu %30, Kırıkkale Tüpraş rafinerisi bitümü ile yapılan soyulma mukavemeti deney sonucu %40, Batman Tüpraş rafinerisi bitümü ile yapılan soyulma mukavemeti deney sonucu %50 olarak tespit edilmiştir. İspir İkizdere taşocağına ait süzülme yüzdesi Laleli taşocağına göre daha yüksek ve Laleli taşocağına ait süzülme yüzdesinin de Kırgındere taşocağının süzülme yüzdesinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Farklı taşocakları ile yapılan bitüm ve elyaf kombinasyonlarından elde edilen karışımlara yapılan süzülme deneylerinden elde edilen yüzdeler ile soyulma mukavemeti arasında ters orantı olduğu tespit edilmiştir. Bu farklılıkta esas etkenin agregaların bitüm ile adezyon ilişkisinden kaynaklandığı anlaşılmaktadır (Kök, 2007). İzmit Tüpraş rafinerisine ait bitümlü bağlayıcı adezyonu daha düşük olduğu için en yüksek süzülme yüzdesi İzmit Tüpraş rafinerisinde daha sonra Kırıkkale Tüpraş Rafinerisi ve en sonda Batman Tüpraş rafinerisinde meydana gelmiştir.

Çizelge 6. Soyulma mukavemet ile süzülme yüzdeleri arası ilişki

Rafineri Adı	Ocak Adı		
	İspir İkizdere	Laleli	Kırgındere
	Soyulma Mukavemeti, % / Süzülme (Elyafsız), %		
İzmit	30/0.83	30/0.66	30/0.27
Kırıkkale	40/0.75	40/0.54	40/0.25
Batman	50/0.65	50/0.49	50/0.18

Karışımın İnce Agregada Kısmında Sedimanter (Tortul) Kökenli Kayaç Kullanılmasının Etkisi

Çalışma kapsamında İspir İkizdere-Laleli-Kırgındere magmatik kökenli taşocaklarına ait agregaların karışımında kaba agregada olarak kullanılması ve Mustafa Bey sedimanter kökenli taşocağına ait agregaların karışımında ince agregada olarak kullanılması ile oluşturulan agregada karışımı ile farklı bitüm rafinerileri ile yapılan süzülme yüzdesi deney sonuçları değerlendirildiğinde sedimanter kökenli agregaların süzülme yüzdesini azalttığı (İzol, 2021) Çizelge 5 ve Çizelge 7 karşılaştırıldığında gözlenmektedir. Bunun sebebinin ise sedimanter kökenli agregaların bitümle aderansının daha iyi olması sonucu bu durumun meydana geldiği düşünülmektedir.

Çizelge 7. Karışımın ince agregada kısmında sedimanter kökenli kayaç kullanımında bitüm absorpsiyonu ile süzülme yüzdeleri arası ilişki

Rafineri Adı	Ocak Adı		
	İspir İkizdere	Laleli	Kırgındere
	+ Mustafa Bey		
	Bitüm Absorpsiyonu, % / Süzülme (Elyafsız), %		
İzmit	0.29 / 0.52	0.43 / 0.46	0.49 / 0.30
Kırıkkale	0.31 / 0.50	0.45 / 0.35	0.52 / 0.28
Batman	0.32 / 0.47	0.46 / 0.23	0.55 / 0.25

SONUÇ

Bu çalışmada TMA kaplamalarda bitümlü bağlayıcı ve agreganın elyaf miktarına etkisi incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır:

- Genel olarak bitüm özgül ağırlığı ve yumuşama noktası artarken süzülme ve elyaf yüzdesi azalmıştır.
- Farklı agregaların aynı bitümlerle süzülme yüzdeleri kıyaslandığında agregaların bitüm absorpsiyonları arttıkça süzülme ve elyaf yüzdesi azalmıştır.
- Türkiye’de en çok kullanılan bitümlerden bazıları analiz edilmiştir. Bunların arasında Batman Tüpraş Rafinerisinin süzülme yüzdesi genel olarak düşük sonuç vermiştir.

- Agregalarda soyulma mukavemetleri arttıkça süzülme ve elyaf yüzdeleri azalmıştır.
- TMA karışımlarının ince agrega kısmının sedimanter kayaç sınıfından agregalar kullanılarak teşkil edilmesi süzülme ve elyaf yüzdesini azaltmıştır.

Bu sonuçlar yürütülen sınırlı sayıda deneyler ile elde edilmiştir. Bu sonuçları desteklemek ve genelleştirmek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır. Özellikle sedimanter kökenli kayaç sınıfı agregaların TMA uygulamalarında ince agrega kısmında kullanılmasının bitüm süzülme ve elyaf yüzdesini azaltma etkisini analiz etmek için farklı taşocaklarının araştırılması gereklidir. Yapılacak araştırmalar sonucunda sedimanter kökenli kayaçların TMA'nın ince agrega kısmında kullanılmasının olumlu etkisi tespit edilebilir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar desteklerinden dolayı Karayolları Genel Müdürlüğü'ne teşekkürlerini sunarlar.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

- Afonso, M. L., Dinis-Almeida, M., Fael, C. S., 2017. Study of the porous asphalt performance with cellulosic fibres. *Construction and Building Materials*, 135, 104–111. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.222>
- Anonim, 2013. Karayolu Teknik Şartnamesi. Ankara: Karayolları Genel Müdürlüğü.
- Anonymous, 2000. Stone Mastic Asphalt Design & Application Guide. Access address: <https://www.afpa.asn.au/wp-content/uploads/2017/12/AAPA-IG-4-Stone-Mastic-Asphalt.pdf>
- Aytekin Ş. (2018). *İlk Asfalt Üretiminde Kullanılan Katkıların Performans Değerlendirmeleri ve Bu Katkılarla KGM Şartnamelerine Göre Asfalt Kaplama Dizaynları (Yüksek Lisans Tezi)*. Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Chegenizadeh, A., Tokoni, L., Nikraz, H., Dadras, E., 2020. Effect of ethylene-vinyl acetate (EVA) on stone mastic asphalt (SMA) behaviour. *Construction and Building Materials*, 272, 121628. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121628>
- Chissama, K. S. S., Picado-Santos, L. G., 2021. Assessment of crumb rubber Stone Mastic asphalt potential to be used in Angola. *Case Studies in Construction Materials*, 15, e00598. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00598>
- Gültekin, M., Nayır, N., Ziya, N., Çalışkan, K. K., Öztürk, A., Tutan, S. N., Komut, M. (2021). Bitümlü Karışımlar Laboratuvar El Kitabı. Erişim adresi: <https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Baskanliklar/BaskanliklarTeknikArastirma/BitumluKarisimlerLaboratuvarElKitabi.pdf>
- İzol E. (2020). *Taş Mastik Asfalt Yapımında Mineral Filler Olarak Mermer Tozunun Kullanılması (Yüksek Lisans Tezi)*. Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Jamieson, S., White, G., 2021. Laboratory Evaluation of the Performance of Stone Mastic Asphalt as an Ungrooved Runway Surface. *Materials*, 14, 502. doi: <https://doi.org/10.3390/ma14030502>

- Lee, D. Y., Guinn, J. A., Khandhal, P. S., and Dunning, R. L. (1990). "Absorption of asphalt into porous aggregates." *Strategic Highway Research Program (SHRP) Rep. No. SHRP-A/UIR-90-009*, National Research Council, Washington, DC. Erişim adresi: <https://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/shrp/SHRP-90-009.pdf>
- Kök B.V. (2007). *Bitümlü Sıcak Karışımların Üretiminde Yeni Bir Karıştırma Yönteminin Araştırılması* (Doktora Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Oda, S., Jr. J. L. F., Ildefonso, J. S., 2012. Analysis of use of natural fibers and asphalt rubber binder in discontinuous asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*, 26, 13–20. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.06.030>
- Şanlıer, İ., Pamuk, İ., 2017. Kuzey Marmara Otoyolu Projesi Kapsamında Taş Mastik Asfalt (TMA) Uygulamaları ve Performanslarının Karşılaştırılması. *5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science*, Bakü/Azerbeycan.
- TS EN 1097-6, 2022. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler-Bölüm 6: Tane yoğunluğunun ve su emme oranının tayini. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 1426, 2015. Bitüm ve bitümlü bağlayıcılar-İğne batma derinliği tayini. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 1427, 2015. Bitüm ve bitümlü bağlayıcılar-Yumuşama noktası tayini-Halka ve bilye yöntemi. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 12697-11, 2020. Bitümlü karışımlar-Test yöntemleri-Bölüm 11: Agrega ve bitüm arasındaki benzeşmenin belirlenmesi. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 12697-18, 2018. Bitümlü karışımlar-Deney metotları-Sıcak karışımli asfalt için-Bölüm 18: Bağlayıcının süzülmesi. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 15326+A1, 2010. Bitüm ve bitümlü bağlayıcılar-Yoğunluk ve özgül kütle tayini-Kapiler kapaklı piknometre yöntemi. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- Yüknü, K., Öztürk, T., Komut, M. (2021). Bitümlü Bağlayıcılar Laboratuvar El Kitabı. Erişim adresi: <https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Baskanliklar/BaskanliklarTeknikArastirma/BitumluBaglayicilarLaboratuvarElKitabi.pdf>

Atf İçin: Ekmekcioğlu, Ö. (2023). CBS Tabanlı Melez Makine Öğrenmesi Uygulamalarının Ani Sel Duyarlılık Haritalamasında Kullanımı. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 1067-1084.

To Cite: Ekmekcioğlu, Ö. (2023). Incorporating the GIS-Based Hybrid Machine Learning Applications into the Flash Flood Susceptibility Mapping. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 1067-1084.

CBS Tabanlı Melez Makine Öğrenmesi Uygulamalarının Ani Sel Duyarlılık Haritalamasında Kullanımı

Ömer EKMEKÇİOĞLU^{1*}

Öne Çıkanlar:

- Ani sel haritalaması hibrit makine öğrenmesi teknikleri ile gerçekleştirilmiştir.
- Önerilen model coğrafi bilgi sistemleri ile entegre edilmiştir.
- Ani taşkınları etkileyen en önemli parametreler yağış, NDVI ve eğri numarası olarak bulunmuştur

Anahtar Kelimeler:

- Taşkın haritalama
- Rastgele orman
- Parçacık sürü optimizasyonu
- Makine öğrenmesi
- Coğrafi bilgi sistemleri

ÖZET:

Bu çalışmada Kentucky Nehri havzasında son yirmi yılda meydana gelen ani sel baskınları kayıtlarına dayanarak makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak taşkın tehlike haritalamasının yapılması amaçlanmıştır. Tahminlerin gerçekleştirilebilmesi için yaygın olarak kullanılan ve pratik bir algoritma olan rastgele orman (RF) yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca, bu yöntemin içsel parametreleri (ağaç sayısı ve maksimum ağaç derinliği) ise parçacık sürü optimizasyonu (PSO) algoritması ile optimize edilmiştir. Bu bağlamda 343 adet geçmiş ani sel kayıtlarına ilaveten havza sınırları içerisinde yer alacak şekilde aynı sayıda rastgele nokta atanmıştır. Tüm bu noktalara 12 adet ani sel tehlikesini tetikleyecek faktörler tanıtılmış olup, tahminler bu doğrultuda gerçekleştirilmiştir. Tahmin sonuçları birçok performans değerlendirme indikatörü göz önüne alınarak analiz edildiğinde melez PSO-RF modelinin test veri setinde oldukça başarılı sonuçlar gösterdiği görülmüştür. Öyle ki hem ani sel olan noktalar hem de ani sel gerçekleşmeyen noktalar %70 oranında doğruluk ile tahmin edilmiştir. Yapılan detaylı değerlendirmeler sonucu ise ikili sınıflandırma problemlerinde önemli bir gösterge olan AUROC değeri ise 0.79 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, ani selleri tetikleyen faktörlerin sonuçlar üzerindeki tekil etkileri incelendiğinde şiddetli yağış faktörü en etkili değişken olarak bulunmuş olup, onu sırasıyla topoğrafya, NDVI ve eğri numarası faktörleri izlemiştir. Öte yandan, litoloji faktörünün ani sellerin modellenmesi üzerindeki etkisi ise diğer faktörlere göre oldukça az olduğu sonucuna varılmıştır. Tüm bu bulgular ışığında elde edilen sonuçlar hem taşkın tehlike haritalaması literatürüne katkı yapacak, hem de ilgili bölgede yaşanacak gelecek ani sel olayları meydana gelmeden alınması gereken tedbirler ile ilgili yol gösterici nitelikte olacaktır.

Incorporating the GIS-Based Hybrid Machine Learning Applications into the Flash Flood Susceptibility Mapping

Highlights:

- The flash flood susceptibility mapping was conducted through a hybrid machine learning framework.
- The proposed model was incorporated into geographical information system.
- Heavy rainfall, NDVI, and curve number was found as the most determining factors in producing flash flood susceptibility maps.

Keywords:

- Flood mapping
- Random forest
- Particle swarm optimization
- Machine learning
- Geographical information system

ABSTRACT:

This study chiefly aimed to perform flash flood susceptibility mapping by means of machine learning methods based on the records attained in the Kentucky River basin over the last two decades. To carry out analysis, one of the widely adopted practical tree-based machine learning tools, i.e., the random forest (RF) method, was utilized, while the hyperparameters (i.e., number of trees and maximum tree depth) of the RF algorithm were tuned via the particle swarm optimization (PSO) strategy. In this vein, a total of 343 flash-flooded and the same number of random (non-flash flooded) points were assigned within the Kentucky River basin boundaries. In addition, a total of 12 factors triggering flash floods have been introduced to the corresponding points and the predictions were conducted in this regard. Many performance evaluation indicators considered within the scope of this study illustrated that the hybrid PSO-RF model revealed quite accurate predictive results based on the blinded testing set; such that both flash-flooded and non-flash flooded points exist in the test set were estimated with an accuracy of 70%. In addition, one of the promising performance indicators in assessing binary classification implementations, called AUROC, was calculated as 0.79. Further analysis regarding the individual impacts of the triggering factors also highlighted that the heavy rainfall probability factor was found to be the most effective variable, followed by topography, NDVI, and curve number, respectively. On the other hand, it was concluded that the effect of the lithology on the flash flood modeling is considerably lower compared to its counterparts. Overall, the results acquired in the light of all these findings have important potential in terms of both contributing to the flood susceptibility mapping literature and guiding with respect to the measures that should be taken prior to the flash flood incidents in the corresponding region.

¹ Ömer EKMEKÇİOĞLU ([Orcid ID: 0000-0002-7144-2338](https://orcid.org/0000-0002-7144-2338)), İstanbul Teknik Üniversitesi, Afet Yönetimi Enstitüsü, Afet ve Acil Durum Yönetimi Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Ömer EKMEKÇİOĞLU, e-mail: omer.ekmekcioglu@itu.edu.tr

GİRİŞ

Taşkınlar tüm dünyada büyük ekonomik ve can kayıplarına neden olmaktadır. Öyle ki, son yirmi yılda Dünya’da 2 milyar dolardan fazla ekonomik kayıp taşkınlardan dolayı meydana gelmektedir (Ekmekcioğlu ve ark., 2021). Ayrıca, bu taşkınlardan dolayı iki milyondan fazla insan doğrudan ve/veya dolaylı olarak etkilenmiştir. Özellikle kentleşmenin artması ile nüfus yoğunlukları belirli kesimlerde yoğunlaşmış ve arazi kullanım yapısı geçirimsiz yapıya bürünerek şiddetli yağışların tetiklediği ani sel baskınlarının sayısında artışı beraberinde getirmiştir (Thieken ve ark., 2006). Literatürde ve pratikte taşkınlar öncesi önleme stratejilerinin ve taşkınlar sonucu risk azaltma uygulamalarının belirlenmesinde coğrafi bilgi sistemlerine dayalı haritalama tekniklerinin kullanılması son yıllarda oldukça hız kazanmıştır (Gigović ve ark., 2017). Afet olaylarından önce yapılması gereken ilk adım ise potansiyel olarak risk altında bulunan bölgelerin belirlenmesidir. Zira, bu algoritmalar coğrafi bilgi sistemleri ile de entegre hale getirilebilmektedir. Makine öğrenmesi algoritmaları sadece tehlike altındaki bölgelerin belirlenmesinde değil aynı zamanda bu bölgelerde olası tehlikeleri tetikleyen faktörlerin sebep sonuç ilişkileri ışığında belirlenmesine olanak tanımaktadır. Ayrıca bu yöntemler, çok boyutlu problemler ile başa çıkabilme yetenekleri, gerektiğinde problemin boyutunun düşürülmesinde sağladığı avantajlar, yüksek doğruluk oranları, kullanım kolaylıkları ve diğer modellere adapte edilebilme yetenekleri ile başka sel tehlike haritalaması tekniklerinden önemli ölçüde ayrılmaktadır (Ngo ve ark., 2018; Ali ve ark., 2020; Pham ve ark., 2021; Pourghasemi ve ark., 2020). Dolayısıyla, literatürde makine öğrenmesi yöntemlerine dayalı taşkın tehlike haritalarının oluşturulmasına yönelik çalışmalar mevcuttur (Khosravi ve ark., 2018; Costache ve Tien Bui, 2019; Talukdar ve ark., 2020). Bu çalışmada ise ani sel tehlike haritalamalarının gerçekleştirildiği ilgili çalışmalardan güncel olanlarından bazıları Çizelge 1’de sunulmuştur.

Çizelge 1. Makine öğrenmesi metotları yardımıyla ani sel haritalaması gerçekleştirilen çalışmalar

Kaynak	Bölge	Ülke	Alan (km ²)	Kullanılan Metot	Nokta Sayısı	Eğitim/ Test
Khosravi ve ark., (2018)	Haraz Havzası	İran	4014	A, B, C, D	76	70/30
Costache ve Tien Bui, (2019)	Putna Nehri Havzası	Romanya	2509	E, F, G	132	70/30
Tien Bui ve ark., (2019)	Bac Ha ve Bao Yen	Vietnam	1510.4	G, H, I, J	654	70/30
Costache ve ark., (2020)	Bâsca Chiojdului	Romanya	340	E, G, J, K, L, M	Poligon	70/30
Nhu ve ark., (2020)	Van Ban Bölgesi	Vietnam	1435	A, J, L, M, N	200	70/30
Talukdar ve ark., (2020)	Teesta Nehri Havzası	Bangladeş	2284	B, L, O, P	413	80/20
Tien Bui ve ark., (2020)	Lao Cai İli	Vietnam	1465.07	E, J, R	732	70/30
Shahabi ve ark., (2021)	Haraz Havzası	İran	4014	A, B, C, D, K, S, T, U	194	80/20
Panahi ve ark., (2021)	Golestan Eyaleti	İran	12000	V, Y, Z	143	70/30

* **Kısaltmalar:** **A:** Lojistik Model Ağacı (LMT), **B:** Ağaç Budama Hatasında Azalma (REPTree), **C:** Naive Bayes Ağaçları (NBT), **D:** Değişken Karar Ağaçları (ADT), **E:** Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP), **F:** Rotasyon Ağaçları (ROF), **G:** Sınıflandırma ve Regresyon Ağaçları (CART), **H:** Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Eğrileri (MARS), **I:** Geri Yayılımlı Sinir Ağları (BPNN), **J:** Destek Vektör Makineleri (SVM), **K:** Lojistik Regresyon (LR), **L:** Rastgele Orman (RF), **M:** Karar Ağaçları (DT), **N:** Rastgele Alt Uzay Karar Ağaçları (RSTree), **O:** M5 Model Ağacı (M5P), **P:** Rastgele Ağaç (RT), **R:** Derin Öğrenme Sinir Ağları (DLNN), **S:** Derin İnanç Ağları (DBN), **T:** Artırılmış Lojistik Regresyon (BLR), **U:** Uyarlanabilir Nöro Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS), **V:** Uzun Kısa Süreli Bellek Sinir Ağları (LSTM), **Y:** Derin Sinir Ağları (DNN), **Z:** Evrimsel Sinir Ağları (CNN).

Çizelgeden de anlaşılacağı üzere literatürde çok çeşitli makine öğrenmesi algoritmaları bu amaca yönelik olarak kullanılmıştır. Öte yandan, gerek makine öğrenmesi yöntemlerinin içerisinde

barındırdıkları belirsizliklerin giderilmesi gerekse de amaca yönelik uygun model konfigürasyonlarının belirlenebilmesi için farklı optimizasyon yöntemlerinin entegrasyonu gerçekleştirilerek melez modeller inşa edilmektedir.

Literatürde yer alan çalışmalar detaylı incelendiğinde ise makine öğrenmesi algoritmalarına dayalı taşkın haritalama çalışmalarında genel olarak taşkın tehlike haritalarının oluşturulduğu gözlemlenmektedir. Risk kavramının en önemli iki ayağı olan tehlike ve hasar görebilirlik kavramlarından tehlike ayağı daha çok atmosferik ve meteorolojik değişkenlere bağlı olarak belirlenebildiğinden dolayı ve topoğrafya ile topoğrafyaya bağlı olan değişkenlerin önemli oranda taşkın tehlikesinde tetikleyici rol oynadığı düşünüldüğünde veri bulunmasının kolaylığı bu sonucu açıklamaktadır. Öyle ki, hasar görebilirlik fonksiyonu genel olarak arazi kullanım yapısına dayalı detaylı değişkenlere ve insan etkisi ile ortaya çıkan faktörlere (hasar görebilir yapılar, nüfus yoğunlukları, hasar görebilir popülasyonlar, ulaşım ağları, vb.) bağlı olarak belirlenebilmektedir. Bu verilerin ise özellikle havza ölçeğinde gerçekleştirilen grid bazlı analizlerde elde edilmesinin zor olduğundan dolayı araştırmacılar tehlike fonksiyonunun belirlenmesine daha fazla odaklanmıştır. Bu doğrultuda, tehlike haritalarının elde edilmesinde web tabanlı platformlardan da kolayca erişilebilen sayısal yükseklik verileri ile birlikte bu verilerden elde edilebilen eğim, bakı, eğrilik, topoğrafik ıslaklık indeksi ve topoğrafik pürüzlülük indeksi gibi değişkenler yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin Khosravi ve ark., (2018), lojistik model ağaçları (LMT), azaltılmış hata budama ağaçları (REPT), naif Bayes ağaçları (NBT) ve alternatif karar ağaçları (ADT) olmak üzere dört farklı karar ağacı tabanlı algoritmayı kullanarak İran'ın Haraz havzası sınırları içerisinde yer alan bölgelerde ani sele eğilimli yerleri belirlemiştir. Kapsamlı performans değerlendirmelerine dayanarak, bilgi kazanım oranı (information gain ratio) yaklaşımının da yardımı ile en önemli faktörleri arazi eğimi, nehirden uzaklık ve nehir yoğunluğu olarak elde ederken, ADT' nin en yüksek doğruluğa sahip makine öğrenmesi algoritması olduğu sonucuna varmıştır. Costache ve Tien Bui, (2019) ani sel tehlikesi altında olan bölgeleri uzamsal olarak tahmin etmek için frekans oranı (frequency ratio) ve kanıt ağırlıkları (weights of evidence) gibi iki değişkenli istatistiksel yaklaşımların yanı sıra yapay sinir ağları (ANN), rastgele orman (RF) ve sınıflandırma ve regresyon ağaçları (CART) gibi makine öğrenmesi tekniklerini kullanarak topluluk (ensemble) modelleri oluşturmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, RF ve kanıt ağırlıkları entegrasyonunun diğer melez modellere göre tahmin başarısı açısından üstünlüğü ortaya çıkmıştır. Ayrıca, ani sel değerlendirmelerinde eğim açısı, nehirden uzaklık ve arazi yüksekliğinin belirleyici roller oynadığı, buna karşın hidrolojik toprak grubu, litoloji ve topoğrafik ıslaklık indeksi gibi jeolojik değişkenlerin elde edilen en başarılı modelin tahmin kabiliyetine en düşük etkiyi yaptığı tespit edilmiştir. Son yıllarda birçok araştırma alanında yaygın olarak kullanılan derin öğrenme tekniklerinin ani sel tehlike haritalanması modellerine entegre edilebildiğini göstermek için Tien Bui ve ark., (2020), derin öğrenme sinir ağını (DLNN) Vietnam'ın tropik fırtına etkisi altında olan alanlarından birine uygulamıştır. Öne sürülen derin öğrenme modeli ayrıca ANN ve destek vektör makineleri (SVM) gibi diğer makine öğrenmesi yöntemleriyle kıyaslanmıştır ve bu iki yönteme kıyasla hassas bölgeleri daha iyi tespit ettiğini göstermişlerdir. Benzer olarak, Panahi ve ark., (2021) literatürde derin öğrenme algoritmalarında yaygın olarak benimsenen konvolüsyonel sinir ağlarını (CNN) ve tekrarlayan sinir ağlarını (RNN) adlı iki farklı mimariyi kullanarak ani sel duyarlılık haritaları oluşturmuştur. Her iki derin öğrenme metodolojisini eğitmek için adım adım ağırlık değerlendirme oranı (step-wise weight assessment ratio) analizini hesaba katmışlardır ve İran'ın Golestan Eyaleti için yapılan değerlendirmelerde CNN'nin RNN' den az farkla da olsa daha yüksek tahmin performansı gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Ek olarak, modern modelleme tekniklerindeki gelişmeler, taşkın duyarlılık haritalama alanında optimizasyon tekniklerinin kullanımını da kolaylaştırmıştır. Böylelikle, yakın literatürde hem grid arama ve Bayes optimizasyonu gibi klasik arama algoritmaları hem de genetik algoritma ve parçacık sürü optimizasyonu gibi son teknoloji meta-sezgisel algoritmaların adapte edilen makine öğrenmesi algoritmalarının içsel parametrelerinin ayarlanmasında kullanımı gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında da Kentucky Nehri Havzası için ilk kez ani sel tehlike haritalaması gerçekleştirilmiştir. Bu amaca yönelik olarak ise rastgele orman (RF) ve parçacık sürü optimizasyonu (PSO) algoritması entegre edilmiştir. Bu çalışma kapsamında Kentucky Nehri havzası için makine öğrenmesi yöntemlerinin uygulanması ise Python programlama dilinde gerçekleştirilmiş olup, RF ve PSO algoritmalarında sırasıyla “sklearn.ensemble” ve “NiaPy” kütüphanelerinden yararlanılmıştır.

Grid bazlı elde edilen tahminler neticesinde ani sel tehlikesi bakımından tetikleyici rol oynayan faktörler ise ifade edilerek tartışılmıştır. Böylelikle kara kutu modeller olarak ifade edilen makine öğrenmesi yöntemlerine ait sonuçların yorumlanabilirliğinde gelişmeler kaydedilmiştir. Özetle, bu çalışmada esas olarak amaçlananlar:

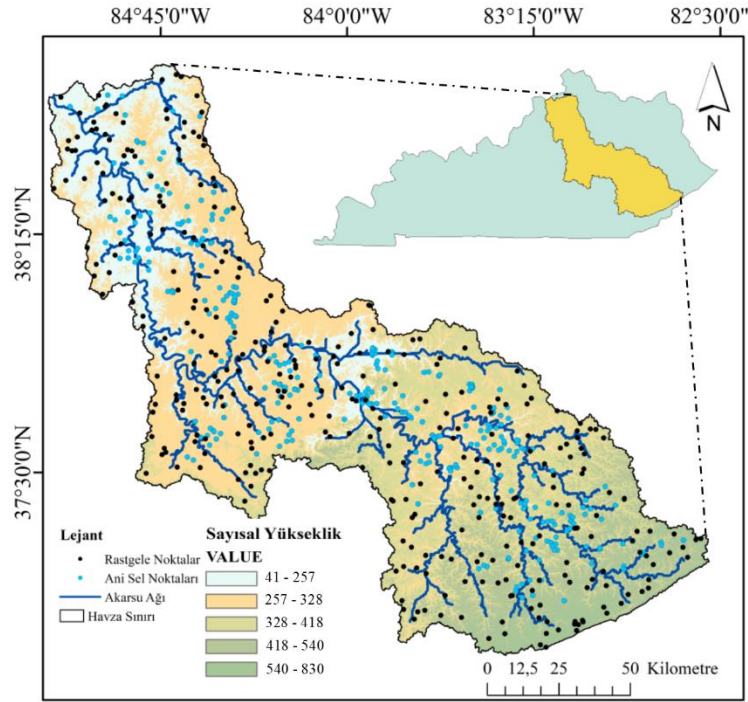
- Ağaç tabanlı algoritmalar arasında en yaygın olanlarından olan RF yönteminin ani sel duyarlılık haritalamasında kullanılabilirliğinin gösterilmesi,
- Klasik optimizasyon algoritmaları yerine meta-sezgisel PSO algoritmasının RF içsel parametrelerinin ayarlanması sürecine dahil edilmesi,
- Makine öğrenmesi teknikleri ile elde edilen sonuçların yorumlanabilirliğinin değerlendirilmesi şeklinde ifade edilebilmektedir.

Bu çalışmada geliştirilen sistemin gerek metodolojik gerekse de pratik bakış açıları ile ani sel duyarlılığı değerlendirmeleri alanına önemli katkılar sağlayacağına, araştırmacılara ve uygulayıcılara yorumlanabilir ani sel duyarlılık haritaları oluşturmalarında yardımcı olabileceğine inanılmaktadır.

MATERYAL VE METOT

Çalışma Alanı

Yaklaşık 105000 kilometrekare yüzey alanına sahip Kentucky eyaleti Amerika Birleşik Devletleri'nin güney doğusunda yer almaktadır. Arazi kullanım yapısı bakımından oldukça farklılık içeren eyalet ormanlık alanları, tarımsal arazileri ve kentsel bölgeleri barındırmaktadır. Çalışma alanı olarak seçilen Kentucky Nehri Havzası da eyaletin sınırları içerisinde yer almaktadır. Kentucky Nehri yaklaşık olarak 420 kilometrelik uzunluğa sahip olup, eyaletin doğusunda bulunan dağlık arazilerden doğup Ohio Nehri'ne dökülmektedir. Kentucky Nehri ayrıca yan kolları açısından da oldukça zengindir. Öyle ki, Red Nehri, Dix Nehri, North Fork Kentucky Nehri, South Fork Kentucky Nehri ve Middle Fork Kentucky Nehri bu yan kolların en büyük besleme noktalarını oluşturmaktadır. Drenaj alanı bakımından eyaletin önemli bir kısmını kaplayan Kentucky Nehri 18000 kilometrekarelik yüzey alanına sahiptir. Çalışma alanı Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere 41 metreden başlayan havza yükseklikleri yer yer 830 metrelik seviyelere ulaşmaktadır. Görece dağlık ve yüksek rakıma sahip bölgeler havzanın güney batısında yer alırken, havzanın orta kesimleri kentsel alanları kapsamaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanı

Ani Selleri Tetikleyen Faktörler

Ani seller, şiddetli yağış, hızlı kar erimesi ve baraj duvarı çökmesi gibi nedenlerden dolayı suyun bir bölgede hızla birikmesi nedeniyle genellikle 6 saatten daha kısa sürede meydana gelen, ani ve yoğun seller olarak tanımlanmaktadır (Marchi ve ark., 2010). Ani seller her bölgede meydana gelebilir ve can ve mal kaybı için tehdit oluşturacak önemli hasara neden olabilmektedir. Ani seller, nehir selleri ve kıyı selleri gibi diğer sel türlerinden farklı olarak, aniden ve çok daha kısa bir sürede oluşur (Ekmekcioğlu ve ark., 2022). Örneğin nehir taşkınları, nehirlerin kıyılarından taşmasına neden olan uzun süreli şiddetli yağışlardan kaynaklanırken, kıyı taşkınlarına yüksek gelgitler, fırtınalar ve şiddetli yağışların birlikte neden olduğu görülmektedir (Ikeuchi ve ark., 2017). Ani seller genel olarak kentsel bölgelerde yaşansa da iklim şartlarının değişimi ile birlikte meydana gelen ani ve şiddetli yağışlar ile arazinin her bölgesinde meydana gelebilir hale bürünmüştür. Arazi şartlarının halen çok etkili olduğu ani seller toprak yapısına, arazi kullanım durumuna, yağışlara ve birtakım hidro-jeolojik değişkenlere de bağlı olarak meydana gelebilmektedir. Bu çalışma kapsamında 12 farklı ani selleri tetikleyen faktör göz önünde bulundurulmuştur (Şekil 2). Bu faktörler aşağıda kısa açıklamaları ile birlikte listelenmiştir:

1) Sayısal Yükseklik: Topoğrafya olarak da nitelendirilen bu değişken hemen her doğal afetin meydana gelmesinde veya meydana geliş biçiminde etkili rol oynamaktadır. Genellikle yüksek noktalar taşkınların daha az meydana geldiği, düşük rakımlı noktalar ise taşkınların daha sık görüldüğü noktalar olarak literatürde öne sürülmüştür (Arora ve ark., 2021). Bu gerçek arazi kullanım yapısı ve bölgelerin eğim karakteristiklerine göre de istisnalara sahiptir.

2) Eğim: Bu faktör suyun daha çok nehirden uzaklaşmasını veya nehre yakınsamasını kontrol etmektedir. Eğim değerlerinin düşük olduğu bölgelerde taşkınların daha fazla beklenmektedir (Fang ve ark., 2020). Yüksek noktalarda ise suyun yer çekiminin de etkisi ile düşük rakımlı bölgelere taşınması dolayısıyla ani seller daha az görülmektedir.

3) Bakı: Bu faktör özellikle toprak nem içeriği ile yüksek oranda ilişkilidir. Yoğun güneşe maruz kalan topraklarda toprak su içeriği görece daha az olacağından ani sellerin daha az olacağı, doymuş topraklarda ise taşkın olaylarının daha sık görüleceği beklenmektedir.

4) Eğrilik: Eğrilik, içbükey ve dışbükey gibi farklı şev oluşum şekillerine dayalı şev stabilitesini yansıtmaktadır. Yüzey suyun drenajında önemli olan eğrilik faktörü, plan ve profil eğriliği olarak ikiye ayrılmaktadır.

5) Akarsu yoğunluğu: Yüzey akışının yayılmasını ve bu yayılmanın büyüklüğünü kontrol ettiği için taşkınlar açısından önemlidir. Akarsu yoğunluğunun fazla olduğu bölümlerde bölgenin arazi kullanım yapısına da bağlı olmakla birlikte taşkınların sayısında genellikle artış gözlemlenmektedir. Akarsu yoğunluğu raster haritası ArcMap 10.3 bünyesinde yer alan ve her hücrenin etrafındaki bir yarıçap içinde kalan çoklu çizgi (*polygon*) özelliklerinden birim başına büyüklük hesaplayan “line density” aracı ile sayısal değer kazanmıştır. Elde edilen raster harita diğer girdilerle homojen özellik taşıması bakımından sayısal yükseklik verisi ile aynı çözünürlük olan 30m x 30m piksel büyüklüklerinde üretilmiştir.

6) Akarsuya uzaklık: Bu faktör hidro-morfolojik açıdan büyük öneme sahiptir. Öyle ki, akarsuya yakın olan bölgeler taşkınlar açısından diğer bölgelere nazaran daha riskli olarak ön plana çıkmaktadır. Akarsuya uzaklık kriterinin elde edilmesinde Öklid uzunluğundan yararlanılarak 30m x 30m çıktı raster dosyası ArcMap 10.3 ile elde edilmiştir.

7) Şiddetli yağış: Bu faktör ile bölgede meydana gelen daha yüksek tekerrür aralığına sahip yoğun yağış olaylarının olasılığı tanımlanmaktadır. Şiddetli yağış olayları genellikle toprak neminin doymuşlaşmasına yol açmaktadır. Böylelikle, şev içindeki basınca bağlı olarak şev duyarsızlığı meydana gelebilmektedir (Kim ve ark., 2012). Tabii olarak, şiddetli yağışların daha çok görüldüğü bölgelerde ani sellerin de meydana gelmesi sıklaşmaktadır.

8) Litoloji: Bir bölgenin jeolojik özelliklerinin tanımlanmasında kullanılmaktadır. Farklı litoloji tiplerinde şev stabilitesi de farklılık göstermektedir ve buna bağlı olarak, toprak kayma gerilmelerinde değişkenlikler meydana gelmektedir.

9) Eğri numarası: Eğri numarası hesaplanma stratejisi gereği arazi kullanımı, toprak tipi ve toprak nemi gibi kriterleri içerisinde barındırmaktadır (Jaafar ve ark., 2019). Özel olarak ise, bölgenin geçirimsizlik durumunu temsil etmek için kullanılmaktadır. 0 ile 100 arasında değişen eğri numarası arttıkça geçirimsizlik de artar ve taşkın olaylarının görülme olasılığı artmaktadır (Costache ve ark., 2020).

10) NDVI: Bitki yoğunluklarına bağlı olarak yüzeyin yansıtıcılık özelliklerini nicel olarak tarif etmektedir. Bir bölgede NDVI değerinin artması o bölgedeki yeşil alanın fazlalığını ve yağışa bağlı olarak oluşan yüzey suyunun daha geç akışa geçmesini temsil etmektedir. Dolayısıyla, bu gibi bölgelerde taşkın olaylarının daha az meydana gelmesini sağlamaktadır.

11) TWI: Genel olarak bir bölgedeki toprağın ıslaklığının nicel olarak ifade edilme yöntemidir. Topoğrafik özellikler ve toprak nemi ile doğru orantılı olarak nehir çıkışına doğru yer çekimi göz önüne alınarak hareket edildiğinde, TWI değerleri artma eğilimindedir (Andaryani ve ark., 2021).

12) TRI: Bu faktör bir havzanın lokal topoğrafik koşulları ile ilişkili olmakla birlikte, topoğrafyanın heterojenliğini nicel olarak açıklayan bir indekstir (Riley ve ark., 1999).

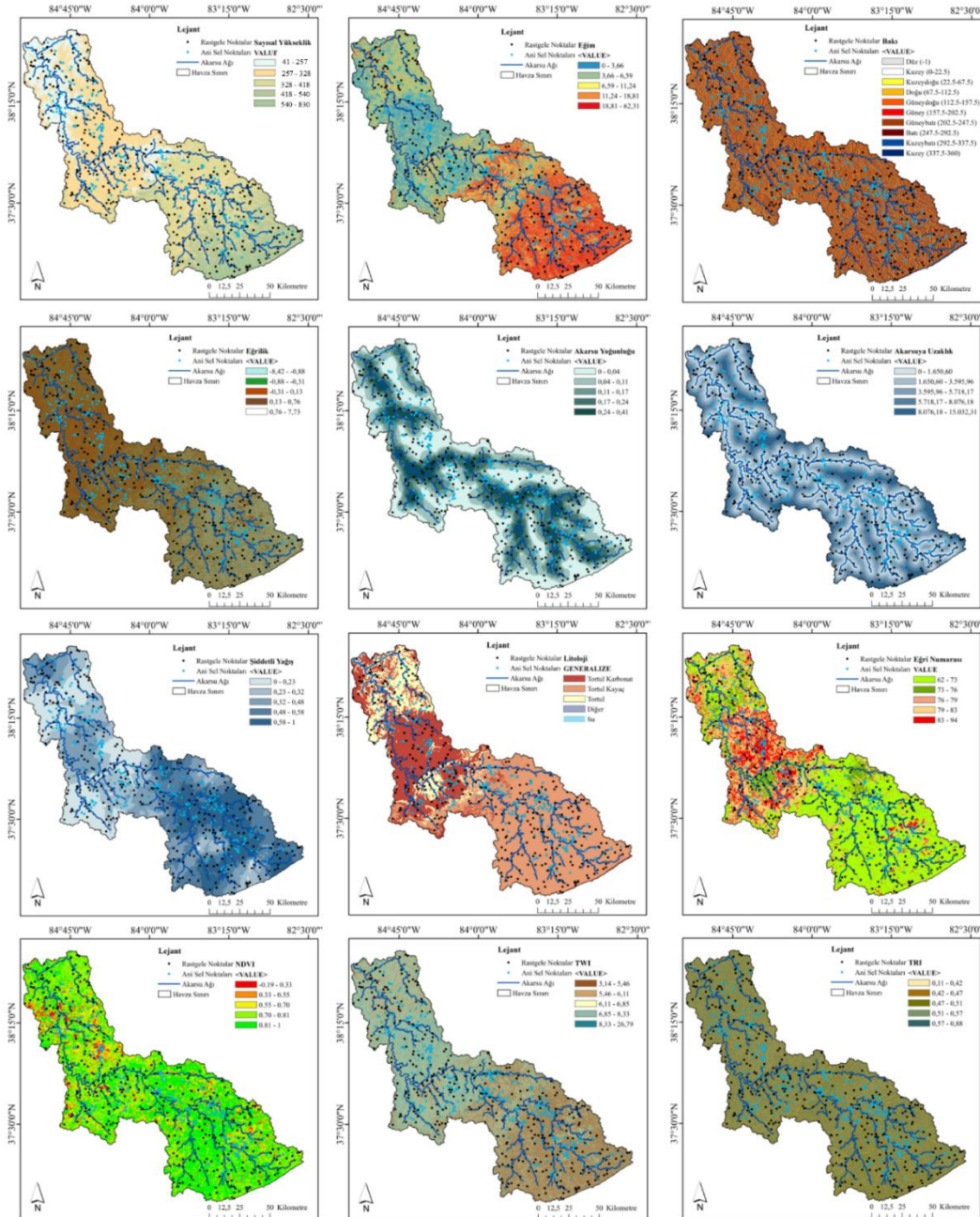
Çalışmada kullanılan ani selleri tetikleyici faktörlere karşılık gelen istatistiksel bilgiler Çizelge 2’de verilmiştir.

Çalışmada kullanılan ani sellerin tetikleyen 12 adet parametre veri erişilebilirliği ve kullanım kolaylığı gözetilerek seçilmiştir. Öyle ki, bu parametrelerden birçoğu ücretsiz olarak çevrimiçi erişilebilirliği bulunan ve 30m x 30m uzamsal çözünürlüğe sahip sayısal yükseklik haritasından elde edilmiştir. Bu parametreler eğim, bakı, eğrilik, akarsu yoğunluğu, akarsuya uzaklık, TWI ve TRI olarak sıralanabilmektedir.

Çizelge 2. Çalışma kapsamında kullanılan girdi değişkenlerine ait istatistiksel özet

Faktör	Birim	Minimum	Ortalama	Maksimum	Standart Sapma
Sayısal yükseklik	m	123	314.5742	830	92.7356
Eğim	derece	0	12.3262	43.8533	8.8513
Bakı	-	0	178.7057	359.2930	102.9426
Eğrilik	-	-2.9439	-0.0740	3.0808	0.6264
Akarsu yoğunluğu	-	0	0.1265	0.3867	0.0877
Akarsuya uzaklık	m	0	3021.2398	12497.7002	2595.2947
Şiddetli Yağış	-	0	0.4687	1	0.2357
*Litoloji	-	-	-	-	-
Eğri numarası	-	0	76.4117	91	7.4414
NDVI	-	0	0.7435	0.9918	0.1451
TWI	-	3.7858	7.2205	23.6912	2.4393
TRI	-	0.1944	0.4881	0.8333	0.0894

* Litoloji faktörü sınıfsal bir değişken olduğundan çizelgede yer verilmemiştir. Bu çalışmada kullanılan çalışma alanında gözlenen litoloji sınıfları dörde ayrılmaktadır: LT2: Tortul karbonat, LT3: Tortul kayca, LT4: Tortul, LT6: Diğer)



Şekil 2. Çalışmada yararlanılan ani sel tehlikesini tetikleyen faktörlerin harita gösterimi

Söz konusu parametrelerin yanı sıra, şiddetli yağış olasılığı verisi Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi (NOAA)'nin sitesinden (<https://www.noaa.gov/>) doğrudan ücretsiz olarak elde edilmiştir. Ayrıca, odaklanılan bölgeye ait litoloji verisi Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu (USGS) kaynakları (<https://www.usgs.gov/>) içerisinde elde edilmiştir. Bu araştırma kapsamında sel duyarlılık analizlerinde kullanılan eğri numarası (CN) parametresi ve NDVI parametresine dair veriler ise sırasıyla Jaafar ve ark., (2019) ve Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Terra 6 kaynaklarından temin edilerek Kentucky havzası özelinde uygulanmıştır.

Ani Sel Geçmiş Kayıtları

Veriye dayalı tahmin metotları kullanımında en önemli çıkış noktası geçmişte yapılan ölçümlerdir. Bu ölçümler gerek sınıflandırma gerekse de regresyon problemlerinde ileriye dönük gerçekleştirilecek projeksiyonlara temel teşkil etmektedir. Bu bağlamda, geçmişte meydana gelen taşkın olaylarına ait kayıtların da tutulması geleceğe dönük taşkın haritalama çalışmaları için ciddi önem arz etmektedir. Bu çalışma kapsamında kullanılan makine öğrenmesi yöntemlerine dayalı ani sellerin haritalanması çalışmasında ise benzer şekilde son yirmi yılda (2000-2020) Kentucky Nehri havzasında taşkın kayıtlarından yararlanılmıştır. İlgili veriler Amerika Birleşik Devletleri'ne bağlı Ulusal Çevresel Bilgi Merkezine (NCEI 2021) kurumuna ait internet sitesinden açıkça erişilebilir konumda olduğundan doğrudan temin edilmiştir. Bu doğrultuda, Kentucky Nehri havzası sınırları içerisinde meydana gelmiş olan 343 ani sel olayına ait koordinat verilerinden yararlanılmıştır. Bu veriler Google Earth yazılımı ve ArcGis 10.3 yazılımları yardımıyla coğrafi bilgi sistemine aktarılmış ve analizlere ait geri kalan veriler bu noktalar özelinde temin edilmiştir. Tahmin işlemlerinin adil bir platformda gerçekleştirilebilmesi için ise ani sel sayıları ile aynı sayıda (343) rastgele nokta (ani sel olmayan nokta olarak) belirlenmiştir. Bu noktalar belirlenirken ArcGis 10.3 yazılımının içerisinde yer alan Rastgele Nokta Oluştur (Create Random Points) fonksiyonundan yararlanılmıştır. Toplamda elde edilen 686 noktaya tekabül eden tüm girdi değişkenlerine ait sayısal ve kategorik veriler tanıtılmış olup, tüm veri seti %70 eğitim seti ve %30 test seti olmak üzere iki ana gruba ayrılmıştır. Oluşturulan melez makine öğrenmesi metodunun performans değerlendirmesinde ise test setinden yararlanılmıştır.

Rastgele Orman Algoritması

Rastgele Orman (RF) algoritması ilk olarak Breiman, (2001) tarafından hem sınıflandırma hem de regresyon problemlerinin çözümünde kullanılmak üzere ortaya atılmıştır. RF metodu parametrik olmayan bir metottur ve özelinde torbalama (bagging) ve önyükleme (bootstrapping) yöntemlerinin kombine uygulanmasını esas almaktadır. Torbalama işleminde çoklu ağaçların kararları toplanıp, önyükleme işleminde ise en uygun dallanmanın belirlenebilmesi için rastgele bir biçimde alt-örneklemeler gerçekleştirilmektedir. En uygun dallanmanın belirlenmesinde kantitatif olarak kullanışlı bir gösterge olan Gini indisi kullanılmaktadır (Liu ve ark., 2021; Xu ve ark., 2022). Gini indisi ayrıca seçilen alt-örneklemeler arasındaki homojeniteye de odaklanmaktadır (Goswami ve ark., 2018). Öyle ki, Gini indisindeki azalma modeldeki heterojeniteyi artırmakta iken, indis değerinde artış görülmesi homojenitenin artmasına işaret etmektedir (Habba ve ark., 2018). RF metodu karar ağaçlarının oluşturulması için geleneksel olarak gösterilen sınıflandırma ve regresyon ağaçları (CART) yöntemini kullanmaktadır (Ekmekcioğlu ve ark., 2020). Fakat, CART' dan farklı olarak RF algoritmasında eğitim için ayrılan veri setine göre sınırlı hassasiyete sahip olunması ve görece daha düşük varyans değerlerini sağlaması avantaj sağlamaktadır. Bunun yanı sıra, RF metodu diğer ağaç tabanlı algoritmalarına nazaran kullanım kolaylığı, eksik verileri tahmin etme becerisi, aykırı değerleri ayıklama becerisi ve çok girdiye sahip yüksek boyutlu veri setlerindeki tahmin başarısı gibi nedenler ile daha sık olarak kullanılmaktadır.

RF algoritmasında dikkat edilmesi gereken en önemli nokta ise yöntemin aşırı öğrenmeye meyilli olmasıdır. Bu nedenle, RF yönteminin kullanılmasında eğitim setinin optimizasyon algoritmaları ile eğitilmesi ve çapraz doğrulama ile valide edilmesi önerilmektedir (Koc ve ark., 2021). Bu sayede, algoritmanın iç parametreleri optimize edilir ve veri setine uygun bir model konfigürasyonunun oluşturulması sağlanmaktadır.

Parçacık Sürü Optimizasyonu

Kuşların doğada hareket etme davranışlarını esas alan PSO yöntemi Kennedy ve Eberhart, (1995) tarafından önerilmiş ve sonrasında literatürde en yaygın olarak kullanılan stokastik meta sezgisel algoritmalar arasına girmiştir. PSO algoritmasında iteratif bir süreç izlenmek suretiyle parçacıkların arama uzayı arasındaki lokasyonları ayarlanmaktadır. En uygun sonuç ise yine bu parçacıkların uzaydaki hareket hızına ve pozisyonuna bağlı olarak bulunmaktadır. Her bir parçacık için uygunluk değeri (fitness value) hesaplanılarak optimizasyon süreçleri gerçekleştirilmektedir. Aşağıda yer alan Denklem 1 ve Denklem 2’de hesaplanma yöntemleri ifade edilen parçacık hızı ve pozisyonu en iyileme sürecinde kilit rol oynamaktadır:

$$V_i(t + 1) = wV_i(t) + r_1c_1 (x_{pbest_i} - x_i(t)) + r_2c_2 (x_{gbest_i} - x_i(t)) \quad (1)$$

$$x_i(t + 1) = x_i(t) + V_i(t + 1) \quad (2)$$

Burada, V ve x sırasıyla parçacık hızı ve pozisyonunu ifade etmektedir. Ayrıca, P_{best} ise i parçacığının optimum lokasyonunu ve G_{best} ise bu parçacığın her bir iterasyondaki en uygun değerini ifade etmektedir. r_1 ve r_2 değişkenleri 0 ve 1 arasında değişen ve üniform olarak dağılım karakteristiği gösteren rastgele değerleri temsil etmektedir. w ise eylemsizlik ağırlığını gösterirken, C_1 ve C_2 değişkenleri sırasıyla bilişsel bileşeni (cognitive component) ve sosyal bileşeni (social component) göstermektedir. Tipik bir PSO algoritmik süreci şu şekilde özetlenebilmektedir. Öyle ki, süreç konum ve hız bilgilerini içeren rastgele oluşturulmuş sürüler aracılığıyla başlatılır ve popülasyondaki parçacıklar için uygunluk değeri, amaç fonksiyonuna dayalı olarak hesaplanmaktadır. Daha sonra, yerel ve global optimumlar elde edilir ve her parçacığın hız ve konum bilgisi güncellenip gerekli yer değiştirmesi gerçekleştirilmektedir. Son olarak ise, aramanın sonlandırılması için önceden belirlenen kriter sağlandığı takdirde arama sonlandırılır veya istenilen yakınsama gerçekleştirilene kadar ikinci adıma geri dönülerek tüm işlemler tekrarlanmaktadır.

Performans Değerlendirme Metrikleri

Sınıflandırma problemlerinde makine öğrenmesi algoritmalarının performans değerlendirmelerinin gerçekleştirilebilmesi için birçok kriter mevcuttur. Bu kriterler arasında en yaygın olarak kullanılanları precision, recall, F-1 skoru, ve ROC eğrisinin altında kalan alan (AUROC)’dır. İkili sınıflandırma problemlerinde bu kriterlerin hesaplanabilmesi için ise detayları Çizelge 3’de sunulan dört farklı alt-metrik yer almaktadır: Gerçek Pozitif (TP), Yanlış Negatif (FN), Yanlış Pozitif (FP), ve Gerçek Negatif (TN).

Çizelge 3. Sınıflandırma problemlerinde performans değerlendirmesindeki olası senaryolar

		Tahmin Edilen Durum	
		Evet	Hayır
Gözlenen Durum	Evet	Gerçek Pozitif (TP)	Yanlış Negatif (FN)
	Hayır	Yanlış Pozitif (FP)	Gerçek Negatif (TN)

Burada Gerçek Pozitif (TP) pozitif örneklere göre doğru tahminlerin sayısını gösterirken, Yanlış Negatif (FN) pozitif örneklere göre yanlış tahminlerin sayısını temsil etmektedir. Ayrıca, Yanlış Pozitif

(FP) ve Gerçek Negatif (TN) ise sırasıyla negatif örneklere göre yanlış tahminlerin sayısını ve negatif örneklere göre doğru tahminlerin sayısını temsil etmektedir. Tüm bu hesaplamalara göre belirlenen Precision ve Recall değerleri sırasıyla Denklem 3 ve Denklem 4 ile belirlenmektedir:

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (3)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (4)$$

Bu çalışma kapsamında ayrıca PSO-RF melez modeli F-1 skoru (F) metriğine göre değerlendirilmiştir. Öyle ki, F değerinin hesaplanmasında precision ve recall metriklerinin harmonik ortalamalarından yararlanılmaktadır:

$$F = \frac{2 \times precision \times recall}{precision + recall} \quad (5)$$

AUROC metriği ise 0.5 ve 1 arasında değişkenlik göstermektedir. AUROC ayrıca alıcı işletim karakteristik eğrisi (receiver operating characteristic curve) ile görsel hale getirilmiştir. Bu grafiğin x eksenini ve y eksenleri ise sırasıyla yanlış pozitif oranı ($FPR=FP/(FP+TN)$) ve gerçek pozitif oranı (TPR, yani, recall) değerlerinin işlenmesi ile elde edilmektedir (Ekmekcioğlu ve ark., 2022). AUROC, ikili sınıflandırma problemlerinde makine öğrenmesi algoritmalarının performans ölçümlerinde en yaygın olarak kullanılan ve en güvenilir yöntemlerden biri olarak literatürde yerini almıştır (Ekmekcioğlu ve Koc, 2022).

BULGULAR VE TARTIŞMA

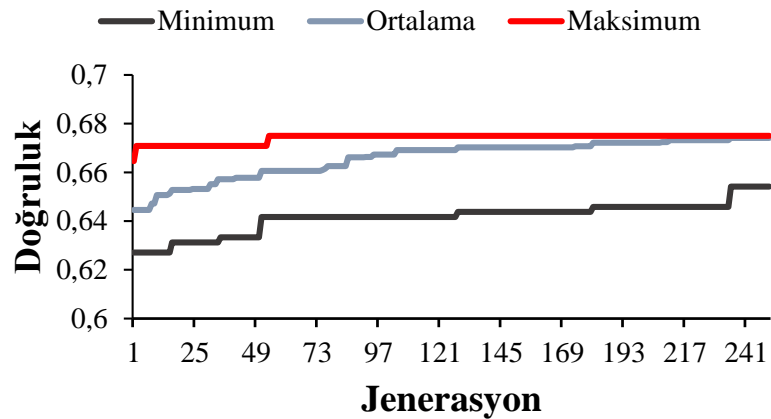
Bu çalışma kapsamında yapılan ani sel analizlerinde kullanılan makine öğrenmesi yöntemi olarak rastgele orman algoritması en uygun model konfigürasyonunun sağlanması adına parçacık sürü algoritmasına tabi tutulmuştur. Literatürde sıklıkla kullanılan RF algoritması ile farklı problemler için farklı içsel parametreler kullanılmakla birlikte, içsel parametrelerin analizi yapılacak probleme uygun olarak ayarlanması oldukça önem arz etmektedir. Bu noktada eğitim setinden yararlanılmaktadır. Yani, tüm veri seti öncelikle %70'i eğitim seti ve %30'u test seti olmak üzere iki ana gruba ayrılmış ve sonrasında eğitim seti kendi içerisinde 5-fold çapraz doğrulama uygulanmak suretiyle modellenmiştir. Bu işlem ile hem aşırı öğrenmenin önüne geçilmiş olup hem de adil bir eğitim modeli kurulmuştur. RF algoritmasında optimum hale getirilmesi için ise iki adet içsel parametre seçilmiştir. Bunlar ağaç sayısı ve ağaç derinliğidir. Öte yandan minimum ayrılan örneklem sayısı (minimum number of samples split) parametresi ise optimizasyon sürecinin daha kısa ve efektif sürdürülmesinin yanı sıra model performansında diğer iki parametreye göre görece daha az etkisi olduğu bilindiğinden dolayı sabit tutulmuştur. Bu doğrultuda, ağaç sayısı ve ağaç derinliği parametreleri sırasıyla 10 ile 200 ve 1 ile 50 aralıklarında 10'ar ve 1'er adımlar ile aranmıştır. Minimum ayrılan örneklem sayısı parametresi ise 9 olarak belirlenmiştir. Algoritma sürecinin adil olarak gerçekleştirilmesi ve her bir iteratif süreçte aynı eğitim ve test setlerinin kullanılması için ise random state parametresi 0 olarak belirlenmiştir. Eğitim seti içerisinde kullanılan PSO algoritmasında ise RF yöntemi gibi birçok içsel parametre mevcuttur. Literatürde birtakım çalışmalar da aynı RF' de gerçekleştirildiği gibi PSO algoritmasının da genetik algoritma gibi geleneksel meta sezgisel algoritmalar gibi yöntemler ile optimize edilmesini gerçekleştirirse de yaygın olarak kullanılan yöntem PSO parametrelerinin deneme yanılma ile belirlenmesi yönündedir. Bu çalışmada PSO algoritmasının içsel parametrelerinin belirlenmesinde detaylı bir literatür taraması gerçekleştirilmiş ve parametreler bu yol ile belirlenmiştir. RF ve PSO algoritmalarına ait optimize edilen ve kabulü gerçekleştirilen içsel parametreler Çizelge 4' de özetlenmiştir.

Çizelge 4. Sınıflandırma problemlerinde performans değerlendirmesindeki olası senaryolar

Metot	İçsel parametre	Değer aralığı	Arama adımı	Optimum değerler	Toplam Kombinasyon	Optimizasyon Süresi (s)
RF	Ağaç sayısı	10-200	10	100	1000	97.2
	Maksimum ağaç derinliği	1-50	1	7		
	Minimum ayrılan örneklem sayısı	Sabit	-	9		
	Random state	Sabit	-	0		
PSO	Popülasyon sayısı	-	-	100	-	-
	Bilişsel bileşen	-	-	2.8		
	Sosyal bileşen	-	-	1.45		
	Eylemsizlik ağırlığı	-	-	0.3		
	Minimum parçacık hızı	-	-	-1.5		
	Maksimum parçacık hızı	-	-	12		

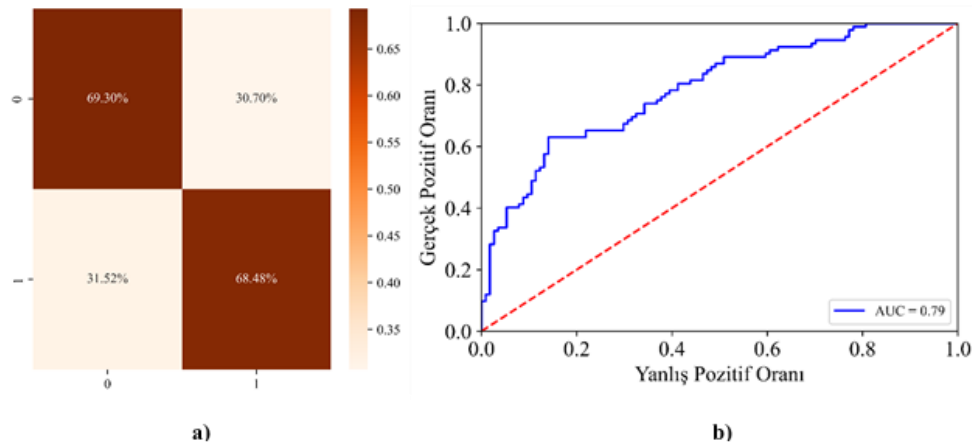
Not: Yapılan optimizasyon işlemleri AMD Ryzen 5900X 12-Çekirdekli işlemci (Windows 10, 3.70 GHz ve 32.9 GB RAM) özelliklerine sahip iş istasyonu ile gerçekleştirilmiştir.

Ek olarak, RF algoritmasının eğitim setinin tabii tutulduğu PSO algoritması ile gerçekleştirilen öğrenme sürecinde amaç fonksiyonu olarak Accuracy indikatörü belirlenmiştir. Sınıf dengesizliğinin olmadığı ikili sınıflandırma problemlerinde en yaygın olarak Accuracy kullanıldığı literatürde sıklıkla ifade edilmiştir. Bu çalışmada gerçekleştirilen optimizasyon sürecinde elde edilen doğruluk değerleri de her bir jenerasyonda (iterasyon) hesaplanmıştır. Her bir optimizasyon adımında elde edilen minimum, ortalama ve maksimum doğruluk değerleri Şekil 3’de grafiksel gösterim ile ifade edilmiştir. Optimizasyon süreçleri çalışma prensipleri gereği en iyileme işlemine odaklandığından dolayı maksimum doğruluk ile ilgilenmektedir ve sonuçları bu yaklaşım ile sunmaktadır. Bu çalışmada gerçekleştirilen optimizasyon kapsamında ise 53. iterasyonda elde edilen RF parametreleri ile en iyileme gerçekleştirilmiştir. Yani Çizelge 4’ de elde edilen ağaç sayısı ve maksimum ağaç derinlikleri bu iterasyonda elde edilmiştir. Arama uzayında belirlenen toplam jenerasyon sayısı da 250 olarak seçilmiştir. Yakınsama grafiklerine göre maksimum doğruluk değerlerinde 53. iterasyondan sonra herhangi bir değişim gözlenmediğinden dolayı maksimum iterasyon değerinin 250’den fazla olmasına gerek olmadığı gözlemlenmektedir.

**Şekil 3.** Melez PSO-RF algoritmasına ait eğitim veri setine göre yakınsama grafikleri

Optimizasyon süreci neticesinde elde edilen optimum model konfigürasyonuna göre model inşası gerçekleştirilmiş ve test veri setine bu model uygulanmıştır. Test verisine uygulanarak elde edilen model sonuçları ise gerçek gözlem değerleri ile karşılaştırılarak modelin test performansı değerlendirilmiştir. Bu performans değerleri melez PSO-RF modeline daha önce hiç tanıtılmayan bir veri seti olduğundan

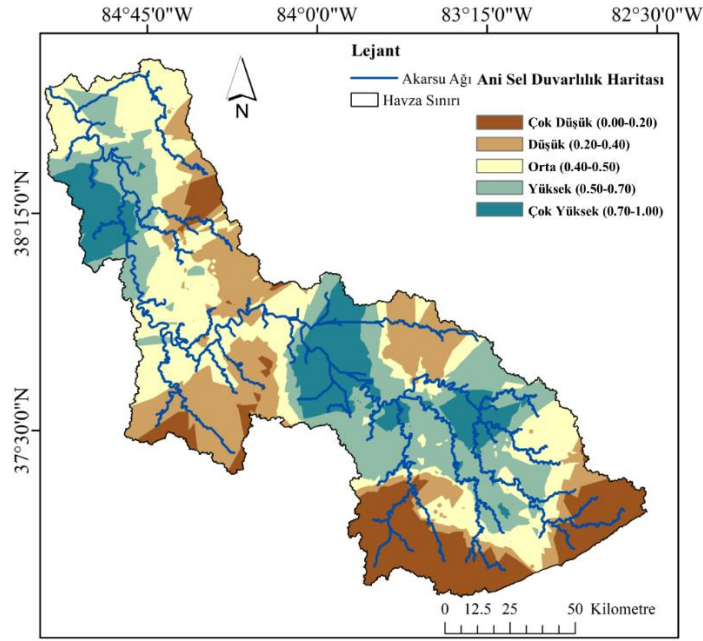
dolayı modelin gerçek performansını yansıtmaktadır. Test veri seti kullanılarak elde edilen model başarısı hata matrisi (confusion matrix) (Şekil 4a) ve AUROC grafiği (Şekil 4b) ile görsel olarak ifade edilmiştir. Şekil 4a incelendiğinde melez PSO-RF modelinin ani sel olmayan durumların %69.30' unu doğru tahmin ettiği ve ani sel olan durumların %68.48' ini doğru tahmin ettiği gözlemlenmektedir. Öte yandan, her iki senaryo için de yaklaşık %30' luk bir hata payı mevcuttur. Bu hata payının sebebi görece büyük bir havzada meydana gelen ani sel sayılarının az olmasından doğmaktadır. İkili sınıflandırma problemlerinde de diğer sınıflandırma ve regresyon problemlerinde olduğu gibi genel olarak örneklem sayısı arttıkça modelin öğrenme becerisi artacak ve benzer doğrultuda modelin test verisi ışığındaki performansı da yükselme göstermektedir. Ayrıca, havzanın sınırları içerisinde yer alan arazi kullanım tiplerinin lokal olarak büyük farklılıklar içermesi de makine öğrenmesi modellerinin başarı performansında düşüklüklere sebebiyet verebilmektedir. Bu bağlamda, hata matrisi sadece baz alınması gereken bir performans başarı göstergesi değildir. Melez PSO-RF modelinin performansı ayrıca hesaplanan AUROC değeri göz önünde bulundurularak değerlendirildiğinde oldukça başarılı olarak göze çarpmaktadır. Zira, literatürde sınıflandırma problemlerinin performans değerlendirmesi ile ilgili yapılan tartışmalarda özellikle ikili sınıflandırma problemlerinde AUROC değerlerinin 0.8 ve daha üzeri değerleri elde edildiğinde modelin çok yüksek bir performans başarısına sahip olduğu kabul edilmektedir. Bu çalışmada kullanılan modele ait AUROC değeri de 0.79 olarak elde edilmiştir (Şekil 4b). Test veri seti için oldukça yüksek olan bu değer literatürce yüksek performansı gösteren 0.8 değerine oldukça yakındır.



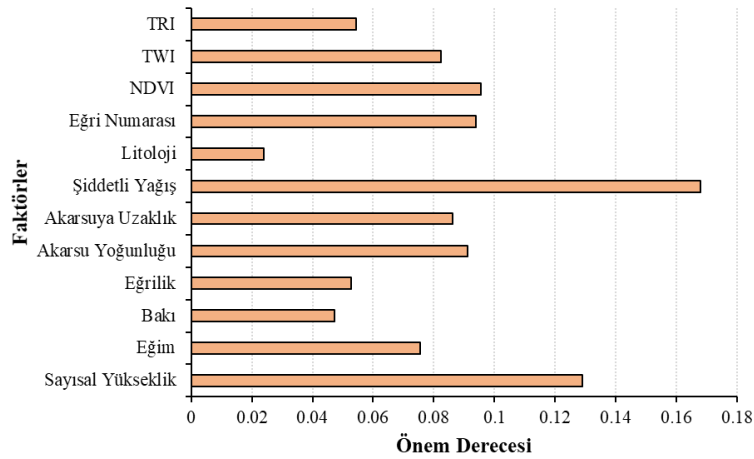
Şekil 4. Melez PSO-RF modeline ait test verisi göz önüne alınarak elde edilen hata matrisi ve AUROC grafiği

Makine öğrenmesi yöntemlerine dayalı taşkın haritalaması çalışmalarında elde edilen sonuçlar harita üzerinde interpolasyon yöntemleri ile yayıldığında bölgesel bağlamda taşkın tehlike haritaları elde edilebilmektedir. Bu çalışma kapsamında da test için ayrılan veri seti için yapılan tahmin sonuçları her bir nokta için elde edilmiş olup, harita üzerinde 0 (ani sel olmaz) ve 1 (ani sel olur) olacak şekilde noktasal bazda tanıtılmıştır. Daha sonra ise ArcGis 10.3 yazılımı kullanılarak Kriging yöntemi ile interpolate edilmiştir. İnterpolasyon neticesinde elde edilen haritada ise grid bazında elde edilen değerler Jenk's Natural Break Metodu kullanılarak beş farklı kategoriye (Çok düşük, düşük, ortalama, yüksek ve çok yüksek tehlikeli) ayrılmıştır. Natural Breaks (Jenks) yöntemi, CBS ve mekânsal istatistiklerde kullanılan bir veri sınıflandırma tekniğidir. Bir veri kümesindeki benzer değerleri istatistiksel özelliklerine göre bir dizi sınıf veya küme halinde gruplandırmak için kullanılır (Lu ve ark., 2021). Ayrıca, bu çalışmada adapte edilmesinin sebepleri ise birçok çalışmada yaygın olarak kullanılması (Tang ve ark., 2020; Saha ve ark., 2021), optimal sınıflandırma sağlama yeteneği (Hou ve ark., 2022), parametrik olmayan yapısı ve kullanım kolaylığıdır (Long ve ark., 2022).

Söz konusu beş kategoriye ve karşılık gelen alanları içeren Kentucky Nehri havzasına ait ani sel duyarlılık haritası Şekil 5' de sunulmuştur. Bu harita incelendiğinde farklı kategorilere bölünmüş duyarlılık alanlarının havza geneline homojen dağıldığı gözlemlenmektedir. Ayrıca, havzanın özellikle kuzeybatı ve güneye bakan orta kesimlerinde yüksek ani sel riski görülmektedir. Öte yandan, havzanın dik eğimlere sahip yüksek kesimlerinin yer aldığı güney kısmında ise ani sel riski oldukça düşük olarak gözlemlenmektedir. Ayrıca, havzanın kuzey doğuya bakan orta kesimlerinde ise yüksek eğri numarasına sahip kentsel bölgeler yer almasına rağmen, bu kesimlerin görece düşük ani sel tehlikesi ile karşı karşıya olduğu ifade edilebilmektedir. Bunun sebebi ise söz konusu bölgelerdeki yağış rejimleri ile açıklanabilmektedir. Öyle ki, bu bölgelerde şiddetli yağış dağılımlarına göre yüksek tekrür aralığına sahip yağışların seyrek olduğu gözlenmektedir. Özellikle şiddetli yağış faktörünün Şekil 6' da ifade edilen faktörlerin önem derecelerinin sıralanmasında en yüksek önem derecesine sahip olduğu düşünüldüğünde bu sonuç beklenebilmektedir. Bu çalışmada değişkenlerin önem sıralamasının belirlenmesi için ise RF algoritmasındaki her ağaçta bölme işlemlerinin verimliliğine dayan önem puanları hesaplanmaktadır. Bu işlem, tahmin edilen hedef değişkenin varyansındaki azalmanın ölçüsüne dayanmaktadır. Yani, bir değişkenin eklenmesiyle elde edilen azalmayı, o değişkenin eklenmediği durumda elde edilen azalmaya oranlayarak değişkenlerin önem puanları hesaplanıp, sonrasında bu önem puanları toplanarak değişkenlerin tahmin başarısındaki göreceli önemi belirlenmektedir (Breiman, 2001). Şekil 6' da sunulan önem dereceleri incelendiğinde en yüksek ikinci sırada yer alan faktör ise sayısal yükseklik verileri ile açıklanan topoğrafya kriteri ön plana çıkmaktadır. Yüksek kotlu bölgelerde ani sel tehlikesinin istisnai durumlar dışında diğer bölgelere göre daha düşük olduğu literatürde yer alan birçok çalışmada ifade edilmiştir (Abedi ve ark., 2021). Şekil 6 incelendiğinde şiddetli yağış ve sayısal yükseklik faktörlerini sırasıyla NDVI ve eğri numarası takip etmektedir. Bu iki faktörün önem dereceleri arasında oldukça yakın bir fark çıkması anlaşılabilir haldedir. Çünkü NDVI ve eğri numarası faktörleri havza karakteristikleri açısından benzer göstergelere işaret etmektedir (Darabi ve ark., 2021). Aralarında ters korelasyon olan bu iki faktöre göre yüksek NDVI değeri olan bölgelerde yeşil alan miktarının fazla olduğu, dolayısıyla karşılık gelen bölgelerin düşük eğri numarasına sahip olacağı ifade edilebilmektedir. Düşük eğri numarasına sahip bölgeler arazi kullanım yapısı bakımından daha çok dağlık/ormanlık bölgeleri göstermektedir (Norallahi ve Seyed Kaboli, 2021). Bu bölgelerde yağın öncelikle toprağın doymasını sağlayacak ve yer altı suyunun beslenmesine katkı sağlayacak, sonrasında ise toprak doygunluk derecesine eriştiği durumda yüzey akışına dönüşerek sel tehlikesi oluşturacaktır. Havzanın kuzey batısına bakan kesimlerde düşük NDVI değerleri gözlemlendiğinde bu bölgelerde ani sel tehlikesinin diğer faktörlerin (yüksek geçirimsizlik ve düşük eğim) de katkısıyla yüksek olması anlaşılabilir hale gelmektedir. Faktörlerin önem dereceleri sıralamasında yukarıda ifade edilen dört faktörü birbirleriyle ilişkili olan ve önem dereceleri açısından oldukça az bir fark gösteren akarsu yoğunluğu, akarsuya uzaklık ve TWI faktörleri takip etmektedir. Bu noktada, havzanın güneye bakan orta kesimlerinde yüksek akarsu yoğunluğu ve düşük akarsuya uzaklık değerleri yukarıda bahsedilen faktörlere sel tehlikesinin artması bakımından önemli katkı sağlarken (Arabameri ve ark., 2020), havzanın güney batısına bakan orta kesimlerinde havzanın çıkış noktasına da yakın olması sebebiyle meydana gelen yüksek TWI değerleri sel tehlikesinin yüksek çıkmasına önemli katkıyı gerçekleştirilmiştir. Faktörlerin önem dereceleri detaylı incelendiğinde ise litoloji faktörünün ani sel riski açısından diğer faktörlere göre çok daha az etkiye sahip olduğu ifade edilebilmektedir. Bu bağlamda, ilgili literatür incelendiğinde her ne kadar litoloji kriteri taşkın analizlerinde kullanılsa da bu kriter ana kayanın jeomekanik ve hidrolik özelliklerini doğrudan yansıttığı ve toprak örtüsünün özelliklerini etkilediği için (Catani ve ark., 2013) daha çok heyelan/toprak kayması afeti bakımından tetikleyici rol oynamaktadır (Rahmati ve ark., 2019; Tien Bui ve ark., 2019; Chen ve Li, 2020).



Şekil 5. Kentucky Nehri havzasına ait ani sel tehlikesi duyarlılık haritası



Şekil 6. Ani sel tehlikesinde etkili olan değişkenlerin önem dereceleri

Bu çalışmada litoloji kriterinin dahil edilmesinin nedeni ise ani yağışlara bağlı olarak meydana gelen toprak kopmaları beraberinde heyelan olaylarını ve bu olaylar neticesinde suyun çok hızlı bir şekilde yüksek kotlardan düşük kotlu bölgelere intikal etmesine sebebiyet verme ihtimali olarak gösterilebilmektedir. Tüm bu sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda özellikle kara kutu modeller olarak ifade edilen makine öğrenmesi yöntemleri ile sebep sonuç ilişkisi açıklanabilir bir ağaç tabanlı model (RF) oluşturulmuş ve RF modelinin içerisinde barındırdığı belirsizlikler PSO algoritması ile minimize edilmiştir. Çalışma sonucunda ise hem Kentucky Nehri havzasının sınırları içerisinde yer alan ani sel tehlikesine sahip bölgeler belirlenmiş hem de bu bölgelerde yüksek sel tehlikesini tetikleyen faktörler ifade edilmiştir.

SONUÇ

Taşkınlar sadece gerçekleştiği bölgelerde önemli yıkımlara sebebiyet verip mal ve can kaybına neden olmamakta, aynı zamanda bu bölgelerde altyapıların hasar görmesine, halka yapılacak hizmetlerin aksamasına ve dahi su kaynaklı kirlenmenin neden olduğu hastalıklara sebebiyet vermektedir. Özellikle iklim değişikliği ile birlikte yağış rejimlerinde meydana gelen değişimlerin ve dünya genelinde plansız yapılaşmaya bağlı kentleşmenin de etkileri ile taşkın afetlerin gerek sayısı gerekse de tahrip boyutları

artmaktadır. Bu çalışma kapsamında da Amerika Birleşik Devletleri'nin Kentucky eyaleti sınırları içerisinde yer alan ve eyaletin önemli bir kısmını kapsayan Kentucky Nehri havzası için ani sellere ait duyarlılık haritalarının oluşturulması amaçlanmıştır. Gerçekleştirilecek kapsamlı analizler için ise veri tabanlı makine öğrenmesi algoritmalarından yorumlanabilirliği artırma yeteneğine de sahip ağaç tabanlı rastgele orman algoritması kullanılmıştır. Öte yandan, RF metodunun eğitilmesi esnasında parçacık sürü optimizasyonu da entegre edilerek öğrenme sistemi kuvvetlendirilmiş ve 5-fold çapraz doğrulama sayesinde aşırı öğrenmeye dayalı problemlerin önüne geçilmesi sağlanmıştır. Bağımsız olarak ayrılan test veri seti ile öncesinde eğitimi gerçekleştirilen melez PSO-RF tahmin çerçevesi test edilerek model performansları elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre önerilen melez model geçmişte meydana gelen ani sel kayıtları ışığında yüksek tahmin performans başarısı göstermiştir. Ek olarak ise, bölgede alınabilecek aksiyonların ve risk azaltma stratejilerinin belirlenmesi adına uygulanan önem dereceleri sıralamalarına göre ise, Kentucky Nehri havzası için ani selleri öncelikli olarak tetikleyen faktörler şiddetli yağışlar, topoğrafya, NDVI ve eğri numarası olarak belirlenmiştir. Kentucky Nehri havzasında son yirmi yılda gerçekleşen ve kayıt altına alınan 343 adet ani sel noktalarına ait bilgiler ışığında yapılan analizler ile ilgili literatüre önemli bir katkı gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, analiz sonuçlarının bölgede görev yapan profesyonellere ve bu alanda benzer incelemeler yapacak araştırmacılara yol gösterici nitelikte olduğuna inanılmaktadır. Tüm bu yapılan analizlere rağmen, söz konusu çalışma halen birtakım sınırlamalar çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Örneğin, RF algoritması literatürde yer alan Adaboost, XGBoost gibi farklı ağaç tabanlı topluluk modelleri ile performans karşılaştırmasına tabi tutulup, sonuçların karşılaştırmalı gösterimi sağlanabilecektir. Ayrıca, bu çalışmada kullanılan PSO arama algoritmasına ilaveten genetik algoritma, gri kurt algoritması gibi farklı meta-sezgisel optimizasyon araçlarının da kullanılacak makine öğrenmesi yöntemlerine entegre edilmesi ve bunların performans karşılaştırılmasının yapılması gelecekteki çalışmalar için faydalı olabilecektir. Bu çalışmada kullanılan faktör önem ağırlıklarının incelenmesi metoduna ilaveten, faktörlerin ekstrem değerlerine dair davranışlarının sonuçlar üzerindeki etkilerinin incelenmesini sağlayan ve sonuçların yorumlanabilirliğine dair daha detaylı çıktılar sunan Shapley Additive Explanations gibi modelden bağımsız olarak çalışan farklı yaklaşımlar da sonraki çalışmalarda ilgili araştırmacılar tarafından entegre edilebilecektir. Kullanılan faktörler açısından ise örneğin, havzanın bağıl yükseklik farkını ortaya koyabilecek havzanın jeomorfolojik yaşına göre veya havzanın hipsometrik yükseklik eğimine göre sayısal/nicel analiz yapılması da sonraki çalışmalara ışık tutacaktır. Son olarak ise, bu çalışmada önerilen melez yaklaşımın hem Dünyada hem de Türkiye'de yer alan diğer havzalar özelinde de test edilebileceği ifade edilebilmektedir.

KAYNAKLAR

- Abedi, R., Costache, R., Shafizadeh-Moghadam, H., & Pham, Q. B. (2021). Flash-flood susceptibility mapping based on XGBoost, random forest and boosted regression trees. *Geocarto International*, 0(0), 1–18. <https://doi.org/10.1080/10106049.2021.1920636>
- Ali, S. A., Parvin, F., Pham, Q. B., Vojtek, M., Vojteková, J., Costache, R., ... Ghorbani, M. A. (2020). GIS-based comparative assessment of flood susceptibility mapping using hybrid multi-criteria decision-making approach, naïve Bayes tree, bivariate statistics and logistic regression: A case of Topľa basin, Slovakia. *Ecological Indicators*, 117(June), 106620. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106620>
- Andaryani, S., Nourani, V., Haghighi, A. T., & Keesstra, S. (2021). Integration of hard and soft supervised machine learning for flood susceptibility mapping. *Journal of Environmental Management*, 291(April), 112731. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112731>

- Arabameri, A., Saha, S., Mukherjee, K., Blaschke, T., Chen, W., Ngo, P. T. T., & Band, S. S. (2020). Modeling spatial flood using novel ensemble artificial intelligence approaches in northern Iran. *Remote Sensing*, 12(20), 1–30. <https://doi.org/10.3390/rs12203423>
- Arora, A., Arabameri, A., Pandey, M., Siddiqui, M. A., Shukla, U. K., Bui, D. T., ... Bhardwaj, A. (2021). Optimization of state-of-the-art fuzzy-metaheuristic ANFIS-based machine learning models for flood susceptibility prediction mapping in the Middle Ganga Plain, India. *Science of the Total Environment*, 750, 141565. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141565>
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45, 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- Catani, F., Lagomarsino, D., Segoni, S., & Tofani, V. (2013). Landslide susceptibility estimation by random forests technique: Sensitivity and scaling issues. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(11), 2815–2831. <https://doi.org/10.5194/nhess-13-2815-2013>
- Chen, W., & Li, Y. (2020). GIS-based evaluation of landslide susceptibility using hybrid computational intelligence models. *Catena*, 195(December 2019), 104777. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104777>
- Costache, R., Hong, H., & Pham, Q. B. (2020). Comparative assessment of the flash-flood potential within small mountain catchments using bivariate statistics and their novel hybrid integration with machine learning models. *Science of the Total Environment*, 711, 134514. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134514>
- Costache, R., Pham, Q. B., Sharifi, E., Linh, N. T. T., Abba, S. I., Vojtek, M., ... Khoi, D. N. (2020). Flash-flood susceptibility assessment using multi-criteria decision making and machine learning supported by remote sensing and GIS techniques. *Remote Sensing*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/RS12010106>
- Costache, R., & Tien Bui, D. (2019). Spatial prediction of flood potential using new ensembles of bivariate statistics and artificial intelligence: A case study at the Putna river catchment of Romania. *Science of the Total Environment*, 691, 1098–1118. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.197>
- Darabi, H., Torabi Haghighi, A., Rahmati, O., Jalali Shahrood, A., Rouzbeh, S., Pradhan, B., & Tien Bui, D. (2021). A hybridized model based on neural network and swarm intelligence-grey wolf algorithm for spatial prediction of urban flood-inundation. *Journal of Hydrology*, 603(PA), 126854. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126854>
- Ekmekcioğlu, Ö., Başakın, E. E., & Özger, M. (2020). Tree-based nonlinear ensemble technique to predict energy dissipation in stepped spillways. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 0(0), 1–19. <https://doi.org/10.1080/19648189.2020.1805024>
- Ekmekcioğlu, Ö., Koc, K., & Özger, M. (2021). Stakeholder perceptions in flood risk assessment: A hybrid fuzzy AHP-TOPSIS approach for Istanbul, Turkey. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 60(May). <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102327>
- Ekmekcioğlu, Ö., & Koc, K. (2022). Explainable step-wise binary classification for the susceptibility assessment of geo-hydrological hazards. *CATENA*, 216, 106379. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106379>
- Ekmekcioğlu, Ö., Koc, K., Özger, M., & Işık, Z. (2022). Exploring the additional value of class imbalance distributions on interpretable flash flood susceptibility prediction in the Black Warrior River basin, Alabama, United States. *Journal of Hydrology*, 610, 127877. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127877>
- Fang, Z., Wang, Y., Peng, L., & Hong, H. (2020). Integration of convolutional neural network and conventional machine learning classifiers for landslide susceptibility mapping. *Computers and Geosciences*, 139(February), 104470. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2020.104470>
- Gigović, L., Pamučar, D., Bajić, Z., & Drobnjak, S. (2017). Application of GIS-interval rough AHP methodology for flood hazard mapping in Urban areas. *Water (Switzerland)*, 9(6), 1–26. <https://doi.org/10.3390/w9060360>
- Goswami, S., Murthy, C. A., & Das, A. K. (2018). Sparsity measure of a network graph: Gini index. *Information Sciences*, 462, 16–39. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2018.05.044>
- Habba, M., Ameer, M., & Jabrane, Y. (2018). A novel Gini index based evaluation criterion for image segmentation. *Optik*, 168, 446–457. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2018.04.045>

- Hou, C., Xie, Y., & Zhang, Z. (2022). An improved convolutional neural network based indoor localization by using Jenks natural breaks algorithm. *China Communications*, 19(4), 291–301. <https://doi.org/10.23919/JCC.2022.04.021>
- Ikeuchi, H., Hirabayashi, Y., Yamazaki, D., Muis, S., Ward, P. J., Winsemius, H. C., ... Kanae, S. (2017). Compound simulation of fluvial floods and storm surges in a global coupled river-coast flood model: Model development and its application to 2007 Cyclone Sidr in Bangladesh. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 9(4), 1847–1862. <https://doi.org/10.1002/2017MS000943>
- Jaafar, H. H., Ahmad, F. A., & El Beyrouthy, N. (2019). GCN250, new global gridded curve numbers for hydrologic modeling and design. *Scientific Data*, 6(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0155-x>
- Liu, X., Zhang, Z., Jiang, T., Li, X., & Li, Y. (2021). Evaluation of the Effectiveness of Multiple Machine Learning Methods in Remote Sensing Quantitative Retrieval of Suspended Matter Concentrations: A Case Study of Nansi Lake in North China. *Journal of Spectroscopy*, 2021, 1–17. <https://doi.org/10.1155/2021/5957376>
- Long, Y., Song, Y., & Chen, L. (2022). Identifying subcenters with a nonparametric method and ubiquitous point-of-interest data: A case study of 284 Chinese cities. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 49(1), 58–75. <https://doi.org/10.1177/2399808321996705>
- Lu, Y., He, T., Xu, X., & Qiao, Z. (2021). Investigation the Robustness of Standard Classification Methods for Defining Urban Heat Islands. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 14, 11386–11394. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2021.3124558>
- Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995). Particle swarm optimization. *Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks*, 4, 1942–1948. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICNN.1995.488968>
- Khosravi, K., Pham, B. T., Chapi, K., Shirzadi, A., Shahabi, H., Revhaug, I., ... Tien Bui, D. (2018). A comparative assessment of decision trees algorithms for flash flood susceptibility modeling at Haraz watershed, northern Iran. *Science of the Total Environment*, 627, 744–755. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.266>
- Kim, J., Jeong, S., & Regueiro, R. A. (2012). Instability of partially saturated soil slopes due to alteration of rainfall pattern. *Engineering Geology*, 147–148, 28–36. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2012.07.005>
- Koc, K., Ekmeçcioğlu, Ö., & Özger, M. (2021). An integrated framework for the comprehensive evaluation of low impact development strategies. *Journal of Environmental Management*, 294, 113023. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113023>
- Marchi, L., Borga, M., Preciso, E., & Gaume, E. (2010). Characterisation of selected extreme flash floods in Europe and implications for flood risk management. *Journal of Hydrology*, 394(1–2), 118–133. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.017>
- NCEI. (2021). NCEI. Erişim adresi: <https://www.ncei.noaa.gov/> (Erişim tarihi: 10 Kasım, 2022)
- Ngo, P. T. T., Hoang, N. D., Pradhan, B., Nguyen, Q. K., Tran, X. T., Nguyen, Q. M., ... Bui, D. T. (2018). A novel hybrid swarm optimized multilayer neural network for spatial prediction of flash floods in tropical areas using sentinel-1 SAR imagery and geospatial data. *Sensors (Switzerland)*, 18(11). <https://doi.org/10.3390/s18113704>
- Nhu, V. H., Ngo, P. T. T., Pham, T. D., Dou, J., Song, X., Hoang, N. D., ... Bui, D. T. (2020). A new hybrid firefly-pso optimized random subspace tree intelligence for torrential rainfall-induced flash flood susceptible mapping. *Remote Sensing*, 12(17), 1–19. <https://doi.org/10.3390/RS12172688>
- Norollahi, M., & Seyed Kaboli, H. (2021). Urban flood hazard mapping using machine learning models: GARP, RF, MaxEnt and NB. *Natural Hazards*, 106(1), 119–137. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04453-3>
- Pham, B. T., Luu, C., Phong, T. Van, Trinh, P. T., Shirzadi, A., Renoud, S., ... Clague, J. J. (2021). Can deep learning algorithms outperform benchmark machine learning algorithms in flood susceptibility modeling? *Journal of Hydrology*, 592(July 2020), 125615. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125615>
- Panahi, M., Jaafari, A., Shirzadi, A., Shahabi, H., Rahmati, O., Omidvar, E., ... Bui, D. T. (2021). Deep learning neural networks for spatially explicit prediction of flash flood probability. *Geoscience Frontiers*, 12(3), 101076. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.09.007>

- Pourghasemi, H. R., Gayen, A., Edalat, M., Zarafshar, M., & Tiefenbacher, J. P. (2020). Is multi-hazard mapping effective in assessing natural hazards and integrated watershed management? *Geoscience Frontiers*, 11(4), 1203–1217. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2019.10.008>
- Rahmati, O., Falah, F., Naghibi, S. A., Biggs, T., Soltani, M., Deo, R. C., ... Tien Bui, D. (2019). Land subsidence modelling using tree-based machine learning algorithms. *Science of the Total Environment*, 672, 239–252. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.496>
- Riley, S. J., De Gloria, S. D., & Elliot, R. (1999). A Terrain Ruggedness that Quantifies Topographic Heterogeneity. *Intermountain Journal of Sciences*, 5(1–4), 23–27.
- Saha, S., Sarkar, R., Thapa, G., & Roy, J. (2021). Modeling gully erosion susceptibility in Phuentsholing, Bhutan using deep learning and basic machine learning algorithms. *Environmental Earth Sciences*, 80(8), 1–21. <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09599-2>
- Shahabi, H., Shirzadi, A., Ronoud, S., Asadi, S., Pham, B. T., Mansouripour, F., ... Bui, D. T. (2021). Flash flood susceptibility mapping using a novel deep learning model based on deep belief network, back propagation and genetic algorithm. *Geoscience Frontiers*, 12(3), 101100. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.10.007>
- Talukdar, S., Ghose, B., Shahfahad, Salam, R., Mahato, S., Pham, Q. B., ... Avand, M. (2020). Flood susceptibility modeling in Teesta River basin, Bangladesh using novel ensembles of bagging algorithms. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 34(12), 2277–2300. <https://doi.org/10.1007/s00477-020-01862-5>
- Tang, X., Li, J., Liu, M., Liu, W., & Hong, H. (2020). Flood susceptibility assessment based on a novel random Naïve Bayes method: A comparison between different factor discretization methods. *Catena*, 190(March), 104536. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104536>
- Thieken, A. H., Petrow, T., Kreibich, H., & Merz, B. (2006). Insurability and Mitigation of Flood Losses in Private Households in Germany. *Risk Analysis*, 26(2), 383–395. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2006.00741.x>
- Tien Bui, D., Hoang, N. D., Pham, T. D., Ngo, P. T. T., Hoa, P. V., Minh, N. Q., ... Samui, P. (2019). A new intelligence approach based on GIS-based Multivariate Adaptive Regression Splines and metaheuristic optimization for predicting flash flood susceptible areas at high-frequency tropical typhoon area. *Journal of Hydrology*, 575(April), 314–326. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.05.046>
- Tien Bui, D., Hoang, N. D., Martínez-Álvarez, F., Ngo, P. T. T., Hoa, P. V., Pham, T. D., ... Costache, R. (2020). A novel deep learning neural network approach for predicting flash flood susceptibility: A case study at a high frequency tropical storm area. *Science of the Total Environment*, 701, 134413. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134413>
- Xu, H., Fan, G., & Song, Y. (2022). Novel Key Indicators Selection Method of Financial Fraud Prediction Model Based on Machine Learning Hybrid Mode. *Mobile Information Systems*, 2022, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2022/6542652>

Evaluation of Floating Renewable Energy Potential for Sustainable Energy in Türkiye

Büşra CESUR DURMAZ^{1*}, İbrahim ÜÇGÜL²

Highlights:

- Importance of floating structures
- Importance of floating energy systems
- Solar, wind and wave energy potential of Turkish coasts

Keywords:

- Sustainable energy
- Renewable energy
- Floating structure
- Floating energy systems
- Türkiye

ABSTRACT:

Energy is an increasing necessity due to the change in needs and the development of the industry with the rapid growth of the world's population. Today, the energy supply usually meet from non-renewable (fossil-based) sources. This situation causes adverse effects globally and a decrease in the fossil resources that future generations need. Sustainable, efficient, and clean energy will only be possible using renewable resources. Installation of renewable energy systems requires large areas, but suitable terrestrial for onshore are not always available. Therefore, in our country, it is necessary to increase floating renewable energy power plants. In the study, the offshore installation potential of solar, wind, and wave renewable energy required for sustainable energy production in Türkiye was examined. A qualitative evaluation was conducted for solar, wind, and wave energy generation. It has been concluded that coastal areas and stagnant water surfaces of Türkiye are suitable for the installation of floating energy systems. This study aims to emphasize the necessity of floating renewable energy systems for Türkiye. It also provides essential contributions to the studies to be carried out on floating energy systems in Türkiye.

¹ Büşra CESUR DURMAZ (**Orcid ID: 0000-0001-9322-8108**), YÖK 100/2000 Doktora Bursiyeri, Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Batı Yerleşkesi, Isparta, Türkiye

² İbrahim ÜÇGÜL (**Orcid ID: 0000-0001-9794-0653**), Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Batı Yerleşkesi, Isparta, Türkiye

* **Corresponding Author:** Büşra CESUR DURMAZ, e-mail: busracesur.pm@gmail.com

INTRODUCTION

Energy is a need that we need in every aspect of our daily life that contributes to the development of societies and has a vital quality in-country policy. With the rapid growth of the world's population, urban expansion, the change of needs, and the progress of industry, the requirement for energy demand is increasing. Especially the developments in technology cause an increase in energy demand.

However, today people use fossil resources such as coal, oil, and natural gas more intensively. This situation causes environmental problems due to global warming and its effects. Environmental destruction to prevent human beings have been turning to renewable energy sources in the last 20 years (Anonymous, 2019). The sustainability of living life requires a sustainable energy supply. For this reason, renewable energy should be used instead of fossil resource use, which cannot be self-renewable.

According to the United Nations world population projection estimates, it has been mentioned that the world population increased from 2.5 billion to 7.3 billion between 1950 and 2015, and this figure is expected to increase to 8.3 billion by 2030 (IEA, 2014). This situation in population growth means that energy consumption will increase again. According to the 2020 World Energy Report, China, USA, and Europe are the leading countries that are mainly at the forefront of world energy consumption (BP, 2020).

The research conducted by the International Energy Agency (IEA) in the first quarter of 2020 indicates that the severe restriction of global economic activity and mobility has resulted in a 3.8% reduction in global energy demand compared to the first quarter of 2019. Again, in the research conducted by the International Energy Agency, it was stated that although the efforts to prevent the virus since 2020 have reduced the energy demand, if successful, this decrease will be limited to 4% (IEA, 2019). Because of this, there is essentially no reduction in energy demand. The increase in population, human needs, and industrial uses constantly bring the need for energy to the fore. Therefore, to meet the increasing energy demand, investments in energy production should also increase in parallel, and renewable resource uses should be supported.

However, in the World Energy Outlook 2019 Report by the International Energy Agency, fossil fuel use rates are estimated to be 80% in 2010, 81% in 2018, will be 77% in 2030, and 74% in 2040 (IEA, 2019). According to the ratios, the use of fossil resources is decreasing, and the use of renewable resources is starting to increase. However, energy production from renewable sources is insufficient, and fossil fuel reserves are rapidly decreasing in the face of global energy demand. The limited resources and the presence of many polluting features in terms of the environment also oblige countries to develop new strategies and policies to increase renewable energy production potential.

The adverse effects of fossil resources, especially from an environmental point of view, climate change experienced as a result of global warming, increased pressure on their living habitats, and the influence on human health due to the increase in various diseases are essential reasons to be taken into consideration. Renewable resources are necessary for the continuity of human health and living life. Renewable resources are of great importance both for making energy sustainability possible and for the supply of sustainable energy. In this regard, our country and other countries attach importance to renewable energy to reduce external dependence due to fossil-based resource consumption and to establish a livable world future. The more use of renewable resources in our lives is due to this.

Currently, there also is an integration of renewable energy systems, which are generally widely developing in terrestrial areas, into floating structures offshore. In particular, the observation that water surfaces allow for large-area uses and the potential of these areas for energy sources such as solar, wind, wave, and thermal provides an alternative energy supply for coastal regions.

Increasing renewable energy systems provides sustainability in protecting our future and an efficient and sufficient energy dimension in today's conditions. Therefore, this study emphasizes the importance of using renewable energy sources instead of fossil resource uses. In addition, especially for our country, which is a peninsula, points to coastal areas can also be used besides the renewable energy systems that develop in terrestrial lands.

The regions where we live do not have the same characteristics. Some coastal cities may not be suitable for installing renewable energy technologies in terrestrial areas. For this reason, it is advantageous to add floating energy systems to the energy supply for coastal cities. In addition, large water surfaces such as dam lakes provide favorable environments for floating solar panels. At the same time, meeting the energy needs with floating systems in offshore floating structure designs, which are the projects of the future, makes floating renewable energy technology necessary.

In this study, Türkiye's floating renewable energy potential evaluate for sustainable energy supply. In the initial section of the study, for sustainable energy production, the sustainability, floating energy concepts, floating structures, and floating energy systems concepts explain. In addition, it provides examples of studies conducted globally and in Türkiye on floating renewable energy systems. The second part of the study examines Türkiye's floating renewable energy potential for developing floating renewable energy systems in Türkiye.

Our country generally encounters terrestrial renewable energy power plant installations. For this reason, coastal areas with high energy potential should be evaluated regarding floating power plant installation. This study reveals the energy potential of Türkiye's coasts for floating renewable energy power plant installations, which are not many examples in our country.

Sustainability, Sustainable Energy, Floating Structure, Floating Energy Systems and Examples sustainability

The concept of sustainability was first mentioned in article 27 titled "Sustainable Development" of the report published under the title "Our Common Future" of the United Nations in 1987 as "Humanity can make development sustainable to ensure that it meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs" (United Nations, 1987). According to this description, the concept of Sustainable Development was accepted as "Sustainability" and explained with the definition of "development that meets today's needs without compromising the ability to meet the needs of future generations" (Republic of Türkiye Ministry of Foreign Affairs, 2021). However, the concept of sustainable development in this description primarily emphasizes economic progress and development. For this reason, it would be more accurate to express it as "Sustainable Development" in Turkish to emphasize environmental importance. Sustainable development/development can also be briefly defined as "being able to meet the needs of future generations while meeting today's needs and expectations" (Cesur et al., 2018).

In the continuation of the Bruntland report, it is stated that the limitation of the concept of development means the ability to reduce the pressures of technological and social activities on environmental resources and absorb the adverse effects of humans on the biosphere rather than absolute limitation. At the same time, it was stated that by reducing poverty, everyone's basic needs could be met, and a better life could be provided; otherwise, the world would always be open to ecological and other disasters (United Nations, 1987).

The concept of sustainability is often seen as the intersection of three parameters. These parameters include economic, social, and environmental qualities (Hauke et al., 2016).

In addition, ecology, technology and energy should be included. With the new parameters, it is possible to explain the definition of sustainability as “An understanding in which the values of natural resources are used by preserving and management decisions are taken at the point benefit from this of future generations, that development is achieved in every sense.” with the work of Cesur et al. (2018) (Figure 1). In particular, the presence of energy in every part of our lives requires its supply dimension to be sustainable and innovative.



Figure 1. Sustainability parameters and energy, technology, and ecology inputs

Sustainable Energy

It is possible to define sustainable energy as the ability to produce energy that can be used over and over again without creating the danger of extinction, taking into account the needs of future generations while meeting the needs of today's generations (Anonymous, 2019). The depletion of energy sources widely used today and cannot be self-renewable restricts a sustainable energy supply for future generations. Considering the reason for the prevention of environmental damage, the widespread use of renewable resources is an essential reason for a sustainable energy supply.

Continuing open or secret conflicts between countries on the sharing of energy and energy resources today, the sustainability of energy, the security of energy supply, and accessibility to energy sources threaten many nations (Üçgül & Elibüyük, 2016). In this case, those with energy conversion technologies will continue to maintain their existence (Üçgül, 2010).

However, the United Nations General Assembly declared 2012 the International Year of Sustainable Energy for all and mentioned three critical goals that must be achieved globally by 2030 (IEA, 2014).

- To ensure universal access to modern energy services,
- To double the rate of global improvement in energy efficiency,
- To double the share of renewable energy in global energy systems

The importance of renewable energy sources in sustainable energy management globally is emphasized in these targets. At the same time, it is possible to say that the sustainable energy concept is closely related to renewable energy technologies.

Why Should Develop Floating Structures and Floating Energy Systems

Seas cover approximately 70% of the Earth's surface, and it is estimated that about 50% of the world's population by 2030 will live within 100 km of the coast (Bates et al., 2008). According to the IPCC's SR1.5 report, the change in temperature rise will increase to approximately 1.0°C today and up to 1.5°C between 2030-2052. This situation shows that coastal cities will be affected by rising waters

due to climate change. For this main reason, countries and local communities create living spaces with water. Various floating architectural designs are developing due to the increase in sea level threatening coastal areas and the decrease in coastal regions of some countries.

It is possible to define floating architecture as structures with varying functions, sizes, material usage, use of renewable technologies, and fixed or mobile properties, which vary depending on public or private uses (Moon, 2014; Cesur & Campian, 2020). Especially today, there are many examples of these structures, such as floating houses, bridges, airports, stadiums, solar gardens, various concept hotel projects, marina areas, fish pond facilities, mosques, pasture-grassland, greenhouses, schools, cemeteries, pools, ice rink, floating islands, city projects. While some floating structures have the feature of movement, they usually consist of fixed systems with a specific location to provide infrastructure services (Cesur & Campian, 2020).

It is seen that there is also increase in floating structure projects where developments for every purpose are seen. As mentioned below, many factors explain the reasons for developing floating structures and floating energy systems (Table 1).

Table 1. The reasons for the development of floating structures and floating energy systems

1	Coastal countries, whose land surfaces are limited, gain space by land reclamation method (by filling or drying), creating much cost for the country's economies (Watanabe et al., 2008; El-Shihy & Ezquiaga, 2019). However, after the construction of floating structures, the assembly can be done on the site, which significantly reduces the cost, and any coastal form does not have to be changed.
2	With land reclamation, the coastline is changing, and ecosystems are damaged. Floating structures and energy systems do not require any changes on the coast.
3	Floating energy systems do not change situations such as sea waves, tides, and bottom currents and turn them into energy (Watanabe et al., 2008; El-Shihy & Ezquiaga, 2019).
4	Floating structures and energy systems do not affect the underwater reservoir and ecosystems. It also has less environmental impact than fossil sources (Ferrer Gisbert et al., 2013; Kızılova, 2019).
5	According to the user density, floating structures are functional and can be built easily and quickly (Kızılova, 2019). If desired, the modules can be added to each other to provide wide space usage or removed and moved to different places. (Watanabe et al., 2008; El-Shihy & Ezquiaga, 2019). Especially floating solar PV (Photovoltaic) systems are easy to install (Dünya Bankası Grubu, 2019).
6	Since the floating structure and energy systems are unstable, they are not affected by the rise and withdrawal of water (Watanabe et al., 2008; El-Shihy & Ezquiaga, 2019).
7	It can be used as a port, pier and dock for small boats and ships (Cesur et al., 2018). It provides the necessary environment, especially in the fish farm.
8	Floating structures provide new areas for green space and recreational activities (Cesur et al., 2018).
9	Floating structures and energy systems can use new and sustainable material technologies.
10	Due to the intensive population growth, the opening of green areas, and agricultural land to construction, and with the reduction of these areas, disasters that may occur globally are prevented.
11	Thanks to its energy autonomy (Kızılova, 2019), besides solar and wind energy in energy supply, it provides self-sufficient energy production by using marine resources.
12	Site preparation is not required for floating energy systems (Dünya Bankası Grubu, 2019). In addition, there is less evaporation in the water reservoir (Ferrer Gisbert et al., 2013; Bulut et al., 2018; Dünya Bankası Grubu, 2019).

For such reasons, floating structures that contribute to the protection and keeping of the seas clean should be disseminated. In addition to the increasing need for energy, the fact that the seashore and water surfaces of HES ponds are also suitable for installing floating solar gardens highlights the need for floating energy systems.

Floating Energy Systems and Examples

While providing energy in floating structure projects, it is essential not to damage the environment, aquatic ecosystems and living life. In offshore structures that are not connected to the coast, it is necessary to take advantage of high waste disposal for recycling by using self-sufficient energy systems. In addition, supporting coastal cities with floating energy systems will contribute significantly to the

urban's energy network. It will also provide sustainability to the country and the urban, both economically and ecologically. For many such reasons, developing renewable energy systems on floating platforms is necessary. In this respect, first of all, if we need to look at the concept of floating energy;

It is possible to define a floating energy platform (Narasimalu, 2020). By making specific sizing of energy systems such as photovoltaic systems, tidal turbines, wind turbines, and wave energy in tune with the determination of the energy source at a site and integrating them structurally into a giant floating structure, as well as electrically integrating them through an intelligent hybrid AC-DC nano-grid technology and by being strengthened with complementary machine learning-based energy forecasting principles and load programming techniques to ensure the overall floating hybrid renewable energy system as a clean energy supply system that provides reliability in terms of certainty and reliability in power production for basic needs such as general electricity, water, air conditioning, etc.

Energy supply with fossil fuels affects our future negatively, and this situation contributes to renewable energy production. The fact that the world's water areas are more than terrestrial areas and the existence of different renewable resource potential increases the use of floating renewable energy. Thanks to the hybrid energy systems that can be designed on floating construction platforms, innovative floating energy technologies are developing.

On Earth, the energy potential that can be obtained from the ocean (sea) is 32 Pwsh / year, but a small amount of it is harvested (Islam and Hasanuzzaman, 2019). The capacity of the total ocean-based resources also (Narasimalu, 2020; Wikipedia, 2021);

- The amount of thermal energy gradient is 10 000 TWh,
- Wave energy amount is 8 000-80 000 TWh,
- Tidal energy of more than 300 TWh,
- The amount of sea current is more than 800 TWh,
- Osmotic power (Saline gradient) 2000 TWh,
- Offshore wind amount is more than 192 000 TWh.

In this respect, using energy resources such as solar, wind, wave, tide, thermal, and salinity gradient provides a sustainable, efficient, and clean energy supply.

Studies on floating energy systems are increasing worldwide and our country, and the technologies used are progressing. Sample studies on the subject are given below (Table 2).

Table 2. World and Türkiye floating energy system studies

Energy Type	Examples
Wind	Güzel (2012), Turhanlar (2018), Uraltaş & Yumurtacı (2021), Tortumluoğlu & Doğan (2021)
Solar	Bulut et al. (2018), Solomin et al. (2021)
Wave	Ding et al. (2015), Subekti (2020), Ocean Power Technologies (2022)
Hybrid	Michaelis & Michaelis (2008), Qu et al., (2022)

Uraltaş & Yumurtacı (2021) have determined that the energy needs of the Adalar District of İstanbul can be met by 93.3% with a wind farm to be installed on the sea and land. Again, in the study Turhanlar (2018) determined the appropriate turbine for the region by determining the offshore wind farm potential in Bozcaada. Güzel (2012) examined offshore wind energy production in and around Bozcaada and Gökçeada. Tortumluoğlu and Doğan (2021) determined suitable areas for offshore wind turbines in Gökçeada, Bozcaada, Çanakkale, and Ayvacık regions by using the WAsP package program in their study.

Solomin et al. (2021) researched “FPV + hydro systems, FPV + pumped hydro, FPV + wave energy converter, FPV + solar tree, FPV + tracking, FPV + conventional power, FPV + hydrogen” hybrid

floating solar energy for renewable energy studies. Bulut et al. (2018), in the study, about projects of floating hydro solar power plants in operation around the world and examining the technologies used in the project hydro solar was revealed the technology development.

Subekti (2020) conducts the design of wave hybrid power plants by combining wave energy with wind energy. The Power Buoy wave energy converter can operate at a depth of more than 20 meters and produces 8.4kW of energy (Ocean Power Technologies, 2022). In the study of Ding et al. (2015), a wave converter proposal was developed for wind and wave hybrid energy Spar-Torus in three ways as “Tri-floater and a point absorber; Tri-floater and two OWC; Tri-floater and three oscillating surge converters.

Qu et al. (2022) designed a hybrid floating system using a floating wind turbine, PV and wave energy converters. It has been designed from the grid system to increase the buoyancy of the floating foundation. The Energy Island Design project was designed by Michaelis & Michaelis (2008). This project, it is aimed to produce 2000 MW of power with a total of 8 hexagonal modules, each of which can produce 250 MW, by using hybrid solar, wind, undercurrent, and ocean thermal energy together.

Floating Renewable Energy Türkiye Potential

Renewable energy is an energy source in which natural resources are used in energy production, can be self-renewable, is unending, has continuity and perpetuity, reduces the external dependence of countries with domestic resource uses, and minimizes damage to the environment. It is possible to separate renewable energy sources as solar, wind, biomass, geothermal energy, hydrogen energy, and water-based sources (hydraulic, wave, tidal, ocean, and current energy) (Üçgül & Elibüyük, 2016). In recent years, countries have been turning to renewable energy production thanks to rapidly developing technology and green energy policies.

In the International Energy Agency SDG7: Data and Projections (2020) report, the growth of modern renewables outpacing the rate of increase in energy consumption, it is stated that the share of renewable energy in total energy consumption reached 11% in 2018, and this share is expected to grow to over 15% by 2030, but it is well below the target of 23% in 2030 specified in the Sustainable Development Scenario (IEA, 2020a). In the Renewables Information: Overview (2020) report, it is expressed that since 1990, renewable energy sources have grown by an average of 2.0% annually, slightly more than the total energy supply (1.8%). These increase rates are 36.5% in solar energy; 23.0% in wind energy; 11.5% in biogas; 10.9% in thermal solar energy; 9.7% in liquid biofuels; % 4.9 in municipal waste; 3.6% in geothermal; 2.4% in hydro; 2.3% in wave and tide; 0.9% in solid biofuel (Figure 2) (IEA, 2020b).

Türkiye, on the other hand, obtained more than 90% of the energy consumed in 2000 from fossil fuels; at the end of 2018, this rate decreased to 86%. The share of renewable energy in the total energy produced also increased from 0.1% to 5.6% (KPMG, 2020). Electricity production in 2018 was derived 37.3% from coal, 29.8% from natural gas, 19.8% from hydraulic energy, 6.6% from wind, 2.6% from solar, 2.5% from geothermal energy, and 1.4% from other sources (Republic of Türkiye Ministry of Energy and Natural Resources, (2021). Considering Türkiye's total installed power network of 91.3 GW in 2019, it is seen that hydro energy source from renewable sources has 28.6% and wind and solar energy has 14.9%. (Figure 3) (KPMG, 2020).

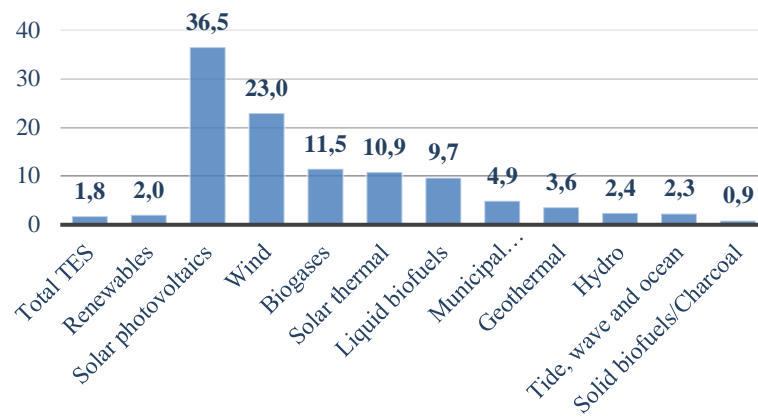


Figure 2. Average annual growth rates of world renewable energy supply, 1990-2018 (IEA, 2020b)

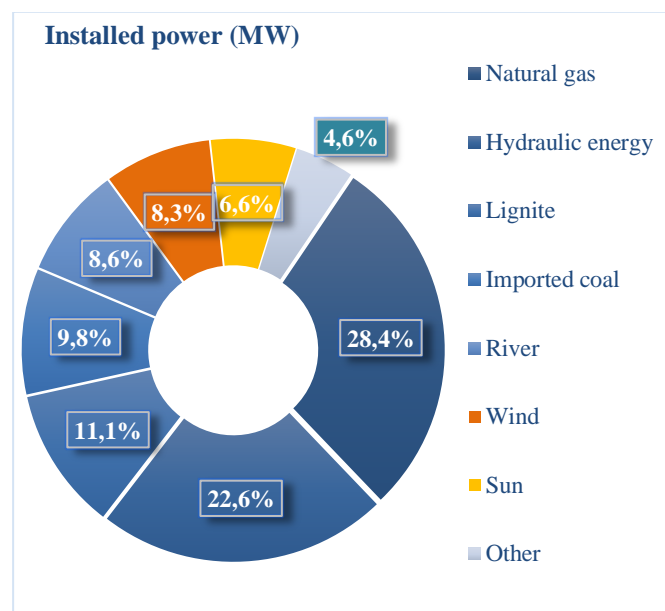


Figure 3. The total installed power network of 91.3 GW was owned by Türkiye in 2019 (KPMG, 2020)

Considering the installed power network of Türkiye, it seems that fossil resources come to the fore. However, Türkiye's renewable energy resource potential is high and advantageous in this respect. The Republic of Türkiye Ministry of Energy and Natural Resources 2019-2023 Strategic Plan (Table 3) has set 7 aims and 31 targets, and here, Aim 1. To ensure Türkiye's sustainable energy supply security. Target 1.1 to ensure that the ratio of installed electricity based on domestic and renewable energy sources to total installed power is increased from 59% to 65%. (Republic of Türkiye Ministry of Energy and Natural Resources, 2021).

According to the table, it is seen that the installed power in Türkiye's renewable energy sources (solar and wind) lag behind domestic sources. In particular, it is observed that floating wind, solar, wave and current systems are not evaluated offshore. However, the fact that Türkiye is surrounded by seas on three sides brings the energy potential to the forefront in the offshore as well as in terrestrial areas. For this reason, the potential of the Turkish seas should also be taken into account while creating the Strategy plan.

Table 3. 2019-2023 Strategic Plan, Aim 1. Ensuring Türkiye's sustainable energy supply security (Republic of Türkiye Ministry of Energy and Natural Resources, 2021)

Aim(A1)		To ensure Türkiye's sustainable energy supply security								
Target (T1.1)		It is to ensure that the ratio of installed electricity based on domestic and renewable energy sources to total installed power is increased from 59% to 65%								
Performance Indicators	Effect on Goal (%)	Plan Period Initial Value	2019	2020	2021	2022	2023	Tracking Frequency	Reporting Frequency	
P.I 1.1.1	Electricity installed power (MW) based on solar energy (cumulative)	%25	5.063	5.750	7.000	7.750	8.500	10.000	Every 6 months	Every 6 months
P.I 1.1.2	Electricity installed power (MW) based on wind energy (cumulative)	%25	7.005	7.633	8.883	9.633	10.633	11.883	Every 6 months	Every 6 months
P.I 1.1.3	Electricity installed power (MW) based on hydroelectric energy (cumulative)	%15	28.291	29.748	31.148	31.688	31.688	32.037	Every 6 months	Every 6 months
P.I 1.1.4	Electricity installed power (MW) based on geothermal energy and biomass (including biogas) energy (cumulative)	%10	2.094	2.678	2.717	2.772	2.828	2.884	Every 6 months	Every 6 months
P.I 1.1.5	Electricity installed power (MW) based on domestic coal (cumulative)	%25	10.204	10.664	10.664	10.664	11.464	14.664	Every 6 months	Every 6 months
Responsible Unit		Republic of Türkiye Ministry of Energy and Natural Resources								

Türkiye Solar Energy Potential

According to the data of the Türkiye Solar Energy Potential Atlas (GEPA), the annual total sun time is 2.737 hours, and the annual total incoming solar energy is 1.527 kWh/m². The total solar energy of the coastal regions is respectively Mediterranean 1.390, Aegean 1.304, Marmara 1.168, and the Black Sea 1.120 (kWh/m²-year) (Figure 4) (Özgür, 2018; Turkish State Meteorological Service, 2020a).

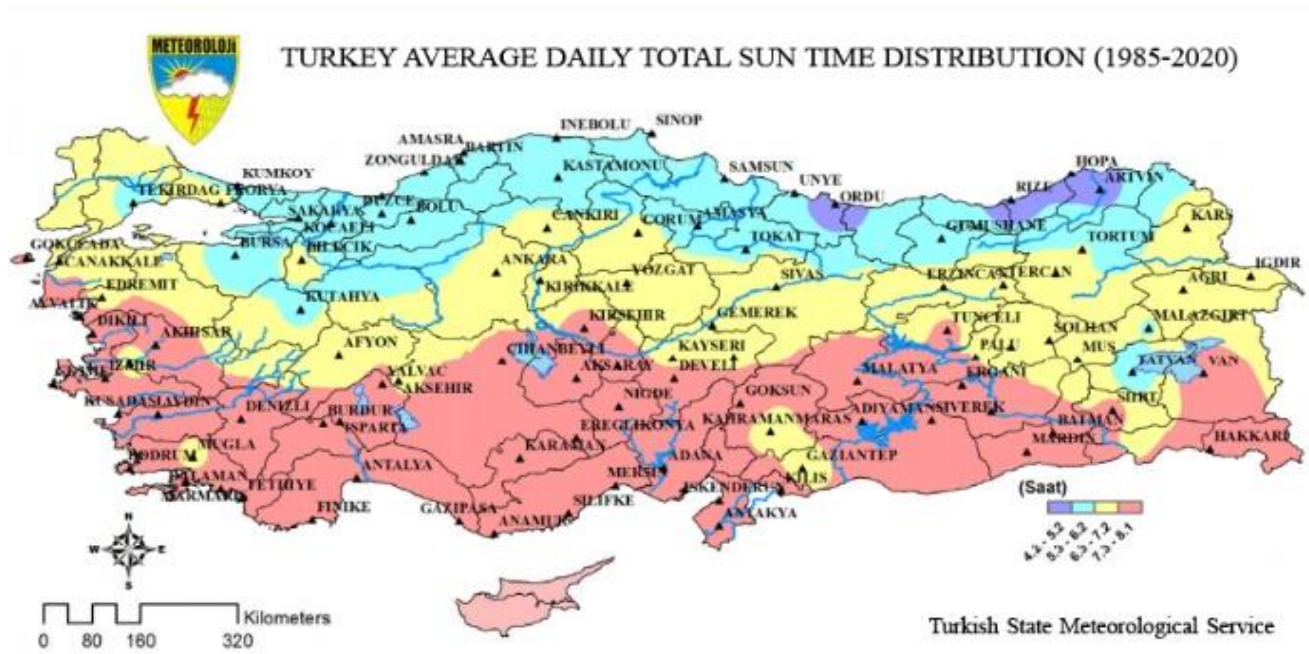


Figure 4. Türkiye sun atlas (a) (Turkish State Meteorological Service, 2020a)

Between 1970 and 2020, the average seawater temperature of the Mediterranean Sea was 21.4°C, the Aegean Sea 18.6 °C, the Marmara Sea 15.6 °C, the Black Sea 15.3 °C (Figure 5) (Turkish State Meteorological Service, 2020b).

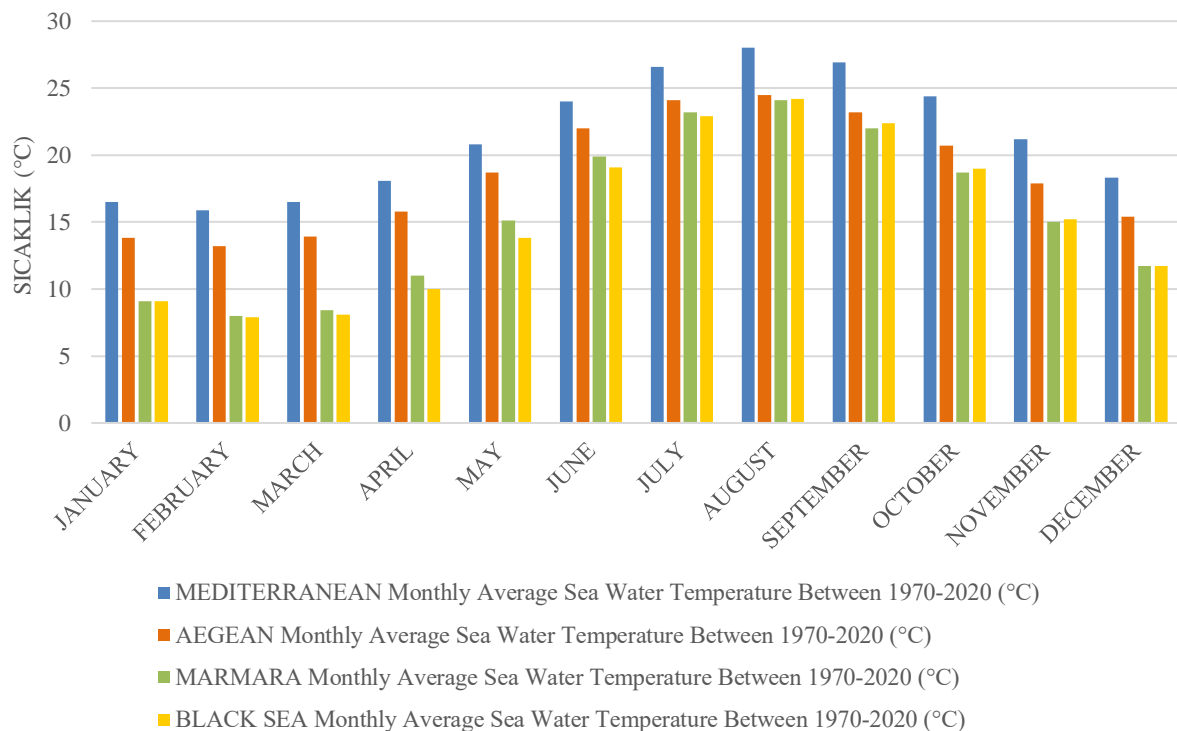


Figure 5. Mediterranean, Aegean, Marmara, Black Sea Monthly Average Sea Water Temperature Between 1970-2020 (°C) (b) (Turkish State Meteorological Service, 2020b)

When looked at, Türkiye's sun time is high, and its solar energy production potential is high. Evaluating offshore and inland waters such as dam ponds and freshwaters will contribute to renewable energy production. In addition, floating solar energy systems have advantages such as reducing the

evaporation of water, preventing PV installations on fertile land, and increasing the energy efficiency of PV Systems with the cooling effect of water (Bulut et al., 2018).

Türkiye Wind Energy Potential

According to the Energy Sector Management Assistance Program (2019), Türkiye's Aegean Sea northwest regions that offshore wind speeds up to 9 m/s; the most extensive area has technical offshore wind potential of 6 GW fixed and 19 GW floating (ESMAP, 2019; Solarbaba, 2022). It has good characteristics in the Marmara Sea and the Black Sea with a wind speed of 7-8 m/s. There are also many opportunities on the West Coast and in the Southeast. Areas with a total water depth of fewer than 50 m have a technical potential of 12 GW and a further 57 GW up to a depth of 1000 m (Figure 6) (ESMAP, 2019; Solarbaba, 2022). Thanks to these characteristics of the Turkish coast, it is seen that it has the opportunity to produce offshore wind energy.

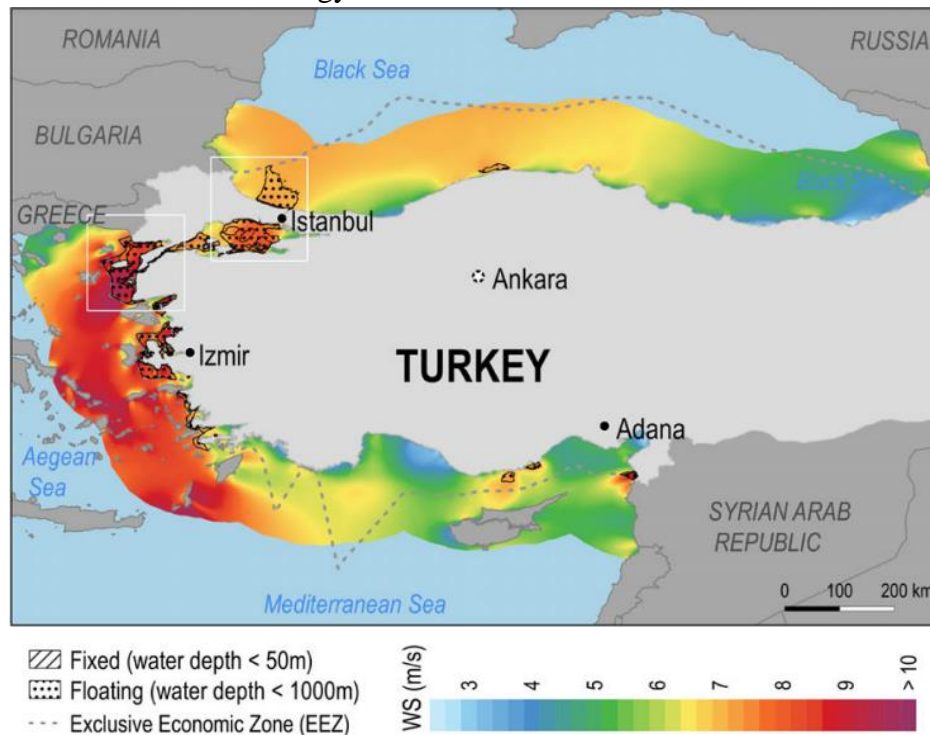


Figure 6. The technical potential for offshore wind within 200 km of Türkiye (ESMAP, 2019)

Özkol examines the mechanical behavior of floating-type wind turbines installed in the deep seas in the TUBITAK 1001 project. Özbahçeci stated that of the approximately 70 gigawatts of offshore wind energy potential in Türkiye, about 57 gigawatts of it can be obtained by floating in the deep sea, and 12 gigawatts of it can be gained with a fixed wind turbine (Anonymous, 2022).

Considering the wind period of Türkiye's seas, the potential for offshore wind energy is high. At the same time, it has advantages such as higher wind intensity at sea, more excellent wind continuity, no need for expropriation on the sea, no land losses with the wind energy system, and cheaper sea transportation than land (Temiz Enerji, 2021).

Türkiye Wave Energy Potential

Offshore wave characteristics are waves occurred by wind and vary depending on the bottom topography and changing water depths. In Türkiye, the average wavelength height is most seen on the Southwestern coast and is up to 2 m. (Figure 6) (Metin, 2021).

According to the measurements made in the Mediterranean, the wave energy power varies between 8.4-15.5 kW/m throughout the year, and it is estimated that one-fifth of Türkiye's coasts has a potential

of 18.5 billion kWh by taking advantage of this potential (Kadioğlu & Telliöglü 1996; Demirci, 2021). Especially the wind potential on the Aegean Sea and the Mediterranean provides an average annual wave power of 4-17 kW/m. The coasts corresponding to Dalaman-Finike are shown as the most suitable place between İzmir and Antalya (Oral, 2021; Demirci, 2021).

According to Demirci (2021), wave intensities of Turkish coasts;

- Black Sea-1.96-4.22 kWh/m, Aegean Sea-2.86-8.75 kWh/m, Mediterranean-2.59-8.26 kWh/m, it is given as İzmir-Antalya-3.91-12.05 kWh/m (Oral, 2021; Demirci, 2021).

It is stated that in waters with a wave power of 4-17 kW/m annually, a total of approximately at least 10 TWh/year energy can be obtained (Sağlam et al., 2010), which constitutes about 12.5% of Türkiye's hydroelectric energy potential (Figure 7) (Demirci, 2021).

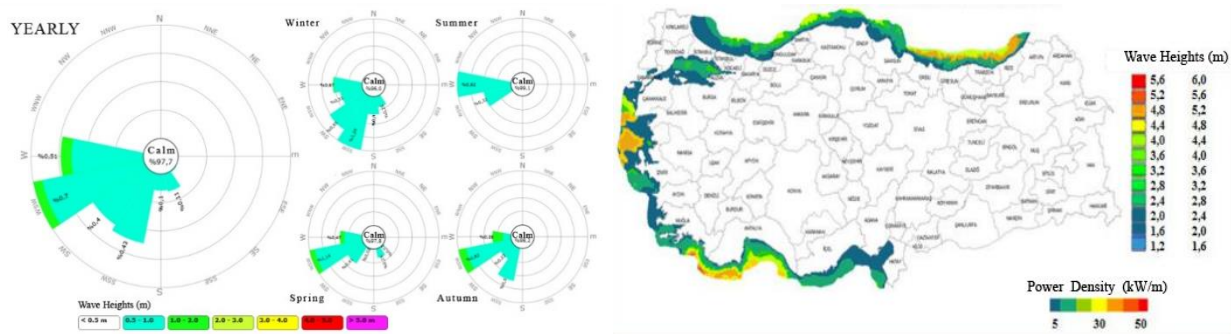


Figure 7. Türkiye climatic wave rose graph (Metin, 2021), Türkiye wave height map (Demirci, 2021)

According to the location and climatic characteristics of Türkiye, it is possible to say that the coastal and inland waters are high in terms of renewable energy potential.

CONCLUSION

Since energy is a need in all areas of life, it is necessary to ensure its continuity in its supply. A sustainable future can only be achieved by meeting the needs without disturbing the natural balance and without harming their living lives. Because of this, while meeting their energy needs, human beings should make optimal use of resources by considering future generations and respecting nature. At this point, the importance of renewable energy sources emerges and is considered necessary to provide a sustainable future. Renewable energy has a significant role in sustainable energy production.

Countries meet most of their energy needs from non-renewable sources. This causes rapid depletion of resources, global climate change, destruction of natural areas, and the impact on living lives. The negativities experienced and the fact that our future is under threat lead countries to develop sustainable energy policies. The inexhaustible and clean energy supply of renewable resources makes it common in terrestrial areas worldwide and in our country. Also, Türkiye activates renewable resource dynamics to reduce external dependence on energy and ensure economic and sustainable growth.

Today, possible that due to the various needs of floating structures in every field to develop in energy production and provide alternative resource potential. Also, *The emergence of living spaces (floating cities) on water surfaces and the difficulty of supplying energy from the coast for these areas, * The fact that 70% of the Earth is covered with water surfaces and most of them can benefit from renewable resources with different potentials, can be evaluated seas, and some large freshwater (such as dam lake) from this point of view, * Floating energy systems are developing rapidly due to reasons such as the suitability of marine coastlines in terms of renewable resource uses such as solar, wind, wave, tidal, undercurrents, salinity.

The rapid progress of renewable resources in Türkiye takes place in terrestrial areas. However, floating systems need to be developed in our country, which is surrounded by sea on three sides and is

suitable for renewable energy systems. For this reason, our coastal waters and inland waters under favourable conditions should be evaluated for sustainable energy production.

In the study, Türkiye's floating renewable energy system potential for sustainable energy production was evaluated. In particular, studies on solar, wind and wave energy production, which we find commonly in world examples, were studied. Türkiye's ocean thermal energy potential is insufficient because it does not have a coast to offshore. In addition, the tides are not large enough to produce energy. Therefore, thermal energy and tidal energy were not evaluated. The conclusions reached are that Türkiye's floating energy potential is high and studies on this need to be increased.

In this way, our country's coastal waters will be used more actively in energy supply, and clean and sustainable energy production can be increased. It should not be forgotten that the importance of renewable energy sources is critical to ensure a sustainable future, and countries should be able to make this progress at sea scales as well as terrestrial developments.

Conflict of Interest

The article authors declare that there is no conflict of interest between them.

Author's Contributions

The authors declare that they have contributed equally to the article.

REFERENCES

- Anonymous. (2019). What is sustainable energy? Access Address: <https://nctce.com.au/what-is-sustainable-energy/> (Accessed date: 04.05.2022).
- Anonymous. (2022). Türkiye'nin Denizlerdeki Rüzgar Potansiyeli Değerlendirilecek. Access address: <https://www.trthaber.com/haber/ekonomi/turkiyenin-denizlerdeki-ruzgar-potansiyeli-degerlendirilecek-650770.html> (Accessed date: 01.25.2022).
- Bates, B. C., Kundzewicz, Z. W., Wu, S., & Palutikof, J. P. (Eds). (2008). Climate Change and Water. Geneva: Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat. Access address: <https://www.ipcc.ch/publication/climate-change-and-water-2/>
- British Petrol Statistical Review of World Energy (BP) (69th Ed). (2020). Statistical Review of World Energy. London. Access address: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf>
- Bulut, M., Kaplanoğlu, İ., & Geylani, V. (2018). Improvement of Floating HydroSolar Projects in the World and Potential of Turkey. Power Systems Conference, (13-18). Ankara, Türkiye. Access address: <http://www.cigreturkiye.org.tr/gsk2018/bildiri/03.ID-22.pdf>
- Cesur, B., & Campian, C. (2020). Evaluation of Floating Structures in Terms of Sustainable and Effective Energy Uses. The 7th International Conference "Civil Engineering - Science and Practice" GNP 2020, Kolašin, Montenegro.
- Cesur, B., Gül, A., & Ay, Z. (2018). Over Platform Floating In Coastal Use "Multi-Purpose Urban Park Design Approach". IMO 9th Coastal Engineering Symposium, (pp. 400-412). Adana, Türkiye. Access address: https://eski.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/18341_53_13.pdf
- Demirci, B. (2021). Türkiye'nin Dalga Enerjisi Potansiyeli ve Kurulu Gücü. Access address: <https://muyendis.com/turkiyenin-dalga-enerjisi-potansiyeli-ve-kurulu-gucu/> (Accessed date: 05.11.2021).

- Ding, S., Yan, S., Han, D., & Ma, Q. (2015). Overview on Hybrid Wind-Wave Energy Systems. ASEI-International Conference on Applied Science and Engineering Innovation, (pp. 502-507). Jinan, China. Atlantis Press.
- Dünya Bankası Grubu, ESMAP, & SERIS. (2019). Güneşin Su ile Buluştuğu Yer Yüzer: Güneş Piyasası Raporu. Washington, ABD, DC: World Bank Group. Access address: <https://www.solarbaba.org/wp-content/uploads/bilgi-004-yuzer-ges.pdf> (Accessed date: 05.11.2021).
- El-Shihy, A. A., & Ezquiaga, J. M. (2019). Architectural Design Concept and Guidelines for Floating Structures for Tackling Sea Level Rise Impacts on Abu-Qir. Alexandria Engineering Journal, 58(2), 507-518.
- ESMAP. (2019). Going Global: Expanding Offshore Wind to Emerging Markets. Washington, DC: World Bank Group. Access address: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/716891572457609829/pdf/Going-Global-Expanding-Offshore-Wind-To-Emerging-Markets.pdf> (Accessed date: 15.11.2021).
- Ferrer Gisbert, C., Ferrán Gozálviz, J. J., Redón Santafé, M., Ferrer Gisbert, P., Sánchez Romero, F. J., & Torregrosa Soler, J. B. (2013). A New Photovoltaic Floating Cover System for Water Reservoirs. Renewable Energy, 60, 63-70.
- Güzel, B. (2012). Open Sea Wind Energy Feasibility Steps and Case Study in Bozcaada and Gökçeada (Master Thesis). Access address: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Hauke, B., Kuhnhenne, M., Lawson, M., & Veljkovic, M. (Eds). (2016). Sustainable Steel Buildings: A Practical Guide for Structures and Envelopes. John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 978-1-118-74111-5
- International Energy Agency (IEA). (2014). Sustainable Energy for All 2013-2014, Global Tracking Framework, Report. Washington, DC: World Bank. Access address: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/16537> pdf (Accessed date: 15.11.2021).
- International Energy Agency (IEA). (2019). World Energy Outlook 2019. Access address: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/98909c1b-aabc-4797-9926-35307b418cdb/WEO2019-free.pdf> (Accessed date: 04.05.2021).
- International Energy Agency (IEA). (2020a). SDG7: Data and Projections, Report extract Modern renewables. Access address: <https://www.iea.org/reports/sdg7-data-and-projections> (Accessed date: 04.07.2021).
- International Energy Agency (IEA). (2020b). Renewables Information: Overview. Access address: <https://www.iea.org/reports/renewables-information-overview> (Accessed date: 04.07.2021).
- Islam, M. M., & Hasanuzzaman, M. (2019). Introduction to Energy and Sustainable Development. M. D. Hasanuzzaman and Nasrudin Abd Rahim (Eds.), In Energy for Sustainable Development: Demand, Supply, Conversion and Management (pp. 1-18). Academic Press. doi:<https://doi.org/10.1016/C2017-0-01639-7>
- Kadıoğlu, S., & Tellioglu, Z. (1996). Enerji Kaynaklarının Kullanımı ve Çevreye Etkileri. In TMMOB Türkiye Energy Symposium, (pp: 55-67). Ankara, Türkiye. Access address: https://www.emo.org.tr/ekler/63ea51eeb9eb4b9_ek.pdf
- Kızılova, S. (2019). Form and Functional Features of Modular Floating Structures. EDP Sciences, 91(05013), 1-6. 2019. Access address: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/17/e3sconf_tpacee2019_05013.pdf

- KPMG. (2020). Sektörel Bakış, Enerji. Access address: <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/tr/pdf/2020/03/sectorel-bakis-2020-enerji.pdf> (Accessed date: 04.07.2021).
- Metin, H. T. (2021). Türkiye Kıyıları Online Rüzgar, Dalga, Kıyısal Akıntı ve Su Kalitesi Atlası. Access address: <https://docplayer.biz.tr/24757366-Turkiye-kiyilari-online-ruzgar-dalga-kiyisal-akinti-ve-su-kalitesi-atlasi.html> (Accessed date: 05.11.2021).
- Michaelis, D., & Michaelis, A. (2008). Energy Island Design. Access address: <https://www.e-architect.com/energy-island> (Accessed date: 01.10.2022).
- Moon, C. (2014). Renewable Energy Application in Floating Architecture. 30th International Plea Conference (8p). CEPT University, Ahmedabad, India.
- Narasimalu, S. (2020). Floating Clean Multi-Energy Systems Towards Driving Blue Economic Growth. In: C. Wang, S. Lim, Z. Tay (Eds.), WCFS2019, Lecture Notes in Civil Engineering, Springer, Singapore. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-13-8743-2_19
- Ocean Power Technologies. (2022). PB3 POWERBUOY. Access address: <https://oceanpowertechnologies.com/pb3-powerbuoy/> (Accessed date: 05.01.2022).
- Oral, M. (2021). Güçlü ve Yenilenebilir Bir Potansiyel: Denizel Enerji Kaynakları. H. Çiftçi (Ed.), In Sosyal Bilimlerde Seçme Konular 1 (pp.167-212). Access address: https://www.researchgate.net/publication/351775945_GUCLU_VE_YENILENEBILIR_BIR_POTANSIYEL_DENIZEL_ENERJI_KAYNAKLARI
- Özgür, E. (2018). Türkiye’de Güneş Enerjisi (Solar Energy In Türkiye). In TMMOB Chamber of Mechanical Engineers Report, Türkiye'nin Enerji Görünümü 2018 (297-316). MMO/691, ISBN: 978-605-01-1198-9.
- Republic of Türkiye Ministry of Energy and Natural Resources. (2021). 2019-2023 Strategic Plan. Access address: https://sp.enerji.gov.tr/ETKB_2019_2023_Stratejik_Planı.pdf (Accessed date: 04.07.2022).
- Republic of Türkiye Ministry of Foreign Affairs. (2021). Sustainable Development. Access address: <https://www.mfa.gov.tr/surdurulebilir-kalkinma.tr.mfa> (Accessed date: 04.05.2022).
- Sağlam, M., Sulukan, E., Uyar, & T. S. (2010). Wave Energy and Technical Potential of Türkiye. *Journal of Naval Science and Engineering*, 6 (2), 34-50.
- Solarbaba. (2022). Türkiye’de Deniz Üstü Rüzgar Enerjisi Potansiyeli. Access Address: <https://www.solarbaba.com/windy-turkiyede-deniz-ustu-ruzgar-enerjisi-potansiyeli/> (Date of access: 25.01.2022).
- Solomin, E., Sirotkin, E., Cuce, E., Selvanathan, S. P., & Kumarasamy, S. (2021). Hybrid Floating Solar Plant Designs: A Review. *Energies*, 14(2751), p.25.
- Subekti, M., & Parjiman, N. H., (2020). Design of Sea Wave Power Hybrid Power Generation Through Utilization of Wave and Wind Energy as Renewable Electric Energy Sources for Leading, Outermost and Disadvantaged Areas. International Joint Conference on Science and Engineering (IJCSE 2020), *Advances in Engineering Research*, 196, pp. 25-28. Atlantis Press.
- Temiz Enerji. (2021). Mavi Vatanın Enerjisi: Deniz Üstü Rüzgâr Enerjisi Santralleri. Access address: <https://temizenerji.org/2021/06/21/mavi-vatanin-enerjisi-deniz-ustu-ruzgar-enerjisi-santralleri/> (Accessed date: 01.26.2022).
- Tortumluoğlu, M.İ., & Doğan, M. (2021). Investigation of Suitable Site Selection Criteria for Offshore Wind Turbines and Application to North Aegean Shores. *Dokuz Eylül University Faculty of Engineering Journal of Science and Engineering*, 23(67), 25-42.

- Turhanlar, O. (2018). *A Potential Offshore Wind Farm Arrangement Off The Bozcaada* (Master Thesis). Access address: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Turkish State Meteorological Service. (2020a). Türkiye Average Daily Total Sun Time Distribution (1985-2020). Access address: <https://mgm.gov.tr/FILES/resmi-istatistikler/parametreAnalizi/Turkiye-Gunluk-Guneslenme-Suresi-2020.pdf> (Accessed date: 04.10.2021).
- Turkish State Meteorological Service. (2020b). Sea Water Temperatures - Black Sea, Marmara, Aegean and Mediterranean Sea Water Temperature Analysis 2020. Access address: <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=K> (Accessed date: 04.10.2021).
- United Nations. (1987). Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development. Access address: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf> (Accessed date: 04.10.2021).
- Uraltaş, Y., & Yumurtacı, Z. (2021). Adalara Karaüstü ve Denizüstü Rüzgâr Enerji Santrali (RES) Mikrokonumlandırma Çalışması ve Enerji Üretim Analizi. 6th Izmir Wind Symposium, (pp: 1-19). İzmir, Türkiye.
- Üçgül, İ. (2010). Yeni Umut, Yenilenen Umut: Yenilenebilir Enerji. *Yekarum e-Dergi*, 1(1),1-2.
- Üçgül, İ. & Elibüyük, U. (2016). Renewable Energy Resources And Energy Geopolitics. *Anka E-Dergi*, 2(1), 26-33.
- Qu, X., Yao, Y., & Du, J., 2022. Conceptual Design and Hydrodynamic Performance of a Modular Hybrid Floating Foundation. *Energies*, 14(7605), 1-17.
- Watanabe, E., Wang, C. M., Utsunomiya, T., & Moan, T. (2008). Very Large Floating Structures: Applications, Analysis and Design. Access address: https://www.sefindia.org/forum/files/floating_structures_398.pdf (Accessed date: 04.10.2021).
- Wikipedia. (2021). Marine energy. Access Address: https://en.wikipedia.org/wiki/Marine_energy (Accessed date: 05.25.2021).

To Cite: Yılmaz, A., & Çomaklı, V. (2023). Investigation of Effects of Some Metal Ions and Some Pesticides on Glutathione S-Transferase (GST) Enzyme purified from Van Lake Fish (*Chalcalburnus Tarichi*) Kidney. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 1101-1109.

Investigation of Effects of Some Metal Ions and Some Pesticides on Glutathione S-Transferase (GST) Enzyme Purified from Van Lake Fish (*Chalcalburnus Tarichi*) Kidney

Ayşe YILMAZ¹, Veysel ÇOMAKLI^{2*}

Highlights:

- Purification of *C. Tarichii* kidney GST
- Enzyme kinetic studies
- Metal ions inhibition

Keywords:

- Glutathione S-transferase
- *C. tarichii*
- Inhibition
- Some metals
- Pesticide.

ABSTRACT:

Industrial and agricultural processes have brought about the pollution of aquatic systems, and this situation in the water had adverse effects on human health. In order to reduce these negative effects, all mammalian and aquatic species have a defense system. One of these antioxidant systems is the glutathione S-transferase enzyme group, which has detoxification activity against ROS produced by organic pollutants and heavy metals. In this study, the effects of some pesticides and heavy metal ions on the GST enzyme activity purified kidney tissue of the Lake Van fish (*C. Tarichii*) was analyzed. Firstly, the purification process was carried out as homogenate preparation and glutathione-agarose affinity technique. SDS-PAGE was carried out to check the enzyme purity. The enzyme was obtained in 89% yield (335-fold) with 27.8-specific activity, and kinetic constants were determined for the enzyme; K_m for GSH substrate: 0.429 mM, V_{max} for GSH substrate: 0.207 EU/mL⁻¹; K_m for CDNB substrate: 0.276 mM, V_{max} for CDNB substrate: 0.161 EU/mL⁻¹. Effects of Met-Hg, Fe³⁺, Cr³⁺, Cu²⁺, Mg²⁺, Zn²⁺, atrazine, methomyl, and dinicanozole were studied on the activity of the purified enzyme and the IC₅₀ values were determined as 34.5 mM, 10 µM, 1.5 µM, 2.4 µM, 63 µM, 0.15 mM, 9.8 µM, 2.67 µM, and 1.3 µM, respectively.

¹ Ayşe YILMAZ ([Orcid ID: 0000-0002-1548-9318](https://orcid.org/0000-0002-1548-9318)), Agri Ibrahim Cecen University, Faculty of Health Sciences, Agri, Türkiye

² Veysel ÇOMAKLI ([Orcid ID: 0000-0003-2109-6702](https://orcid.org/0000-0003-2109-6702)), Agri Ibrahim Cecen University, Faculty of Health Sciences, Agri, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Veysel ÇOMAKLI, e-mail: vcomakli@agri.edu.tr

INTRODUCTION

Glutathione S-transferase (GST; EC 2.5.1.18) is an enzyme with antioxidant activity and, plays a critical role in the phase II biotransformation system (Özaslan et al., 2017) besides participating in the detoxification of a great many xenobiotics of exogenous or endogenous origin in living organisms. This detoxification system includes the conjugation of xenobiotics like polyaromatic hydrocarbons, some pollutants, heavy metals, pesticides and herbicides with reduced GSH molecule (Türkkan et al., 2019; Higgins et al., 2011). In addition to its role in detoxification, the GST enzyme has many biological functions, namely cellular peroxide degradation, leukotrienes and prostaglandins, isomerization of steroids, synthesis and transportation of hormones (Hayes et al., 2005; Isik et al., 2015; Sau et al., 2010). Depending on its location in the cell, the enzyme is naturally called cytosolic, mitochondrial, and microsomal. (Hayes et al., 2005). These groups have a large number of isoforms related to the differences in protein structure, amino acid sequence and substrate diversity. For example, according to sequence similarity of amino acids, cytosolic GSTs are divided into 7 classes: Pi, Mu, Sigma, Alpha, Omega, Theta, and Zeta. Mitochondrial GSTs belong to Kappa and microsomal GSTs belong to the MGST class. (Glisic et al., 2014).

Recently years, developments in biotechnology and agricultural processes have caused to contamination of the aquatic environment by pollutants (Topal et al., 2008; Ekinci et al., 2008; Ekinci and Beydemir, 2010; Soyut and Beydemir, 2008). These pollutants not only affect the integrity of ecosystems, but also affect the physiological functions of various animals. (Şen and Kırıkbakan, 2004; Perez-Lopez et al., 2002). Heavy metals, pesticides, and herbicides accumulate in the aquatic species' tissues and lead to the production of reactive oxygen species (ROS). ROS accumulation brings about oxidative damage, degradation of cellular antioxidant capacity, and dysfunction of physiological and biochemical mechanisms (Comakli et al., 2015). Fish, like all living things reduce the harmful effects of ROS, have antioxidant enzyme systems such as superoxide dismutase(SOD), catalase (CAT), glutathione peroxidase (GPx), GST and glutathione reductase (GR) (Zhang et al., 2009). The role of the GST enzyme in xenobiotic metabolism has been extensively studied in mammals, but this enzyme has not been well studied in aquatic species. (Ozaslan et al., 2017; Comakli et al., 2013; Aksoy et al., 2016; Ozaslan et al., 2018; Huang, et al., 2008; Donham et al., 2005).

Van Lake fish is an endemic species that living in the Van region in Türkiye (Kuzu et al., 2016). For its economic importance in agriculture, there is a need to evaluate the comprehensive effects of the pollutants emitted by agricultural development on this fish. Correspondingly, this study is interested with to perform in vitro investigation of the effects of methyl mercury, Fe^{3+} , Cr^{3+} , Cu^{2+} , Mg^{2+} , Zn^{2+} metal ions, and dinicazoles, atrazine, and methomyl pesticides on the activity of GST purified from the kidney tissue of *C. Tarichii*

MATERIALS AND METHODS

Materials

GSH-Agarose affinity gel, 1 chloro 2 4-dinitrobenzene, glutathione (reduced), enzyme assay reagents for analysis and chemicals used in electrophoresis were obtained from Sigma-Aldrich. Unless specified.

Obtainment of homogenates

The *C. Tarichi* kidney tissue (20g) was crushed-powdered with liquid nitrogen, and decomposed cell membranes were suspended in 50 mM Tris-HCl (pH 7.4) containing 1 mM EDTA, DTT, and PMSF.

The prepared homogenate was centrifuged at 11000 rpm for 60 minutes. The supernatant obtained after centrifugation was stored at -80 °C for further steps.

Purification of Enzyme

The GST enzyme purification procedure was undertaken by the modification of previous procedures (Toribio et al., 1996). The prepared kidney homogenate was applied to an affinity gel equilibrated with 10 mM phosphate buffer containing 0.15 M NaCl (pH 7.4). The column was washed with the same buffer for removal of exceeded materials buffer, and GST was eluted with a gradient of 5-10 mM GSH containing 50 mM Tris/HCl.

Protein determinations

Protein contents in all purification steps were determined according to the Bradford method (Bradford, 1976). For this purpose, bovine serum albumin was used as standard protein.

Determination of enzyme activity assay

The GST enzyme activity determination was undertaken by a minor modification of previous procedures (Habig et al., 1974) using CDNB as a substrate. The assay system included a phosphate buffer (pH 7.2), GSH (1 mM) and CDNB (0.5 mM) in-tub concentrations. The absorbance increase at 340 nm of the formed product was determined spectrophotometrically.

Sodium dodecyl sulfate–polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE)

SDS-PAGE was performed according to the procedure described by Laemmli to determine the molecular weight of the GST enzyme. (Laemmli, 1970).

In vitro inhibition studies

The inhibitory effect of Fe^{3+} , Cr^{3+} , Cu^{2+} , Mg^{2+} , and Zn^{2+} metal ions and dinicanozole, atrazine, and methomyl pesticides were investigated on the kidney tissue GST enzyme activity. The activity values were determined at five different concentrations of each respective chemical. No chemicals were added to the control cuvette, which has 100% enzyme activity. The IC_{50} values of the chemicals were calculated from the activity (%)–inhibitor concentration graph.

RESULTS AND DISCUSSION

In this study, the GST enzyme from Van Lake fish was 335-fold purified at 89% with a yield of 27.8-specific activity. The purification procedure was conducted using GSH-agarose affinity chromatographic method, and purification results have shown in Table 1. To check the purity of the enzyme, SDS-PAGE electrophoresis was performed, and the SDS-PAGE image was photographed (Figure 1). R_f values of standard proteins and GST were tested to determine the molecular weight of the purified enzyme subunits. Then Laemmli method was used (1970) to clarify the enzyme structure. The subunit molecular weight of the enzyme was determined as 28kDa from the R_f – log molecular weight (MW) graph (Figure 2). The K_m and V_{max} values were calculated for each substrate using the Lineweaver-Burk graph (Figures 3 and 4). The K_m constant was 0.429 mM, and the V_{max} value was 0.207 EU/mL^{-1} for GSH. The K_m constant for the CDNB substrate was determined as 0.276 mM and the V_{max} value was determined as 0.161 EU/mL^{-1} . The inhibitory effects of Met-Hg, Fe^{3+} , Cr^{3+} , Cu^{2+} , Mg^{2+} , Zn^{2+} metal ions and atrazine dinicanozole, and methomyl pesticides on the purified kidney GST enzyme activity were investigated. The IC_{50} values of the inhibitor were determined by graphs as demonstrated

Investigation of Effects of Some Metal Ions and Some Pesticides on Glutathione S-Transferase (GST) Enzyme Purified from Van Lake Fish (*Chalcalburnus Tarichi*) Kidney

in figure 5 and 6 and calculated as 34.5mM, 10 μ M, 1.5 μ M, 2.4 μ M, 63 μ M, 0.15mM, 10 μ M, 9.8 μ M, 1.3 μ M, 2.67 μ M, respectively (Table 2).

Table 1. Purification conditions for obtaining GST from kidney tissue of Van Lake Fish

Sample type	Total volume (mL)	Activity (EU/ml)	Protein (mg/ml)	Total protein (mg)	Total activity	Specific activity (EU/mg)	Yield (%)	Purification coefficient
Homogenate	22	0.12	1.46	32.12	2.66	0.083	100	1
Affinity	3	0.8	0.023	0.086	2.39	27.8	89	335

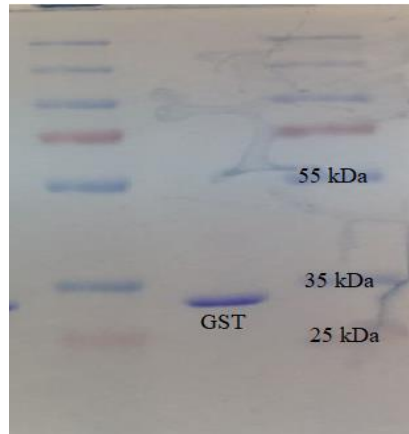


Figure 1. SDS-PAGE photograph showing the purity of the enzyme. Lane 1: standart proteins. Lane 2: Van Lake fish kidney

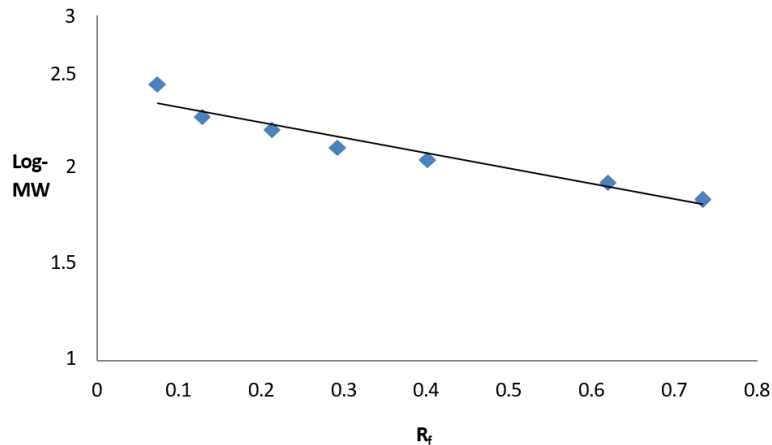


Figure 2. Standard Rf-Log MW graph of GST using SDS-PAGE

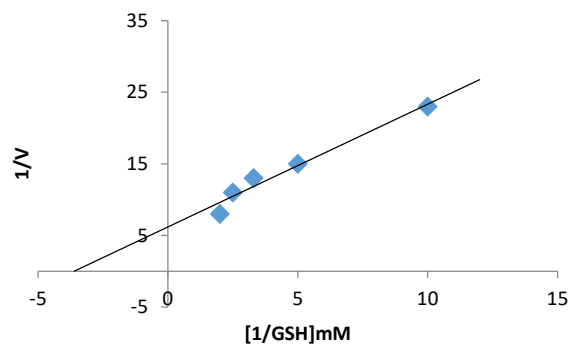


Figure 3. Lineweaver-Burk graph in five different concentrations for GSH substrate

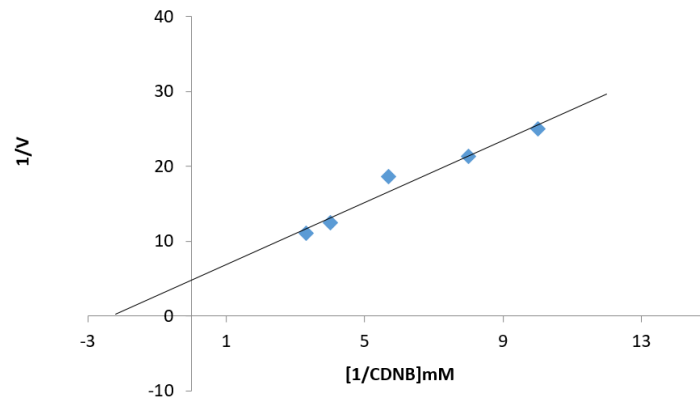


Figure 4. Lineweaver-Burk graph in five different concentrations for CDNB substrate

It is known that the biochemical reactions that take place in living organisms are catalyzed by specific enzymes. Pollution of aquatic environments with various natural and industrial compounds is known as one of the environmental problems. (Schwarzenbach et al., 2006). Reactive oxygen species such as H_2O_2 , superoxide and hydroxyl radicals occur in living organisms exposed to metal and pesticide contamination. These stations contribute to the formation of oxidative damage in cells (Ozaslan et al., 2018; Pinto et al., 2003). The GST is a phase II xenobiotic-metabolizing enzyme family and plays critical roles in cellular defence against toxic compounds. Moreover, the GST is a detoxification enzyme against some harmful exogenous molecules such as mutagens compounds, carcinogens, and environmental pollutants (Cui et al., 2015; Tu et al., 2005).

In the present paper, the GST enzyme was purified from the kidney tissue of *Chalcalburnus Tarichi* using the GSH-agarose affinity technique. The purification results given in Table 1 show that the enzyme was purified 335-fold, with 27.8 EU/mg protein-specific activity and 89% yield. The affinity technique is important, so it takes to advance to obtain high enzyme yield in a very short time used in this study. Fishes is used as a contamination indicator in the aquatic environments for long years. The GST enzyme is studied from different fish tissues such as *Chalcalburnus Tarichi* (Ozaslan et al., 2017), Rainbow trout (Comakli et al., 2013), *Salmo trutta labrax* (Perez-Lopez et al., 2002), *Oncorhynchus tshawytscha* (Donham et al., 2005), Zebrafish (Alena et al., 2018). According to what we know, there is no research containing the effect of metal and pesticides on *Chalcalburnus Tarichi* kidney GST enzyme in the literature.

Recent studies in the literature been conducted for the purification of the GST enzyme from different sources. Akkemik et al. They purified the GST enzyme from turkey liver 252.7 times with a 45% yield by glutathione-agarose affinity chromatography (Akkemik et al., 2012). In another similar study, the GST enzyme was purified 1143-fold from human erythrocytes with a specific activity of 16.00 EU/mg and a yield of 80%. (Erat and Şakiroğlu, 2013). Additionally, the *M. albus* liver GST was purified via Sepharose - 6B affinity chromatography with a yield of 14 % (Huang et al., 2008).

The cytosolic GSTs are dimeric proteins (Noble et al., 1998). Single band image obtained in the SDS-PAGE in Figure 1 showed the enzyme as a homodimer. Furthermore, obtained data from SDS-PAGE results from human erythrocytes (Aksoy and Kufrevioglu, 2018), rainbow trout (Comakli et al., 2013), and *Salmo trutta labrax* (Comakli et al., 2015) support our results. The K_m and V_{max} values for CDNB and GSH acting as substrates of the GST enzyme were calculated by the Lineweaver-Burk graph (Figure 3 and Figure 4). According to the results, the K_m and V_{max} values for the CDNB substrate were 0.276 mM and 0.161 EU/mL, respectively. On the other hand, the K_m constant and V_{max} for the GSH substrate was 0.429 mM and 0.207 EU/mL, respectively. The obtained data in the present study revealed a higher affinity of the enzyme for the CDNB substrate with a smaller K_m value. We also

examined the inhibition effects to understand the toxic effects of metals and pesticides on the enzyme. According to the results obtained, the inhibitory effect of pesticides and metal ions on GST enzyme was observed. The results obtained are given in Table 2. Enzymes are known to catalyze reactions in the living organisms.. The environmental contaminants, namely, metal ions and pesticides, influence metabolism at low concentrations by enhancing or inhibiting enzyme activities. Therefore, researchers have carried out many studies that reveal the effects of metal ions and pesticides on enzyme activities. In previous studies, researchers purified the GST enzyme from turkey liver.They revealed the effects of some ions like Zn^{2+} , Cu^{2+} , Ag^+ , Mg^{2+} , Hg^{2+} , Fe^{2+} , Ni^{2+} , and Mn^{2+} on GST activity, and recorded that ions inhibited the GST activity with different concentrations (Akkemik et al., 2012).

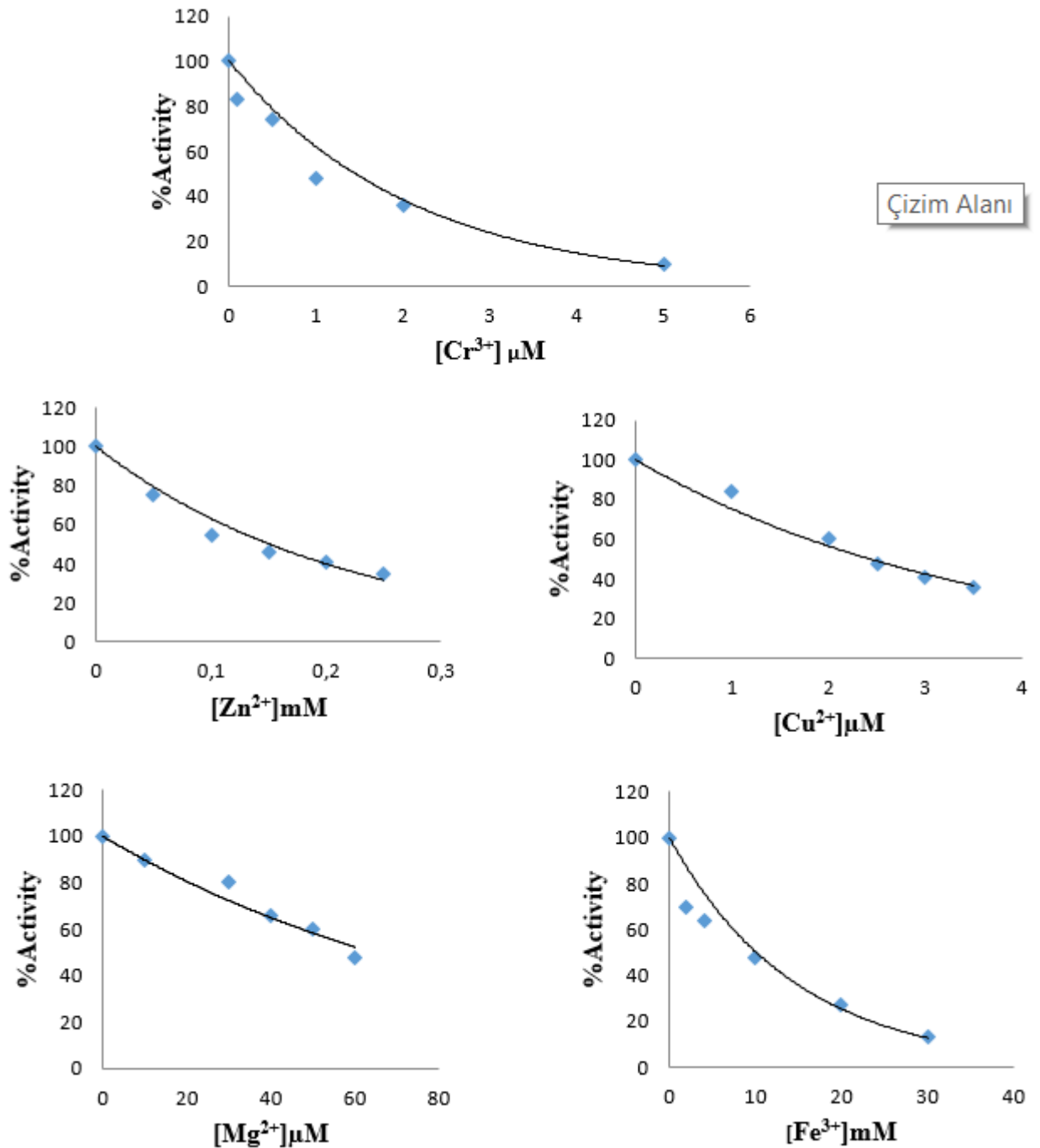


Figure 5. Activity % -metal ions graphs for Van Lake fish kidney GST

Table 2. IC₅₀ values for kidney GST of metal ion and pesticide chemicals.

Inhibitor	IC ₅₀
Zn ⁺²	0.15 mM
Mg ⁺²	63 µM
Fe ⁺³	10 µM
Cu ⁺²	2.4 µM
Cr ⁺³	1.5 µM
Metil Crva	34.5 mM
Atrazine	9.8 µM
Methomyl	2.67 µM
Diniconazole	1.3 µM

Mozhdeganloo et al. (2015) have showed that oxidative damage emerged in the rainbow trout livers exposed to Met-Hg at various concentrations and durations, and their antioxidant defence systems changed (Mozhdeganloo et al., 2015). Aksoy et al. (2018) reported to in vitro effects of some pesticides on GST from Van Lake Fish liver. They found λ -cyhalothrin, dichlorvos, 2,4-DDMA, and glyphosate isopropylamine showed remarkable inhibitory effects (Özaslan et al., 2018).

In this study, we purified the GST enzyme from the liver of Lake Van Fish (*C. Tarichi*) by one-step glutathione-agarose affinity chromatography. Then, we investigated the in vitro toxic effects of some heavy metal ions and some pesticides on enzyme activity. After the inhibition plots were drawn, we determined the IC₅₀ values of metal ions and pesticides in the range of µM and mM. It is thought that chemicals with a low IC₅₀ value may be toxic not only for some living things but also for all living things. Thus, it might be suggested that responsible parties should pay more attention releasing of these environmentally pollutants.

CONCLUSION

In conclusion, the in vitro inhibitory effects of environmental hazardous pollutants like metal ions and pesticides were investigated on the GST enzyme purified from the kidney tissue of Van Lake Fish. It is well known that the GST enzyme has an important role in the detoxifying of xenobiotics metabolism. In the literature, there are studies that investigate the in vitro effects of environmental pollutants on the GST enzyme. It is seen that our results are compatible with them. However, it is essential that our findings must be supported by in vivo studies.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by the Agri Ibrahim Cecen University

Conflict of Interest

The article authors declare that there is no conflict of interest between them.

Author's Contributions

The authors declare that they have contributed equally to the article.

REFERENCES

- Akkemik E, Taser P, Bayindir A, Budak H, Ciftci M, 2012. Purification and characterization of glutathione S-transferase from turkey liver and inhibition effects of some metal ions on enzyme activity. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 34(3): p. 888-894.
- Aksoy M, Ozaslan, MS, Kufrevioglu OI, 2016. Purification of glutathione S-transferase from Van Lake fish (*Chalcalburnus tarichii* Pallas) muscle and investigation of some metal ions effect on enzyme activity. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 31(4): p. 546-550.

- Aksoy M., Kufrevioglu OI, 2018. Inhibition of human erythrocyte glutathione S-transferase by some flavonoid derivatives. *Toxin Reviews*, 37(3): p. 251-257.
- Alena Tierbach, Ksenia J. Groh, Rene Schonenberger, Kristin Schirmer, Marc JF, 2018. Suter Glutathione S-Transferase Protein Expression in Different Life Stages of Zebrafish (*Danio rerio*). *Toxicological Sciences*, 162(2): p. 702-712.
- Bradford M, 1976. A rapid and sensitive method for quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.*, 72: p. 248-254.
- Comakli V, Kuzu M, Demirdag R, 2015. Characterization and purification of glutathione S-transferase from the liver and gill tissues of Ağrı Balık Lake trout *Salmo trutta labrax* and the effects of heavy metal ions on its activity. *Journal of Aquatic Animal Health*, 27(3): p. 145-151
- Comakli V, Ciftci M, Kufrevioglu OI, 2013. Effects of some metal ions on rainbow trout erythrocytes glutathione S-transferase enzyme: an in vitro study. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 28(6): p. 1261-1266.
- Cui J, Li LG, Jiang P, Liu RD, Yang X, Liu LN, Liu P, Zhang SB, Wang ZQ, 2015. Biochemical and functional characterization of the glutathione S-transferase from *Trichinella spiralis*. *Parasitology Research*, 114(5): p. 2007-2013.
- Donham RT, Morin D, Jewell WT, 2005. Characterization of cytosolic glutathione S-transferases in juvenile Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Aquat Toxicology*, 73: p. 221-9.
- Donham RT, Morin D, Jewell WT, Lame M, Segall H, Tjeerdema RS, 2005. Characterization of cytosolic glutathione S-transferases in juvenile Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Aquatic Toxicology*, 73(3): p. 221-229.
- Ekinci D, Beydemir S, Kufrevioglu OI, 2007. In vitro inhibitory effects of some heavy metals on human erythrocyte carbonic anhydrases. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 22(6): p. 745-750.
- Ekinci D, Beydemir S, 2010. Purification of PON1 from human serum and assessment of enzyme kinetics against metal toxicity. *Biological Trace Element Research*, 135(1): p. 112-120.
- Erat M, Sakiroglu H, 2013. The effect of some antineoplastic agents on glutathione S-transferase from human erythrocytes. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 28(4): p. 711-716.
- Glisic, B, Mihaljevic I, Popovic M, Zaja R, Loncar J, Fent K, Kovacevic R, Smital T, 2014. Characterization of Glutathione-S-transferases in zebrafish (*Danio rerio*), *Aquatic Toxicology*, 158(1): p. 50-62.
- Hayes JD, Flanagan JU, Jowsey IR, 2005. Glutathione transferases. *Annu Rev Pharmacol Toxicol* 45: 51-88.
- Higgins LG, Hayes JD, 2011. Mechanisms of induction of cytosolic and microsomal glutathione transferase (GST) genes by xenobiotics and pro-inflammatory agents. *Drug Metab Rev* 43: p. 92-137.
- Huang Q, Liang L, Wei T, 2008. Purification and partial characterization of glutathione transferase from the teleost *Monopterus albus*. *Comp Biochem Phys C*, 147: p. 96-100.
- Huang Q, Liang L, Wei T, Zhang D, Zeng, Q-Y, 2008. Purification and partial characterization of glutathione transferase from the teleost *Monopterus albus*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 147(1): p. 96-100.
- Isik M, Demir Y, Kirici M, Demir R, Simsek F, Beydemir S. 2015. Changes in the anti-oxidant system in adult epilepsy patients receiving anti-epileptic drugs. *Archives of Physiology and Biochemistry*, 121(3): p. 97-102.
- Kuzu M, Aslan A, Ahmed I, Comakli V, Demirdag R, Uzun N, 2016. Purification of glucose-6-phosphate dehydrogenase and glutathione reductase enzymes from the gill tissue of Lake Van fish and analyzing the effects of some chalcone derivatives on enzyme activities. *Fish Physiology and Biochemistry*, 42(2): p. 483-491.
- Kuzu M, Ciftci M, 2015. Purification and characterization of NADPH-cytochrome P450 reductase from Lake Van fish liver microsomes and investigation of some chemical and metals' effects on the enzyme activity. *Turk J Chem*, 39: p. 149-158

- Laemmli UK, 1970. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature*, 227(5259): p. 680.
- Mozhdeganloo Z, Moghadam Jafari A, Koochi M, 2015. Heidarpour Methylmercury-Induced Oxidative Stress in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Liver: Ameliorating Effect of Vitamin C. *Biol Trace Elem Res*, 165: p. 103–109
- Noble E, Barre H, Dierickx P, 1998. Effect of diet and β -naphthoflavone on hepatic and renal glutathione S-transferase isoenzymes in carp (*Cyprinus carpio*). *Fish Physiology and Biochemistry*, 18(2): p. 203-212.
- Ozaslan MS, Demir Y, Aksoy M, Kufrevioglu OI, Beydemir S, 2018. Inhibition effects of pesticides on glutathione-S-transferase enzyme activity of Van Lake fish liver. *Journal of Biochemical and Molecular Toxicology*, 32(9): p. e22196.
- Ozaslan MS, Demir Y, Kufrevioglu I, Ciftci M, 2017. Some metals inhibit the Glutathione S-transferase from Van Lake fish gills. *J. Biochem. Molotoxicol*, 00:e21967.
- Pabst MJ, Habig WH, Jakoby WB, 1974. Glutathione S-transferase: a novel kinetic mechanism in which the major reaction pathway depends on substrate concentration. *Journal of Biological Chemistry*, 249(22): p. 7140-7148.
- Pérez-López M, Novoa-Valinas MC, Melgar-Riol MJ, 2002. Glutathione S-transferase cytosolic isoforms as biomarkers of polychlorinated biphenyl (Arochlor-1254) experimental contamination in rainbow trout. *Toxicology Letters*, 136(2): p. 97-106.
- Pinto E, Sigaud-Kutner TCS, Leitao MAS, Okamoto OK, Morse D, Colepicolo P, 2003. Heavy metal-induced oxidative stress in algae. *J Phycol* 39: p. 1008–1018.
- Sau A, Pellizzari Tregno F, Valentino F, Federici G, Caccuri AM, 2010. Glutathione transferases and development of new principles to overcome drug resistance. *Arch Biochem Biophys* 500: p. 116– 122.
- Schwarzenbach RP, Escher BI, Fenner K, Hofstetter TB, Johnson CA, Von Gunten U, Wehrli B, 2006. The challenge of micropollutants in aquatic systems. *Science*, 313(5790): p. 1072-1077.
- Sen A, Kirikbakan A, 2004. Biochemical characterization and distribution of glutathione S-transferases in leaping mullet (*Liza saliens*). *Biochemistry (Moscow)*, 69(9): p. 993-1000.
- Soyut H, Beydemir S, 2008. Purification and some kinetic properties of carbonic anhydrase from rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) liver and metal inhibition. *Protein and Peptide Letters*, 15(5): p. 528-535.
- Topal, A., Atamanalp, M., Oruç, E., Beydemir, Ş., Işık, A., & Demir, Y. (2014). In vivo changes in carbonic anhydrase activity and histopathology of gill and liver tissues after acute exposure to chlorpyrifos in rainbow trout. *Archives of Industrial Hygiene and Toxicology*, 65(4).
- Toribio F, Martinez-Lara E, Pascual P, Lopez-Barea J, 1996. Methods for purification of glutathione peroxidase and related enzymes. *Journal of Chromatography B*. 20; 684 (1-2): p. 77-97.
- Tu CPD, Akgul B, 2005. *Drosophila* glutathione S-transferases. *Methods in Enzymology*, 401: p. 204-226.
- Turkan F, Huyut Z, Demir Y, Ertas F, Beydemir S, 2019. The effects of some cephalosporins on acetylcholinesterase and glutathione S-transferase: an in-vivo and invitro study, *Archives of Physiology and Biochemistry*, 125(3): p. 235-243.
- Zhang X, Xie P, Li D, Tang R, Lei H, Zhao Y, 2009. Time-dependent oxidative stress responses of crucian carp (*Carassius auratus*) to intraperitoneal injection of extracted microcystins. *Bull Environ Contam Toxicol* 82: p. 574–578.

Atf İçin: Keşkek Karabulut, Y. ve Yalçın Gürkan, Y. (2023). Bazı Azo Boyalarının QSAR Yöntemi ve Daphnia Magna ile Akut Toksikite Testi ile İncelenmesi. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 1110-1119.

To Cite: Keşkek Karabulut, Y. & Yalçın Gürkan, Y. (2023). Investigation of Some Azo Dyes by QSAR Method and Acute Toxicity Test with Daphnia Magna. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 1110-1119.

Bazı Azo Boyalarının QSAR Yöntemi ve Daphnia Magna ile Akut Toksikite Testi ile İncelenmesi

Yasemin KEŞKEK KARABULUT ¹, Yelda YALÇIN GÜRKAN ^{2*}

Öne Çıkanlar:

- Teorik
- Deneysel
- Ekotoksikoloji

Anahtar Kelimeler:

- Aromatik Aminler
- Azo Boyaları
- QSAR
- Teorik Kimya
- Daphnia Magna
- Ekotoksikoloji

ÖZET:

Azo boyalar, tekstil boyalarının en önemli sınıfını temsil eder. Azo boyaların biyotransformasyonu aromatik aminleri serbest bırakabilir. Bazı aromatik aminlerin genotoksik ve/veya kanserojen özelliklere sahip olduğu iyi bilinmektedir. Bu çalışmada, tekstil sektöründe yaygın olarak kullanılan aromatik aminlerden oluşan azo boyalarının çevre üzerindeki etkilerinin akut su toksisitesi testi ile araştırılması amaçlanmıştır. Daphnia Magna kullanılarak yapılan akut su toksisite testi deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Teorik çalışmalarda son zamanlarda ilgi gören ve ülkeler arası yönetmeliklerde de kullanılan OECD QSAR Toolbox programı tercih edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda deneysel ve teorik sonuçların paralel sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu çalışma, Daphnia Magna üzerinde yapılan akut toksisite testlerinde maliyeti, süreyi ve hayvan ölümlerini azaltmak amacıyla teorik çalışmaların deneysel çalışmalara ikame olabileceğini göstermiştir. Ayrıca, bu çalışma sonuçlarına göre Basic Yellow 28, Dispers Blue 291 ve Dispers Brown 27-1 azo boyalarının ekotoksikolojik olarak toksik olduğu deneysel ve teorik yöntemler ile bulunmuştur.

Investigation of Some Azo Dyes by QSAR Method and Acute Toxicity Test with Daphnia Magna

Highlights:

- Theoretical
- Experimental
- Ecotoxicology

Keywords:

- Aromatic amines
- Azo Dyes
- QSAR
- Theoretical Chemistry
- Daphnia Magna
- Ecotoxicology

ABSTRACT:

Azo dyes represent the most important class of textile dyes. Biotransformation of azo dyes can release aromatic amines. It is well known that some aromatic amines have genotoxic and/or carcinogenic properties. In this study, it was aimed to investigate the effects of azo dyes, which are composed of aromatic amines, and are widely used in the textile industry, on the environment using acute water toxicity test. The acute water toxicity test using Daphnia Magna was investigated experimentally and theoretically. The OECD QSAR Toolbox program, which has recently attracted attention in theoretical studies and is also used in international regulations, has been preferred. As a result of the studies, it was seen that the experimental and theoretical results gave parallel results. This study showed that theoretical studies can be substituted for experimental studies in order to reduce cost, time, and animal mortality in acute toxicity tests on Daphnia Magna. In addition, according to the results of this study, it was found by experimental and theoretical methods that Basic Yellow 28, Disperse Blue 291, and Disperse Brown 27-1 azo dye are ecotoxicologically toxic.

¹ Yasemin KEŞKEK KARABULUT ([Orcid ID: 0000-0002-6742-783X](https://orcid.org/0000-0002-6742-783X)), Kırklareli University, Project Development and Coordination Office, Kırklareli, Türkiye

² Yelda YALÇIN GÜRKAN ([Orcid ID: 0000-0002-8621-2025](https://orcid.org/0000-0002-8621-2025)), Namık Kemal University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Chemistry, Tekirdağ, Türkiye

Corresponding Author: Yasemin KEŞKEK KARABULUT, e-mail: ykeskekkarabulut@klu.edu.tr

This study was carried out as a follow-up study of Yasemin KESKEK KARABULUT's PhD thesis. In addition, this study, SETAŞ Kimya San. Inc. was supported by the R&D Center Ministry Projects with the project number BY18-0005. Article "ICASEM IV. International Congress of Applied Sciences, Engineering and Mathematics" was presented as an oral presentation.

Ethics Committee Approval: In the animal experiment in this article, Daphnia Magna species was used and Ethics Committee Approval certificate is not required as this species is not included in the definition of experimental animal.

INTRODUCTION

In general, dyes are a fairly common practice used to change the color properties of different substrates. First, substances with coloring properties were obtained from natural sources such as animals or vegetables. Today, natural dyes have been replaced by synthetic dyes and the use of synthetic dyes has increased considerably. Hundreds of new colored compounds are released every year and take their place in the market (Ventura-Camargo et al., 2013). The majority of synthetic dyes are dye groups known as azo dyes. In a study, it was seen that approximately half of the dyes available in the market contain dyes belonging to the azo dye group (Majcen-Le et al., 1997). These dyes are used in the textile industry to color fibers with various raw materials. Azo dyes are easily synthesized, and have excellent fixing and holding properties. It can also offer a wide variety of colors compared to natural dyes (O'Neill et al., 1999).

Substances defined as azo dyes are synthetic dyes known as amines or phenol diazotized amines containing an azo group (N=N-) in their structure. Almost all of the dyes used in textiles are azo dyes (Carliell et al., 1995). Aromatic amines are used as raw materials or intermediates in the synthesis of azo dyes. Recent studies have observed that aromatic amines, especially aromatic amines carried into consumer products, pose a risk to human health due to their toxicological, ecotoxicological, mutagenic, and/or carcinogenic properties. Aromatic amines are generally defined as chemical compounds that have one or more aromatic rings in their molecular structure bearing one or more amino substituents (Brüschweiler et al., 2017).

While increasing industrialization causes environmental pollution, the discharge of toxic wastes from various industries also affects water resources, soil fertility, aquatic organisms, and ecosystem integrity. Textile dyeing industries, one of these industries, release a large amount of wastewater to the environment after dyeing. Textile processing industries mostly use azo dyes. It is affected by toxicity in aquatic organisms (fish, algae, bacteria, etc.) as well as in animals. Among the dyes, especially the chronic effects of azo dyes have been studied over the years (Correia et al., 1994). A large number of azo dyes are used in the dyeing of textile products. Studies have observed that approximately 10% of the dyes in the dyeing process are not bound to the fibers and therefore released into the environment (Hildenbrand et al., 1999).

Polluting dye residues include azo dyes, which are discharged in large quantities directly into water bodies, and this characterizes an important pathway of environmental contamination (Pearce et al., 2003). According to some studies, approximately 10-15% of the dyes used by industries are lost during the dyeing process and thus released into the environment (Nam et al., 2000; Jarosz-wilkolazka et al., 2002). In another study, it was predicted that these values could be up to 50% higher (O'Neill et al., 1999). However, the exact data on the amount of dye released into the environment is not known yet (Ekici et al., 2001). The use of azo dyes in textile colors is of great interest, as environmental concerns may arise due to the high volume of water involved in the dyeing process. When a dye is used in this process, some of it is not subject to adhesion to the fibers remaining in the water bath. As a result, large volumes of wastewater containing dyes and related excipients are produced and can be released into the environment (Umbuzeiro et al., 2004; Umbuzeiro et al., 2005).

On the one hand, azo dyes meet the needs of people, on the other hand, they cause ecological and toxicological changes in hydric sources, soil, and atmosphere. The presence of dyes in water causes problems in the body and can have a negative impact on public health (Achwal, 1997). Azo dyes do not degrade readily under natural conditions and are not typically removed from wastewater by conventional wastewater treatment systems (Puvaneswari et al., 2006).

Aquatic environments are extremely important to the world's population because they are used as resources for water, agricultural activities, and animal production, and are also associated with recreational activities. Rivers, lakes, and oceans are the end targets of many pollutants from industrial, agricultural, and domestic activities (Ohe et al., 2004). With toxicity tests on fish and other aquatic organisms, it can be determined at what concentration a substance is harmful to organisms, and at which concentrations it has a visible effect. Using the results obtained from these tests, it is possible to determine the maximum concentrations for a water creature, evaluate the chemical measurements in the water source and make decisions accordingly and predict limitations. In these tests, while all other conditions are kept constant, trials are carried out by changing only the level of the factor and the concentration of the toxic substance (Bulut et al., 2013).

Table 1. Chemical structures of the studied azo dyes

Azo Dye	Structure	Azo Dye	Structure
Disperse Brown 27-1		Disperse Yellow 27	
Disperse Brown 19		Basic Yellow 28	
Disperse Orange 30		Disperse Blue 79	
Disperse Blue 291		Basic Red 46	
Orange 73-1			

Acute aquatic toxicity in *Daphnia Magna* is one of these tests. A recent study showed that *Daphnia* is highly sensitive to aniline and that aniline has a species sensitivity distribution. These data show that anilines can act in a different mode of action in *Daphnia Magna*. However, it is not yet known whether water fleas are the only sensitive species to aromatic amines (Ramos et al., 2002). Given the limited experimental data available on the toxicity of dyes and pigments, the development of prediction models appears to be of time interest (Jillella et al., 2021)

In this study, azo dyes commonly used in the textile are Basic Red 46, Basic Yellow 28, Disperse Brown 27-1, Disperse Brown 19, Disperse Blue 291, Disperse Blue 79, Disperse Orange 30, Disperse Yellow 27, and Orange 73-1 were examined acute toxicity in *Daphnia Magna* experimental and theoretical by QSAR method. The chemical structures of the studied azo dyes can be seen in Table 1.

Some regulations on human and ecosystem exposure to chemicals (eg REACH legislation) indicate that there are insufficient toxicity and ecotoxicity data for risk assessment of thousands of chemicals produced and used. However, given studies of the long-term and irreversible health effects of many chemicals, there is an increasing incentive to increase regulations and thus controls (Pinheiro et al., 2004).

Along with these incentives, studies examining the toxicological and ecotoxicological properties of azo dyes put on the market and using them in chemical legislation have increased in recent years. However, carrying out studies on human health and harmfulness to the environment, which should be carried out according to the legislation, causes both the use of living things and a great loss of time. For these reasons, the tendency for theoretical studies has increased considerably.

The use of quantitative structure-activity relationship (QSAR) analysis in predicting the toxicity and ecotoxicity of chemicals is extensive. QSAR is the result of a large amount of accumulated experimental data. It also addresses the need for reliable prediction methods, particularly in dye chemistry, due to the wide variety of amine structures involved in the production of chemicals. Studies of the mechanisms of dye toxicity and the use of the QSAR tool have hampered the development of azo dyes with direct toxicity and the production of azo dyes capable of converting to carcinogenic aromatic amines in Europe. Computational analyzes for the prediction of toxicological and ecotoxicological processes are useful for screening a wide range of chemicals and predicting the effects of functional groups (Benigni et. al., 2002).

The read-across method is widely used by industry to support the safety assessment of chemicals. The toxicological and ecotoxicological read-across method is based on the principle that chemicals grouped according to the similarity in the molecular structure show compatibility in some toxicodynamic and some toxicokinetic properties (Kutsarova et al., 2021). The concepts of grouping items and read-across describe concepts for estimating a value for an item using experimental data for the same value from previously studied items considered "similar" to the target item. This similarity, which is a prerequisite for any read-across method, is a concept based on the similarity between the target and the chemicals under investigation and the commonality of their metabolic consequences (Kuseva et. al., 2019).

According to the work of the Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) (OECD, 2020), the increasing reliance on read-across as a data gap-filling method has brought appropriate approaches to establishing chemical categories and analog identification. In this study, the QSAR Toolbox 4.2 program, downloaded from ECHA's "<http://www.oecd.org/chemicalsafety/oecd-qsar-toolbox.htm>" website, which is also frequently used by the chemical industry, was used. OECD QSAR Toolbox is a software created to perform hazard assessment of chemicals used/to be used and to effectively evaluate mechanical and existing information about chemicals used/to be used. As a free-to-use theoretical program, it creates an alternative to animal testing and encourages the use of these methods. It prevents unnecessary animal testing by reducing human health and environmental risks. It is software created for use by governments, the chemical industry, and stakeholders. In addition, these Toolboxes reduce the cost of testing in laboratory tests and increase the number of chemicals evaluated. The toxicity and ecotoxicity of chemicals can be predicted before they are produced, supporting sustainable product development and green chemistry (Wexler, 2014; Keşkek Karabulut, 2020).

MATERIALS AND METHODS

Theoretical

In this study, OECD QSAR Toolbox 4.2 program was used. Toolbox is an in silico application designed to perform chemical hazard assessment. It can be used to scan current experimental results, evaluate category similarity, and fill in data gaps for the target chemical by cross-reading. The Toolbox consists of six basic tabs that can be used to create estimates and report results.

The OECD QSAR Toolbox's workflow starts with the profiling and classification steps. These steps can be intervened by the user and the program automatically calculates according to the data obtained from the previous studies. The profiling step is a process for obtaining appropriate information about the chemical to be scanned in databases (Keşkek Karabulut, 2020; Dimitrov et al., 2016).

The azo dyes used in this study are Disperse Brown 27-1, Disperse Brown 19, Disperse Orange 30, Disperse Blue 291, Disperse Yellow 27, Disperse Blue 823, Disperse Blue 79, Basic Red 46, Orange 73-1, Basic Yellow 28. *Daphnia Magna* data include short-term aquatic toxicity expressed in mol/l and as the negative logarithmic of LC50, i.e. the chemical concentration at which 50% lethality is observed in a test batch of *Daphnia Magna* within a 48 h exposure period.

The relevant azo dyes were calculated by cross-reading method using OECD QSAR Toolbox. Considering the experimental results of approximately 50-150 conformation in the theoretical calculation for all azo dyes, the read-across method was used. When QSAR results were examined, it was seen that the first three azo dyes with the highest toxicity on *Daphnia Magna* were Disperse Blue 291, Disperse Brown 27-1, and Basic Yellow 28 (Table 2) (Keşkek Karabulut, 2020).

Experimental

Daphnia Magna was cultured in a standard freshwater solution and the pH of the medium was kept constant at 7.5 [19]. Test compounds were provided by Setaş Kimya San. A.Ş. Chemicals and other chemicals of the test were obtained from Sigma Chemical Company, St. Louis MO, USA. Stock solutions were prepared by dissolving the appropriate amount of azo dyes in the M7 medium.

At the start of the test, the animals were less than 24 hours old and the second generation was used to reduce deviations within the test. The toxicity of related azo dyes was measured using 24 h *Daphnia Magna* (OECD, 2004). All organisms used for a particular test were origin from cultures established from the same stock of *Daphnids*. Toxicity tests were performed four times using five *Daphnids* in each 10 ml effective volume test beaker. *Daphnia Magnas* were grown within the range of 18 °C and 22 °C, and for every single test, it was constant within 1 °C in the laboratory. The experiment was followed at the end of 24 hours and the final 48 hours. At the end of 48 hours, the experiment was terminated. The values at the end of 48 hours were taken into account while plotting the mobile and immobile *Daphnia Magna* count and percent immobility curve (Table 2).

RESULTS AND DISCUSSION

Theoretical and experimental acute toxicity tests were performed on *Daphnia Magna*. Both tests were performed by the protocols. The EC50 value indicates the maximum concentration at which the relevant structure is toxic. It can be said that the lower the EC50 value, the more toxic the relevant aromatic amine is.

In the theoretical calculation for all azo dyes, considering the experimental results of approximately 50-150 conformation the read-across method was used by OECD QSAR. As a result of the theoretical calculation, it was seen that the EC50 values of the toxicities found varied between 1-150

mg/L. It was observed that the three most toxic azo dyes are Disperse Blue 291, Disperse Brown 27-1, and Basic Yellow 28.

A control group was formed in the experimental acute toxicity test. No change in oxygen content and pH value was observed during the test. The toxicity EC50 value range of a total of 9 azo dyes studied was between 1-130 mg/l. When the experimental EC50 values are examined, it can be said that the three most toxic azo dyes are Basic Yellow 28, Disperse Blue 291 and Disperse Brown 27-1 (Table 2).

Table 2: Theoretical and experimental (with *Daphnia Magna*) acute aquatic toxicity values of azo dyes

Azo Dye	Theoretical EC_{50} (mg/L)	Experimental EC_{50} (mg/L)
Basic Red 46	10.8	3.17
Basic Yellow 28	3.37	1.1
Disperse Blue 79	145	126
Disperse Blue 291	1.02	1.55
Disperse Brown 19	23.9	14.36
Disperse Brown 27-1	2.77	3.15
Disperse Orange 30	37.08	67.72
Disperse Yellow 27	36.9	75.28
Orange 73-1	50.3	95.5

According to some studies, toxicologists have attempted to understand the structure-toxicity relationship of azo dyes. Appropriate interactions of chemical components and environmental factors responsible for toxicological effects should be considered before formulating regulatory policies for their industrial use. Moreover, it can be used as a preliminary criterion for the identification of toxic dyes for which ecotoxicological evaluation should be made. The chemical structure of azo dyes is the most important criterion for their ecotoxic potential. With the same point of view, groups that increase toxicity were tried to be determined in this study (Rawat et al., 2016).

In another study on azo dyes, ecotoxicity testing was performed on the azo dyes CI Disperse Violet 93, CI Disperse Blue 291, and CI Disperse Blue 373 in *Daphnia Magna*. As a result of the study, it was found that disperse dyes showed very low ecotoxicity and the EC50 value of Disperse Blue 291 azo dye was higher than 0.02 mg/L. Similarly, in this study, the ecotoxicity of the Disperse Blue 291 dye was found to be higher than the specified value (Umbuzeiro et al., 2017).

In some studies, it has been observed that metals and nonmetals in azo dyes increase ecotoxicity and make the azo dye more toxic. It has been suggested that copper molecules in dye structures play an important role in the assessment of the aquatic toxicity of dye solutions. In parallel with these data, the effect of halogen presence in azo dyes on toxicity was also considered in this study (Bae et al., 2006; Bae et al., 2007).

According to many studies to date, azoic dyes have azo groups and aromatic rings that stabilize these water-resistant compounds. Some of these dyes are associated with mutagenic, cytotoxic, and carcinogenic behavior. As seen in the results of this study, the position of the aromatic ring and the number and position of both amino and nitro groups were found to affect potential toxicity (Chung, 2016; Jaafarzadeh et al., 2018).

In 2011, the textile dye red 1 ((N-ethyl-N-(2-hydroxyethyl)-4-(4-nitrophenylazo)aniline) was found to be highly toxic to aquatic invertebrates as well as being mutagenic (Ferraz et al., 2011).

According to a 2013 study examined a commercial red dispersion dye product and suggested that the ecotoxicity of the commercial preparation was similar to the dye. In this study, the effective concentration (EC50) for *Daphnia* was found to be 0.1 mg/L. Therefore, this dye can be classified as highly toxic to aquatic organisms according to the Global System for Classification and Labeling of Chemicals (GHS) (Vacchi et al., 2013). In this study, it was observed that dyes similar to the structure of Red 1 dye were toxic.

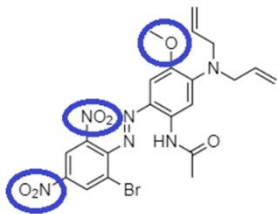
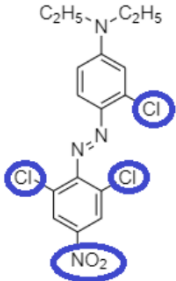
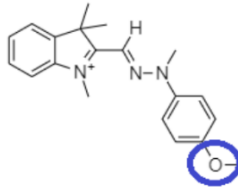
Minor differences in the molecular structures of azo dyes could greatly alter their toxicity activities and carcinogenic potential, so it is critical to adequately test each marketed azo dye (Umbuzeiro et al., 2005). Disperse azo dyes are poorly soluble or insoluble in water. Structures also play a big role in resolution values. The presence of ester in the structure and solubility in water, biodegradation, and sorption may affect the results of aquatic toxicity tests. According to a study to examine the effect of esters on toxicity on *Daphnia*, only low molecular weight esters were found to be acutely toxic. It was observed that as the molecular weight of chemicals containing ester in their structure increased, the acute effect levels decreased. Among the azo dyes examined in this study in terms of toxicity, it was observed that the structures of Disperse Blue 79 and Disperse Blue 291 azo dyes were very similar to each other, but their toxic effect levels were different. As mentioned in the literature, it can be said in this study that the ester groups present in the Disperse Blue 79 azo dye reduce toxicity (Staples et al., 2009).

Recent studies have shown that daphnias are highly sensitive to aniline and the species susceptibility distribution of aniline is complex to the sensitive side. These data indicate that anilines may act with a different mode of action in daphnias. Furthermore, it is not yet known whether water fleas are the only species sensitive to aromatic amines (Ramos et al., 2002).

CONCLUSION

As a result of *Daphnia Magna* Acute Aquatic toxicity studies, it was seen that theoretical calculations and experimental test studies were parallel to each other.

Table 5: Structures and active groups of Disperse Blue 291, Disperse Brown 27-1, and Basic Yellow 28

Disperse Blue 291	Disperse Brown 27-1	Basic Yellow 28
		

In experimental tests and theoretical calculations, Disperse Blue 291, Disperse Brown 27-1, and Basic Yellow 28 azo dyes were found to be the three most toxic azo dyes among the azo dyes studied. When the molecular structures of these three azo dyes were examined, it was seen that the nitro group and the ether group were present in the structures. In addition, it can be said that the presence of halogens in the structure of azo dyes with high aquatic toxicity is effective in toxicity (Table 5).

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by SETAŞ KİMYA A.Ş. scope of the R&D Center Ministry Projects with the project number BY18-0005.

Conflict of Interest

The article authors declare that there is no conflict of interest between them.

Author's Contributions

The authors declare that they have contributed equally to the article.

REFERENCES

- Achwal WB, 1997. Problems during analysis of textile as per ecostandards and the customer articles ordinance (Part I). *Colourage* 44(5):29-31.
- Bae JS, Freeman HS, 2007. Aquatic toxicity evaluation of new direct dyes to the *Daphnia Magna*. *Dyes and Pigments* 73(1):81-85. DOI: 10.1016/j.dyepig.2005.10.015
- Bae JS, Freeman HS, Kim SD, 2006. Influences of new azo dyes to the aquatic ecosystem. *Fibers and polymers* 7:30-35. DOI: 10.1007/BF02933599
- Benigni R, Passerini L, 2002. Carcinogenicity of the Aromatic Amines: From Structure-Activity Relationships to Mechanisms of Action and Risk Assessment. *Mutation Research* 511(3):191-206. DOI: 10.1016/s1383-5742(02)00008-x
- Bulut C, Çetinkaya O, Kubilay A, Akçimen U, Ceylan M., 2013. Acute Toxicity of Zinc (Cu+2) on Sand Smelt. *Süleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Science* 17(3): 32-38. DOI: 10.22392/actaquatr.874241
- Brüschweiler BJ, Merlot C, 2017. Azo Dyes In Clothing Textiles Can Be Cleaved Into A Series of Mutagenic Aromatic Amines Which Are Not Regulated Yet. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 88: 214-226. DOI: 10.1016/j.yrtph.2017.06.012
- Carliell CM, Barclay SJ, Naidoo N, Buckley CA, Mulholland DA, Senior E, 1995. Microbial Decolourisation of A Reactive Azo Dye Under Anaerobic Conditions. *Water SA* 21(1): 61-69.
- Chung KT, 2016. Azo dyes and human health: A review. Part C: Environ. Carcinog. *Ecotoxicol. Rev.* 34:233-261. DOI: 10.1080/10590501.2016.1236602
- Correia VM, Stephenson T, Judd SJ, 1994. Characterisation of Textile Wastewaters - A Review. *Environmental Technology* 15:917-929. DOI:10.1080/09593339409385500
- Dimitrov SD, Diderich R, Sobanski T, Pavlov TS, Chankov GV, Chapkanov AS, Karakolev YH, Temelkov SG, Vasilev RA, Gerova KD, Kuseva CD, Todorova ND, Mehmed AM, Rasenberg M, Mekenyan OG, 2016. QSAR Toolbox – workflow and major functionalities. *Environmental Research* 27(3): 203-219. DOI: 10.1080/1062936X.2015.1136680
- Ekici P, Leupol G, Parlar H, 2001. Degradability of selected azo dye metabolites in activated sludge systems. 44(4):721-728. DOI: 10.1016/S0045-6535(00)00345-3
- Ferraz ERA, Umbuzeiro GA, De Almeida G, Caloto Oliveira A, Chequer FMD, Dorta DJ, Oliveira DP, 2011. Differential toxicity of disperse red 1 and disperse red 13 in the Ames test, HepG2 cytotoxicity assay, and *Daphnia* acute toxicity test. *Environ Toxicol.* 26(5):489-497. DOI: 10.1002/tox.20576
- Hildenbrand S, Schmahl FW, Wodarz R, Kimmel R, Dartsch PC, 1999. Azo Dyes and Carcinogenic Aromatic Amines in Cell Cultures. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 72:M052-M056.
- Jaafarzadeh N, Takdastan A, Jorfi S, Ghanbari F, Ahmadi M, Barzegar G, 2018. The performance study on ultrasonic/Fe₃O₄/H₂O₂ for degradation of azo dye and real textile wastewater treatment. *J. Mol. Liq.* 256:462-470. DOI: 10.1016/j.molliq.2018.02.047

- Jarosz-wilkolazka A, Kochmanska-Rdest J, Malarczyk E, Wardas W, Leonowicz A, 2002. Fungi and their ability to decolorize azo and anthraquinonic dyes. *Enzyme and Microbial Technology* 30(4):566-572. DOI: 10.1016/S0141-0229(02)00022-4
- Jillella GK, Roy K, 2021. QSAR modelling of organic dyes for their acute toxicity in *Daphnia Magna* using 2D-descriptors. *SAR and QSAR in Environmental Research* 33(2):111-139. DOI: 10.1080/1062936X.2022.2033318
- Keşkek Karabulut Y, 2020. Bazı Aromatik Aminlerin Toksikolojik Ve Ekotoksikolojik Özelliklerinin Qsar Yöntemi ile İncelenmesi. Doctoral Thesis, Institute of Science, Namık Kemal University, Tekirdağ, Türkiye.
- Kuseva C, Schultz TW, Yordanova D, Tankova K, Kutsarova S, Pavlov T, Chapkanov A, Georgiev M, Gissi A, Sobanski T, Mekenyan OG, 2019. The implementation of RAAF in the OECD QSAR Toolbox. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 105:51-61. DOI: 10.1016/j.yrtph.2019.03.018
- Kutsarova S, Schultz TW, Chapkanov A, Cherkezova D, Mehmed A, Stoeva S, Kuseva C, Yordanova D, Georgiev M, Petkov T, Mekenyan OG, 2021. The QSAR Toolbox Automated Read-across Workflow for Predicting Acute Oral Toxicity: II. Verification and Validation. *Computational Toxicology* 20:2468-1113. DOI: 10.1016/j.comtox.2022.100219
- Majcen-Le MA, Slokar YM, Taufer T, 1997. Decoloration of chlorotriazine reactive azo dyes with H₂O₂/UV. *Dyes Pigments* 33(4):281-298. DOI:10.1016/S0143-7208(96)00057-5
- Nam S, Renganathan V, 2000. Non enzymatic reduction of azo dyes by NADH. *Chemosphere* 40(4):351-357. DOI: 10.1016/S0045-6535(99)00226-X
- OECD, 2004. Test No. 202: *Daphnia* sp. acute immobilisation test. In *OECD Guidelines for the Testing of Chemicals*, OECD Publishing, Paris.
- Ohe T, Watanabe T, Wakabayashi K, 2004. Mutagens in Surface Waters: A Review. *Mutation Research*, 567(2-3):109-149. DOI: 10.1016/j.mrrev.2004.08.003
- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), 2020. Overview of Concepts and Available Guidance related to Integrated Approaches to Testing and Assessment (IATA). *OECD Series on Testing and Assessment No. 329*, OECD, Paris.
- O'Neill C, Hawkes FR, Hawkes DL, Lourenco ND, Pinheiro HM, Delée W, 1999. Colour in textile effluents – sources, measurement, discharge consents, and simulation: a review. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 74(11):1009-1018. DOI:10.1002/(SICI)1097-4660(199911)74:11<1009::AID-JCTB153>3.0.CO;2-N
- Pearce CI, Lloyd JR, Guthrie JT, 2003. The removal of color from textile wastewater using whole bacterial cells: a review. *Dyes and Pigments* 58(3):179-196. DOI:10.1016/S0143-7208(03)00064-0
- Pinheiro HM, Touraud E, Thomas O, 2004. Aromatic Amines from Azo Dye Reduction: Status Review with Emphasis on Direct UV Spectrophotometric Detection in Textile Industry Wastewaters. *Dyes and Pigments* 61(2):121–139. DOI: 10.1016/j.dyepig.2003.10.009
- Puvaneswari N, Muthukrishnan J, Gunasekaran P, 2006. Toxicity Assessment And Microbial Degradation Of Azo Dyes. *Indian Journal of Experimental Biology* 44(8):618-626. PMID: 16924831
- Ramos EU, Vaal MA, Hermens JLM, 2002. Interspecies Sensitivity in the Aquatic Toxicity of Aromatic Amines. *Environmental Toxicology and Pharmacology* 11(3-4):149-158. DOI:10.1016/s1382-6689(02)00004-2

- Rawat D, Mishra V, Sharma RS, 2016. Detoxification of azo dyes in the context of environmental processes. *Chemosphere* 155:591-605. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2016.04.068
- Staples CA, Adams WJ, Parkerton TF, Gorsuch JW, Biddinger GR, Reinert KH, 2009. Aquatic toxicity of eighteen phthalate esters. *Environmental Toxicology and Chemistry* 16(5):837-1086. DOI:10.1002/etc.5620160507
- Umbuzeiro GA, Szymczyk M, Li M, Chen Y, Vendemiatti JAS, Albuquerque AF, Santos A, Maselli BS, Kummrow F, Vinueza NR, Freeman HS, 2017. Purification and characterization of three commercial phenylazoaniline disperse dyes. *Coloration Technology* 133(6):513-518. DOI: 10.1111/cote.12307
- Umbuzeiro GA, Freeman HS, Warren SH, Oliveira DP, Terao Y, Watanabe T, Claxton LD, 2005. The contribution of azo dyes to the mutagenic activity of Cristais River. *Chemosphere* 60(1):55-64. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2004.11.100
- Umbuzeiro GA, Roubicek DA, Rech CM, Sato MIZ, Claxton LD, 2004. Investigating the sources of the mutagenic activity found in a river using the Salmonella assay and different water extraction procedures. *Chemosphere* 54(11):1589-1597. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2003.09.009
- Umbuzeiro GA, Freeman H, Warren SH, Kummrow F, Claxton LD, 2005. Mutagenicity evaluation of the commercial product CI Disperse Blue 291 using different protocols of the Salmonella assay. *Food and Chemical Toxicology* 43(1): 49-56. DOI: 10.1016/j.fct.2004.08.011
- Vacchi FI, Albuquerque AF, Vendemiatti JAS, Morales DA, Ormond AB, Freeman HS, Zocolo GJ, Zanoni MVB, Umbuzeiro GA, 2013. Chlorine disinfection of dye wastewater: Implications for a commercial azo dye mixture. *Science of the Total Environment* 442:302-309. DOI:10.1016/j.scitotenv.2012.10.019
- Ventura-Camargo BC, Marin-Morales MA, 2013. Azo Dyes: Characterization and Toxicity A Review. *Textiles and Light Industrial Science and Technology (TLIST)* 2(2):85-103.
- Wexler P, 2014. *Encyclopedia of Toxicology*, 3rd edn, US National Library of Medicine, Bethesda, MD, USA.

Atf İçin: Bozdoğan, B. (2023). Gözenekli Film – Peptit Nanopartikül Hibrit Yapıların İlaç Salımı Yapan Yara Örtü Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 1120-1133.

To Cite: Bozdoğan, B. (2023). Evaluation of Porous Film – Peptide Nanoparticle Hybrid Structures as Drug-Releasing Wound Dressing Material. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 1120-1133.

Gözenekli Film – Peptit Nanopartikül Hibrit Yapıların İlaç Salımı Yapan Yara Örtü Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi

Betül BOZDOĞAN^{1*}

Öne Çıkanlar:

- Yara örtüsü
- Hibrit yapı
- İlaç salımı

Anahtar Kelimeler:

- Nefes figürü
- Poliüretan
- Difenilalaninamid
- Kurkumin
- Peptit nanopartikül

ÖZET:

Nefes figürü (Breath Figure) ile polimerik yüzeylerde desen ve gözenek oluşturma yöntemi oldukça yeni olup, bir polimer litografi tekniği olarak literatürde yerini almıştır. Teknolojik maliyetinin düşük olması, çevre dostu olması ve toksik kimyasallar kullanılmaması gibi avantajları sayesinde biyomalzeme üretiminde özellikle gözenekli membran, yara örtüleri ve doku iskelelerinin üretiminde tercih edilmektedir. Biyouyumlu ve biyobozunur poliüretanlar biyomalzeme üretiminde kullanılan polimerlerin başında gelmektedir. Çalışmada, nefes figürü tekniği ile üretilen poliüretan filmlerin gözenekleri içine kurkumin yüklü difenilalaninamid peptit nanopartiküller entegre edilerek bir hibrit yara örtü malzemesi dizayn edilmiştir. Biyouyumluluğu, kimyasal olarak modifiye edilebilirliği, kolay ve ucuz sentezlenebilirliği, olağanüstü dayanıklılığı, termal ve kimyasal stabiliteyi sayesinde peptit nanopartiküller biyomedikal uygulamalarda özellikle ilaç salım uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Kurkumin düşük molekül ağırlıklı bir fenolik bitki bileşenidir. Antioksidan, antiinflamatuvar, antibakteriyel ve antiviral gibi farmakolojik özelliklerinden dolayı yara tedavilerinde etken madde olarak kullanılmaktadır. Deneysel çalışmalar kapsamında, farklı BF parametreleri ile üretilen poliüretan filmler ışık mikroskobu ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak karakterize edilmiş ve morfolojik özellikleri bakımından yara örtü malzemesi olmaya en uygun aday seçilmiştir. Hazırlanan kurkumin yüklü peptit (FFA/Ccm) nanopartiküller zayıflatılmış toplam yansıma – Fourier dönüşümlü kızılötesi (ATR-FTIR) spektroskopisi ve elektron mikroskopisi ile karakterize edilmiştir. FFA/Ccm nanopartiküllerin kurkumin yükleme kinetikleri UV-görünür bölge spektrofotometrisi ile değerlendirilmiştir. Poliüretan filmin gözenekleri içine FFA/Ccm nanopartiküllerin gömülmesi ile elde edilen hibrit yara örtüsünün morfolojik analizleri SEM ile ve kurkumin salım kinetikleri UV-görünür bölge spektrofotometrisi ile incelenmiştir. Son olarak, hibrit yara örtüsünün sitotoksisite testleri L929 fare fibroblast hücre hattında MTT yöntemiyle değerlendirilmiştir. Geliştirilen hibrit yara örtü malzemesinin biyomedikal uygulamalarda kullanımı gelecek vadetmektedir.

Evaluation of Porous Film – Peptide Nanoparticle Hybrid Structures as Drug-Releasing Wound Dressing Material

Highlights:

- Wound dressing
- Hybrid structure
- Drug release

Keywords:

- Breath figure
- Polyurethane
- Diphenylalanineamid
- Curcumin
- Peptide nanoparticle

ABSTRACT:

Breath Figure (BF), which is used to create patterns and pores on polymeric surfaces, is a polymer lithography technique. It is preferred in the production of biomaterials, especially porous membranes, wound dressings and tissue scaffolds, thanks to its advantages such as low technological cost, environmental friendliness and non-toxic chemicals. Biodegradable and biocompatible polyurethanes (PU) are the leading polymers used in biomaterial fabrication. In this study, porous PU films are fabricated with the BF method. Curcumin-loaded diphenylalanine (FFA/Ccm) peptide nanoparticles are integrated into the pores of films. Peptide nanoparticles are frequently used in biomedical applications, especially in drug release, thanks to their biocompatibility, chemical modifiability, inexpensive synthesis, and thermal and chemical stability. Curcumin is a natural phenolic compound. It is used as an active agent in wound treatments due to its pharmacological activities such as antioxidant, anti-inflammatory, antibacterial and antiviral. Within the scope of experimental studies, PU films produced with different BF parameters were characterized using light microscopy and scanning electron microscopy (SEM). The most suitable candidate for wound dressing material was evaluated in terms of their morphological features. Characterization of FFA/Ccm NPs was performed by attenuated total reflectance – Fourier transform infrared (ATR-FTIR) spectroscopy and SEM. Curcumin loading kinetics of nanoparticles were evaluated by UV-visible spectrophotometry. Morphological analyzes of the hybrid wound dressing obtained by embedding NPs in the pores of the PU film were investigated by SEM. Curcumin release kinetics of hybrid wound dressing was investigated by UV-visible spectrophotometry. Finally, the cytotoxicity of the hybrid wound dressing was evaluated by the MTT method. The use of the developed hybrid material as a wound dressing in biomedical applications is promising.

¹ Betül BOZDOĞAN (Orcid ID: 0000-0003-1546-3895), Aksaray Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Aksaray, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Betül BOZDOĞAN, e-mail: betulbozdogan@aksaray.edu.tr

GİRİŞ

Deri sürekli olarak fiziksel, kimyasal ve mikrobiyal dış etkilere maruz kalan vücudun en dış organıdır. Dış dünya ile vücut arasında bir bariyer görevi görmektedir. Bu bariyer organ sık sık yanma, yaralanma ya da fiziksel travmalar sonucunda hasar görebilmektedir. Ciltte meydana gelen bu hasarlar bir dizi karmaşık ve zaman alıcı yara iyileşmesi süreçlerini başlatmaktadır. Kronik yaralar (diyabetik ülserler, venöz ülser vb.) patolojik olarak gecikmiş ve yetersiz iyileşme ile hastaların hayatlarını olumsuz yönde etkilemektedir. Yara iyileşmesini hızlandırmak ve skar oluşumunu azaltmak için çeşitli yara örtü malzemelerinin geliştirilmesi tüm dünyada yükselen araştırma konularından biridir. İdeal bir yara örtü malzemesi yara çevresini nemli tutmalı; epidermal migrasyonu arttırmalı, anjiyogenez ve bağdoku sentezini teşvik etmeli; yaralı doku ve çevresi arasında gaz geçişine izin vermeli; uygun doku sıcaklığını muhafaza etmeli, antimikrobiyal ve antifungal özelliği ile enfeksiyon oluşumunu önlemeli; dokuya yapışmamalı, travmasız ve acısız bir şekilde çıkarılabilmeli; mekanik koruma sağlamalı, toksik ve alerjik olmamalı; kullanımı kolay ve de ucuz olmalıdır. (Dhivya ve ark., 2015; Gonzalez ve ark., 2016). Yarayı dış etkilere ve kontaminasyonlardan korumak için pasif ve fiziksel bir bariyer görevi gören geleneksel yara örtü malzemelerinin yerini zamanla antibiyotik ve yara iyileştirici ilaçlar içeren örtü malzemeleri almıştır. Biyoaktif madde taşıyan ve bu maddelerin kontrollü salımını yapan biyoyumlu nanopartiküllerin yara örtü malzemelerine entegre edilmesi yara iyileşmesi çalışmalarında çığır açmıştır (Ferreira ve ark., 2014; Berthet ve ark., 2017; Ren ve ark., 2018; Jiang ve Loo, 2021).

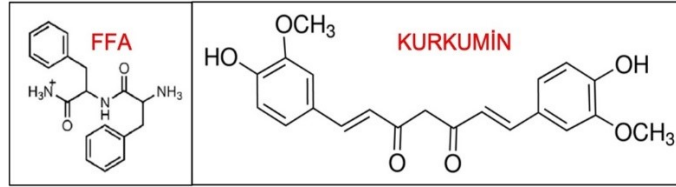
Poliüretan ve polikaprolakton gibi sentetik ve kitin, kitosan gibi doğal polimerler kullanılarak çok iyi yara iyileştirme performansları olan yeni nesil yara örtüleri geliştirilmektedir. Poliüretanlar (PU) biyoyumluluğu, iyi bariyer özellikleri, ince, esnek, dayanıklı, transparan, yara bölgesine yapışan ve gaz geçirgenliği gibi üstün fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı yara örtüsü uygulamalarında sıklıkla kullanılan polimerlerdir. Poliüretan yara örtüleri yarayı nemli tutarak ve inkübatör benzeri mikroortam oluşturarak yara iyileşme sürecini hızlandırmakta ve skar oluşum riskini azaltmaktadır (Eskandarinia ve ark., 2020; Esmaili ve ark., 2020).

Polimer bir yüzeyi gözenekli hale getirmek için kullanılan en düşük maliyetli ve çevre dostu yöntem Nefes Figürü (Breath Figure) yöntemidir. Nefes figürü günlük hayatta çokça karşılaşılan bir olgudur. Bir ortamda gaz halinde bulunan su moleküllerinin soğuk bir yüzeye teması sonrası sıvı hale geçmesi prensibine dayanır. Bu yöntem belli bir bağıl nem ortamında kapalı bir sistem içerisinde uygulanmaktadır. Polimer çözeltilsinin cam veya silikon gibi bir yüzeye yayılmasının akabinde polimer çözeltisindeki çözücü hızla buharlaşarak polimer çözeltisinin yüzey sıcaklığının düşmesine sebep olur. Sistemde bulunan yüksek nem oranından dolayı, nem kaynağı olarak kullanılan su, metanol, etanol vb. molekülleri polimer yüzeyinde çekirdeklenir, büyür ve koagüle olur. Yoğunlaşan damlalar hegzagonal yapıda bal peteği benzeri düzenlenmeler yaratır (Daban ve ark., 2019). Nefes Figürü polimer bazlı gözenekli membranların üretiminde en çok kullanılan yöntemlerden biridir (Cong ve ark., 2012; Wan ve ark., 2012; Kawano ve ark., 2014; Chen ve ark., 2015; Daban ve ark., 2019). Poliüretanlar yüksek moleküler ağırlıkları ve düşük suda çözünürlüklerinden dolayı su buharının bulunduğu ortamda kolay stabilize olurlar. Bu yüzden nefes figürü uygulamaları için uygun adaylardır.

Kurkumin (diferuloyil metane) *Curcuma longa* (zerdeçal) bitkisinin köklerinden ekstrakte edilen düşük molekül ağırlıklı doğal bir polifenoldür. Kurkumin farmakolojik olarak antibakteriyel, antiviral, antitümör, antioksidan, antiinflamatuvar aktiviteye sahiptir (Alam ve ark., 2012). Kurkumin serbest radikal yakalama özelliği ile yara iyileşme sürecinde ortaya çıkan ve enflamasyona neden olan reaktif oksijen türlerini yok ederek iyileşmeye katkıda bulunmaktadır (Gong ve ark., 2013; Pankongadisak ve ark., 2019). Kurkumin anjiyogenez, fibroblast proliferasyonunu, granül doku

oluşumunu, kollajen migrasyonunu ve depolanmasını artırarak yara iyileşmesini hızlandırmaktadır (Akbik ve ark., 2014; Ghae ve ark., 2019). Ek olarak, antibakteriyel, antiviral ve antifungal etkileriyle yara dokusunu enfeksiyonlara karşı korumaktadır. Tüm bu sayısız terapötik özelliklerine rağmen kurkuminin hidrofobik doğası onun farmakolojik uygulamalarda kullanımını sınırlamaktadır. Bu yüzden kurkumin suda çözünürlüğünü ve biyoyararlanımını artırmak için nanopartiküllere enkapsüle edilmektedir (Pandit ve ark., 2018).

Hidrofilik bir taşıyıcı sisteme hidrofobik ilaç yüklenmesi günümüzde hala zorluklarla dolu ve çözümsüz bir sorun olarak durmaktadır. π - π istiflenmesi, hidrojen bağları ve elektrostatik etkileşimlerin birlikte rol aldığı peptit-ilaç birlikte düzenlenmesi (coassembly) bu soruna çözüm olabilecek yöntemlerden biridir. Kurkumin ve difenilalaninamid dipeptidi hidrofobik doğaları ve aromatik fenil gruplarından dolayı (Şekil 1) π - π istiflenmesi vasıtasıyla birlikte düzenlenme yapabilmektedirler (Altunbas ve ark., 2011; Alam ve ark., 2012; Zhang ve ark., 2019). Peptitler ve proteinler kendiliğinden düzenlenme yapabilen “akıllı işlevsel malzemeler” olarak adlandırılırlar ve nanotüp, nanoçubuk, nanopartikül, nanovezikül ve nanofibril yapılara düzenlenebilirler (Kumaraswamy ve ark., 2011).



Şekil 1. Difenyilalaninamid (FFA) ve Kurkuminin Kimyasal Yapısı

Sunulan çalışmada, Difenyilalaninamid (FFA) dipeptidi ve kurkuminin birlikte düzenlenmesi ile elde edilen kurkumin yüklü nanopartiküller Nefes figürü yöntemiyle üretilen poröz filmin gözenekleri içine gömülerek ilaç salımı yapan hibrit yara örtü malzemesi geliştirilmiştir. Bu hibrit yapının kurkumin yükleme ve salım kinetikleri ve sitotoksik özellikleri incelenmiştir.

MATERYAL VE METOT

Kullanılan Kimyasallar

DeneySEL çalışmalarda medikal kullanıma uygun termoplastik poliüretan (Lubrizol, Ohio, ABD) kullanılmıştır. Polimerin kloroform (Sigma-Aldrich, Almanya) içerisinde %5'lik stok çözeltisi hazırlanmıştır. %1'lik çözelti bu stok çözeltinin seyreltilmesiyle elde edilmiştir. Stok çözelti oda koşullarında ağzı kapalı olarak saklanmıştır. Peptit nanopartikül sentezinde Difenyilalaninamid (FFA) dipeptidi (H-Phe-Phe-NH₂.HCl) (Bachem, İsviçre) kullanılmıştır. Etkin madde olarak kullanılan kurkumin Sigma Aldrich (Almanya)'ten temin edilmiştir.

Nefes figürü yaklaşımı ile gözenekli poliüretan filmlerin üretilmesi

Polimer çözeltisi uygulanacak yüzey (alt taş) olarak cam mikroskop lameli kullanılmıştır. İlk olarak, alt taş üzerindeki istenmeyen oksitler ve kontaminasyonların uzaklaştırılması için piranha çözeltisi içerisinde bekletilerek temizlenmiş ve azot gazıyla kurutulmuştur. Projede nem kaynağı olarak distile su kullanılmıştır. Temizlenip kurutulan alt taş, içerisinde nem kaynağı olan kapalı sistem içine yerleştirilmiş ve sistem belirlenen nem yüzdesine gelene dek bekletilmiştir. İstenen nem oranına ulaşıldığında %1'lik poliüretan çözeltisi alt taş üzerine damlatılmıştır. Belirlenen uygulama süresi kadar sistem kapalı tutulmuştur. Bu süre içerisinde poliüretan çözeltisi içerisinde bulunan çözücü buharlaşır ve ortamdaki su buharı polimer film üzerine yoğunlaşarak gözenek oluşumunu sağlar. Süre

sonunda sistem açılarak gözenekli PU filmler ileri karakterizasyon ve uygulamalar için kurumaya bırakılmıştır (Daban ve ark., 2019).

Gözenekli poliüretan filmlerin karakterizasyonu

Gözenekli poliüretan filmlerin morfolojik karakterizasyonu ters ışık mikroskobu (Nikon Eclipse Ti2, Japonya) ve taramalı elektron mikroskobu – SEM (EVO 50 EP, Carl Zeiss, Almanya) ile yapılmıştır. Elektron mikroskobu analizleri öncesinde filmler altın ile kaplanmıştır. Filmlerin ortalama gözenek boyutları mikroskop görüntüleri üzerinde Image J (NIH Image) yazılımı ile yapılan analizler ile hesaplanmıştır. Her bir PU filmin gözenekliliği (p) Eşitlik 1. e göre hesaplanmıştır (Ren ve ark., 2018).

$$p = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{S} \quad (1)$$

Burada, S_i her bir gözeneğin çapı, n yüzeydeki gözeneklerin sayısı ve S ise gözeneklerin bulunduğu film yüzeyinin alanıdır.

Temas açısı ölçümleri durağan damla temas açısı ölçüm yöntemiyle (Biolin Scientific, Attenson Theta, ABD) deiyonize suya karşı yapılmıştır ($n=3$). Yaklaşık olarak 1 μL kadar saf su membran yüzeyine damlatılarak görüntü alınmakta ve temas açısı bu görüntü üzerinden ölçülmektedir.

Kurkumin yüklü FFA peptit nanopartiküllerin (FFA/Ccm NP) sentezlenmesi

Kurkumini FFA nanopartiküllere yüklemek için, FFA peptidi 100 mg/mL 1,1,1,3,3,3-hekzafloro-2-propanol (HFP) çözücüsünde çözülerek FFA stok çözeltisi hazırlanmıştır. Kurkumin ise 20 mg/mL derişimde dimetilsulfoksit (DMSO) içerisinde çözülerek Ccm stok çözeltisi hazırlanmıştır. Ccm ve FFA stok çözeltilerinden Ccm/FFA oranı sırasıyla 10:10 μL , 20:10 μL , 30:10 μL , 40:10 μL ve 50:10 μL olacak şekilde ayrı viallerde karıştırılmıştır. Her bir vialdeki çözelti Ccm:FFA son derişim oranı 0.2:1, 0.4:1, 0.6:1 0.8:1 ve 1:1 olacak şekilde %0.06'lık glutaraldehit (GA) çözeltisi ile seyreltilmiştir. Herhangi bir çökelti oluşmasını önlemek için stok çözeltiler her deneyden önce taze olarak hazırlanmıştır. Daha sonra reaksiyonun, peptit-ilaç kendiliğinden düzenlenmesinin tamamlanması için çözelti 24 saat oda sıcaklığında inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonunda, arta kalan HFP ve GA'ın sitotoksik etkisini elimine etmek için nanopartiküller 12000 rpm'de 15 dakika santrifüj edilerek deiyonize su ile üç kez yıkanmıştır.

Kurkumin yüklü FFA peptit nanopartiküllerin (FFA/Ccm NP) karakterizasyonu

Nanopartiküllerin morfolojik karakterizasyonları SEM (EVO 50 EP, Carl Zeiss, Almanya) ve kimyasal karakterizasyonu ATR-FTIR spektroskopisi ile yapılmıştır. Yüzde ilaç yükleme kapasitesi nanopartiküle ilaç yüklendikten sonra yapılan yıkama işlemlerinden toplanan süpernatantlardaki kurkuminin (artan Ccm) Nanodrop ND-1000 spektrofotometresi (Thermo Scientific, ABD) kullanılarak 426 nm'deki absorbansı ölçülerek hesaplanmıştır. Referans standart kurkumin çözeltileri kullanılarak elde edilen kalibrasyon eğrisinden yola çıkarak aşağıdaki Eşitlik 2 ve 3 kullanılarak nanopartikülün kurkumin yükleme verimi (YV) ve yükleme kapasitesi (YK) hesaplanmıştır.

$$\% YV = \frac{\text{eklenen Ccm (g)} - \text{artan Ccm (g)}}{\text{eklenen Ccm (g)}} \times 100 \quad (2)$$

$$\% YK = \frac{\text{yüklenen Ccm (g)}}{\text{Ccm yüklü nanopartikül (g)}} \times 100 \quad (3)$$

PU Film–FFA/Ccm NP hibrit yara örtü malzemesinin üretilmesi

Poröz film-nanopartikül hibrit yapılar, nanopartikül dispersiyonunun gözenekli film yüzeyine damlatılması şeklinde tek basamaklı bir prosedür yoluyla kolayca hazırlanabilmektedir. Nanopartiküller dispersiyondaki suyun buharlaşması esnasında oluşan kapiler kuvvetler yoluyla porların içinde düzenli bir şekilde birikmektedir (Yabu ve ark., 2006). 1 cm çapındaki gözenekli PU film üzerine 100 uL FFA/Ccm NP süspansiyonu damlatılarak yayılmış ve oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır.

PU Film–FFA/Ccm NP yibrit yara örtüsünün in vitro kurkumin salımı

Çapı 1 cm olan disk yapıdaki hibrit yara örtü malzemesinin ilaç salım kinetikleri simüle edilmiş yara (SYS) sıvısı çözeltisi (pH 7.4) içerisinde belirlenmiştir (n=3). Simüle edilmiş yara sıvısı 5.84 g/L NaCl, 3.36 g/L NaHCO₃, 0.29 g/L KCl, 0.27 g/L CaCl₂, 33.0 g/L BSA ve %0.01 sodyum azid deiyonize su içerisinde hazırlanmıştır. Salım ortamına kurkuminin düşük çözünürlüğünden dolayı ölçümünü sağlayabilmek için %0.05 (w/v) tween 80 eklenmiştir. Salım çalışmaları 5 mL SYS içeren kapaklı cam tüplerin içerisinde 37°C’de ve 85 rpm su banyosunda 7 gün inkübe edilerek gerçekleştirilmiştir. Salım ortamından önceden belirlenen periyodik aralıklarla 5 µL örnek alınarak çözeltideki kurkumin miktarı UV spektrofotometrik olarak belirlenmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda ilaç salım profilleri Eşitlik 4 ile hesaplanmıştır. Eşitlikteki m belirlenen zamanda salınan kurkumin miktarını, m_t ise hibrit filmde hapsedilen toplam kurkumin miktarını göstermektedir.

$$\% \text{ Salım} = \frac{m}{m_t} \times 100 \quad (4)$$

Sitotoksosite testleri

Yara örtü malzemesi olarak kullanılacak örnekler için indirekt sitotoksite deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda ISO 10993-5 standardında belirtildiği şekilde L929 fare fibroblast hücre hattı kullanılmıştır. İlk olarak, PU filmler 30 dk UV ışığa maruz bırakılarak sterilize edilmiştir. Sonrasında, %70’lik etil alkol ve fosfat tampon çözeltilerine (PBS) ve saf suya daldırılarak yıkanmış ve steril koşullarda kurumaya bırakılmıştır. Sitotoksosite çalışmalarında kullanılacak FFA/Ccm NP’lerin sentezi steril koşullarda laminar hava akışlı kabin içerisinde ve steril kimyasallar kullanılarak yapılmıştır. Tüm cam malzemeler otoklav kullanılarak 121 °C’de 30 dk sterilize edilmiştir. Hibrit yara örtü malzemesi yukarıda açıklanan yöntemle laminar hava akışlı kabin içerisinde hazırlanmış ve kurumaya bırakılmıştır. Hibrit yara örtü malzemesinin sitotoksosite testleri MTT (3-[4,5-Dimethylthiazol-2-yl]-2,5-diphenyltetrazoluim bromide) testi ile L929 fare fibroblast hücre hattı üzerinde yapılmıştır. Buna göre, L929 hücre hattı %10 FBS’li Dulbecco’s Modified Eagle’s medium (DMEM) besiyerinde %5 CO₂ inkübatöründe 37°C’de kültüre edilmiştir. Hücreler istenen doluluk oranlarına ulaştığında 0.25% tripsin/EDTA çözeltisi ile yüzeyden kaldırılarak ve 3000 rpm’de 3 dk santrifüj edilerek toplanmıştır. Tekrar FBS’li DMEM içerisinde dağıtılarak ve 3x10⁵ hücre/kuyucuk olacak şekilde plakalara ekilerek 24 saat inkübatörde kültüre edilmiştir.

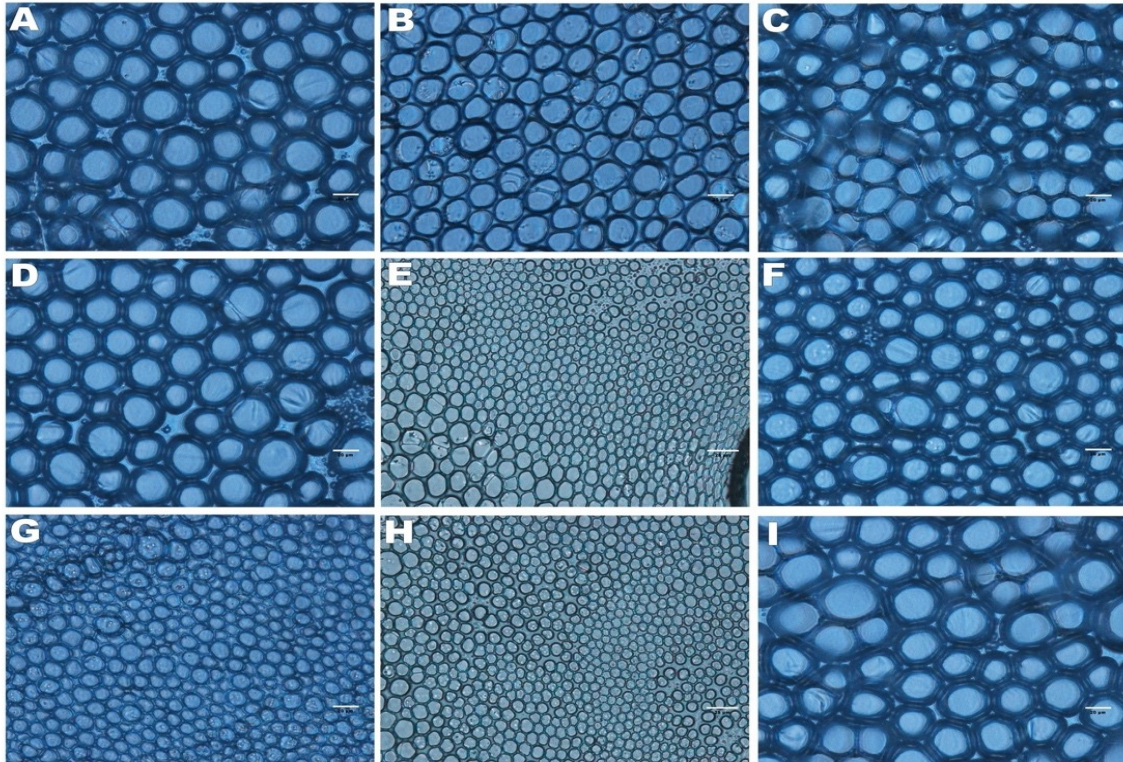
Örnek ekstraktı 1 cm çaplı disk şeklinde aseptik koşullarda hazırlanmış hibrit filmler serumsuz DMEM içerisinde 37°C’de 72 saat inkübe edilerek hazırlanmıştır. Hücre tutunması gerçekleşikten sonra kuyucuklar PBS ile iki kez yıkanmıştır. Örnek ekstraktı her bir kuyucuğa eklenerek hücreler bu ekstrakta maruz bırakılmıştır. Kontrol grubuna örnek ekstraktı yerine serumsuz DMEM eklenmiştir. 24 saatlik inkübasyonun ardından ekstrakt içeren besiyerleri atılarak kuyucuklara MTT çözeltisi (5 mg/mL) eklenmiştir. 4 saat karanlıkta inkübe edildikten sonra ortam aspire edilmiş ve formazan tuzlarının uzaklaştırılması için 0.04 M izopropanol–HCl eklenmiştir. Hücre canlılık yüzdeleri mikropilaka okuyucu ile 570 nm’deki absorbanslar ölçülerek hesaplanmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Gözenekli Poliüretan Filmlerin Üretilmesi ve Karakterizasyonu

Şekil 2’de farklı bağıl ortam nemi ve farklı uygulama sürelerinde nefes figürü ile üretilen poliüretan gözenekli filmlerin ışık mikroskobu görüntüleri ve şekil 3’de bu filmlerin gözenek çapı dağılım grafikleri yer almaktadır. Bu veriler incelendiğinde, %60 ve %65 nem oranlarında ortamdaki su buharı miktarı ve su buharına maruz bırakma süresi arttıkça gözenek boyutunun küçüldüğü gözlemlenmektedir. Ancak, bu trende göre %70 nem oranında üretilen filmlerde gözenek çapının daha da küçülmesi beklenirken, bu şekilde olmamış ve hatta bir miktar artmıştır. Bu sonuç polimer film üzerinde yoğunlaşan su buharı damlacıklarının nem oranının artmasına bağlı olarak birleşip gözenek boyutunu artırmasıyla ilişkilendirilebilir. Organik bir çözücü içerisindeki su molekülleri sıvı-hava ara yüzeyindeki güçlerin kontrolüyle çekirdeklenmekte, birikmekte ve birbiriyle birleşerek polimer tabakaya gömülmektedir. Bu durum literatürde detaylı olarak çalışılmış ve açıklanmıştır (Anand ve ark., 2015). Bağıl nem oranı %70 gibi yoğun olduğunda sıvı-hava ara yüzeyindeki güçlerin artmasına bağlı olarak su buharı damlacıklarının birleşmesi gözenek çapında artış görülmesine neden olmuştur.

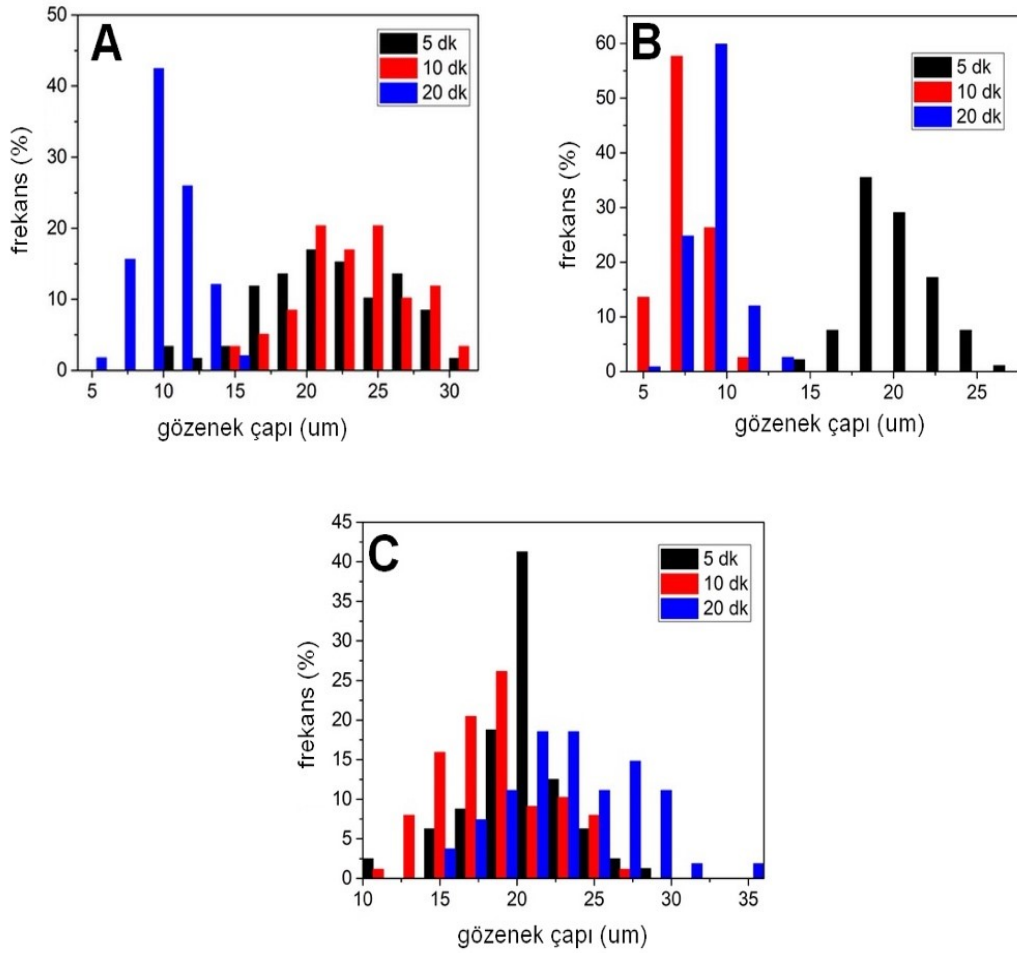
PU filmlerin bağıl nem oranına ve uygulama süresine bağlı olarak gözenek çaplarının dağılım grafikleri incelendiğinde gözenek çapı küçüldükçe, gözeneklerin eş boyutlu dağılım gösterdiği dikkat çekmektedir. Işık mikroskobu görüntüleri ile birlikte yorumlandığında, %60 bağıl nem oranında 20 dk (şekil 3(G)) ve %65 bağıl nem oranında 10 ve 20 dk’da (şekil (E ve H)) üretilen PU filmler hem daha küçük gözenek boyutuna hem de eş boyutlu gözeneklere sahiptirler.



Şekil 2. %60 Bağıl Ortam Neminde (A) 5 dk, (B) 10 dk, (C) 20 dk; %65 Bağıl Ortam Neminde (D) 5 dk, (E) 10 dk, (F) 20 dk; %70 Bağıl Ortam Neminde (G) 5 dk, (H) 10 dk ve (I) 20 dk Uygulama Süresinde Üretilen PU Filmlerin Işık Mikroskobu Görüntüleri (A, B, C, D, F, G ve I'daki Ölçekler 20 μm 'yi, E ve H'deki Ölçekler 25 μm 'yi İfade Etmektedir)

Gözeneklerine ilaç yüklü nanopartikül gömülmüş yara örtü malzemesi tasarımında film gözeneklerinin nispeten küçük ve eş boyutlu olması malzemenin etkinliğini artırmaktadır. Özellikle, gözeneklerin eş boyutlu olmasının ilaç salımı üzerinde etkisinin olduğu düşünülmektedir (Anand ve

ark., 2015). Sunulan çalışmada, yara örtü malzemesi tasarımında kullanılacak PU filmin seçiminde bu kriterlerden yararlanılacaktır.



Şekil 3. %60 Bağlı Ortam Neminde (A), %65 Bağlı Ortam Neminde (B) ve %70 Bağlı Ortam Neminde (C) Farklı Uygulama Süresinde Üretilen PU Filmlerin Gözenek Çapı Dağılım Grafikleri

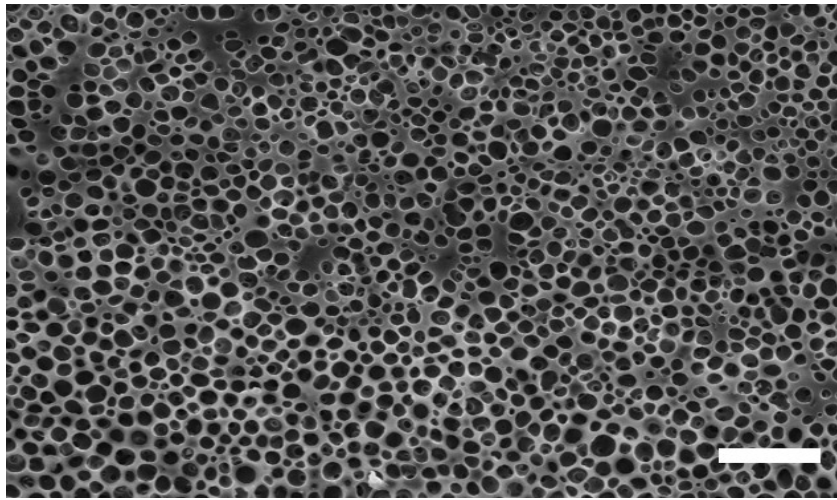
Yara örtü malzemelerinin dizayn edilmesinde en önemli parametrelerden biri malzemenin gözenekliliğidir. Özellikle gözenekler içerisinde nanopartiküllerin gömüldüğü malzemelerde gözeneklilik oranının yüksek olduğu malzemeler tercih edilmelidir. Gözenekli PU filmlerin ImageJ yazılımı ile yapılan morfolojik analizleri sonucunda elde edilen istatistiksel hesaplamalar Tablo 1’de verilmiştir. Hesaplamalara göre, daha önceki çıkarımlarımızla da uyumlu olarak %60 bağıl nem oranında 20 dk ve %65 bağıl nem oranında 10 ve 20 dk’da üretilen gözenekli filmlerin ortalama gözenek çapı sırasıyla 9.8 ± 1.9 , 7.1 ± 1.1 ve 8.9 ± 1.2 µm olarak hesaplanmıştır. Üretilen PU filmlerin gözeneklilik oranları incelendiğinde, bu üç örnekten %65 bağıl nem oranına 10 dk (Şekil 3.1(E)) maruz bırakılarak üretilen PU filmin %51.65 ile en yüksek gözeneklilik oranına sahip PU film olduğu belirlenmiştir. Bundan sonraki deneysel çalışmalarda ve yara örtü malzemesi tasarımında %65 bağıl nem oranına 10 dk maruz bırakılarak üretilen PU filmler kullanılacaktır.

Şekil 4’te %65 bağıl nem oranına 10 dk maruz bırakılarak üretilen PU filme ait SEM görüntüsü verilmiştir. ImageJ yazılımıyla yapılan analizler sonucunda filmin ortalama gözenek çapı ışık mikroskobu analizleriyle de uyumlu olarak 6.90 ± 1.03 µm (n=120) olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 1. Farklı Bağıl Nem Oranlarında ve Farklı Uygulama Sürelerinde Üretilmiş Gözenekli PU Filmlerin Fiziksel Özellikleri

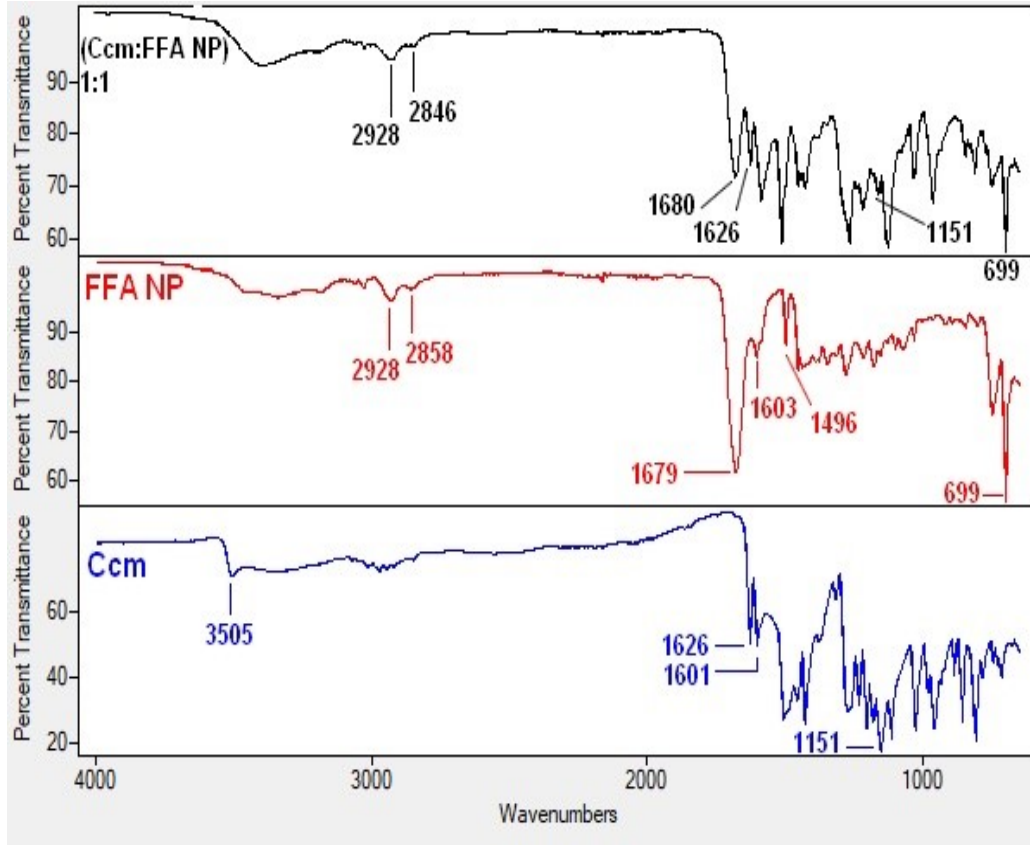
Bağıl nem (%)	Uygulama süresi (dk)	Ort. gözenek çapı (µm)	Gözeneklilik (%)	Temas açısı (°)
60	5	21.9±4.6, n ₁	33.2±1.27	121
	10	23.4±3.9, n ₂	37.43±2.64	126
	20	9.8±1.9, n ₃	38.4±3.90	131
65	5	20.5±2.4, n ₄	44.75±3.23	126
	10	7.1±1.1, n ₅	51.65±4.22	128
	20	8.9±1.2, n ₆	41.45±1.76	130
70	5	20.2±3.1, n ₇	37.73±2.31	123
	10	18.45± 3.6, n ₈	35.10±1.12	126
	20	23.3±4.2, n ₉	33.74±1.93	121

Not: n₁ - n₄ = 50, n₅- n₉ = 100. Standart sapma (±SS).

**Şekil 4.** %65 Bağıl Nem Oranına 10 dk Maruz Bırakılarak Üretilen PU Filmin SEM Görüntüsü (ölçek 40 µm)

Kurkumin yüklü FFA peptit nanopartiküllerin (FFA/Ccm NP) karakterizasyonu

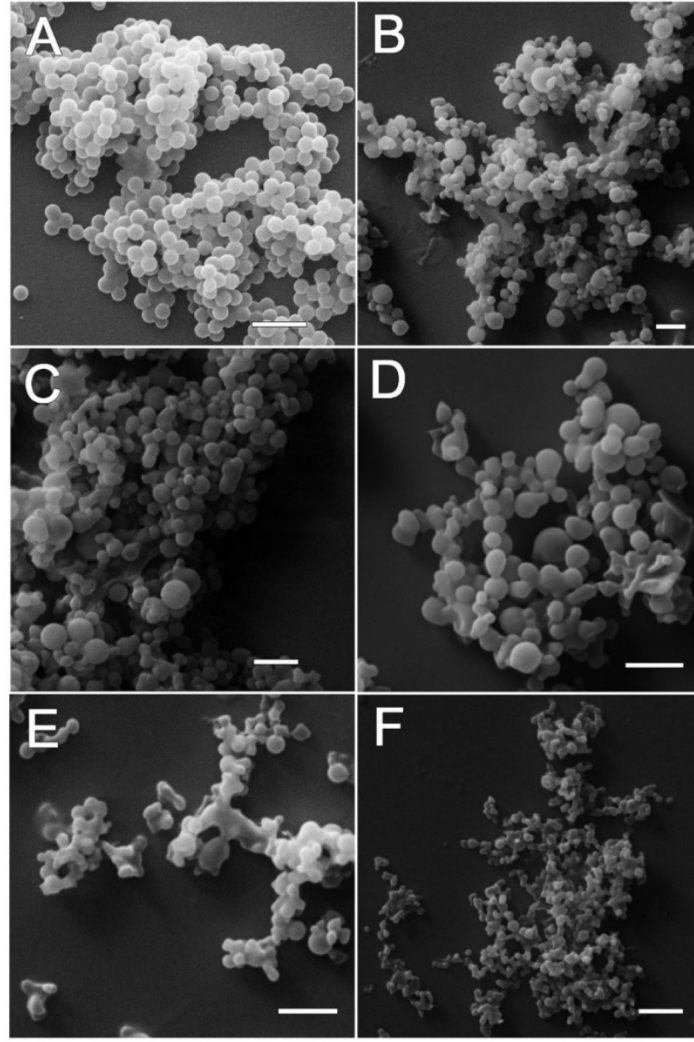
FFA nanopartiküllere kurkumin yüklemesi çalışmalarında Ccm: FFA oranı 0.2:1, 0.4:1, 0.6:1, 0.8:1 ve 1:1 (M/M) olacak şekilde farklı Ccm ve FFA oranları değerlendirilmiştir. Ccm, FFA nanopartikül ve FFA/Ccm nanopartiküllerin (Ccm: FFA, 1:1) FTIR spektrumları şekil 5'te verilmiştir. Spektrum incelendiğinde, FFA nanopartiküller (kırmızı spektrum) için amid I bandındaki 1679 cm⁻¹ C=O gerilme ve 1603 cm⁻¹ -NH₂ bükülme titreşimleri ile 1496 cm⁻¹ aromatik C=C gerilme titreşimleri karakteristiktir. Hatta, 1679 cm⁻¹'deki pik FFA dipeptidinin kendiliğinden düzenlenmesinin β-tabaka konformasyonda olduğunu işaret etmektedir (Altunbas ve ark., 2011). 2928 ve 2846 cm⁻¹ C-H gerilme titreşimleri ve 699 cm⁻¹'deki benzen halkasına ait pik de yine FFA nanopartiküllere karakteristik olan piklerdir (Bozdoğan ve ark., 2017)). Kurkumine ait spektrumda ise, 3505 cm⁻¹ O-H, 1626 cm⁻¹ C=C gerilme, 1601 cm⁻¹ simetrik aromatik halka gerilme ve 1151 cm⁻¹ C-O gerilme titreşimleri kurkumin için karakteristiktir (Ghaee ve ark., 2019). Kurkumin yüklü FFA nanopartiküllerin IR spektrumu incelendiğinde, FFA nanopartiküle ait 699, 1680, 2928, 2846 cm⁻¹ ve kurkumine ait 1626 ve 1151 cm⁻¹ absorpsiyonlardaki piklerin birlikte yer aldığı görülmektedir. Bu sonuç, kurkumin ve FFA dipeptidinin birlikte düzenlenerek nanopartikül oluşturduğunu ispatlamaktadır.



Şekil 5. Ccm, FFA NP ve Ccm yüklü FFA Nanopartiküllerin FTIR Spektrumu

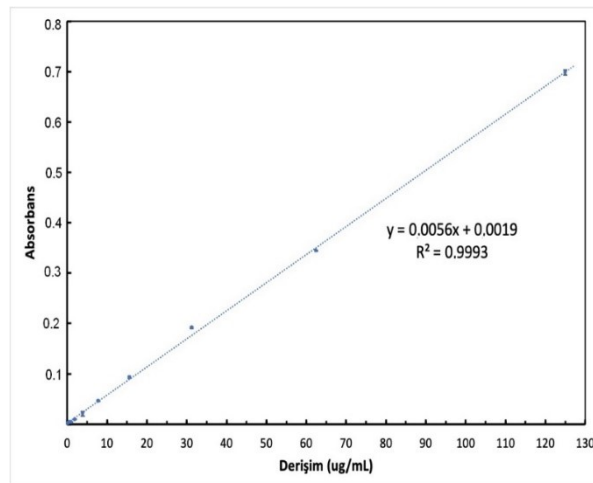
Aromatik halka ve amid grubu içeren birçok hidrofobik ilaç kendiliğinden düzenlenen peptitlerle π - π etkileşimleri ve hidrojen bağları yaparak birlikte düzenlenebilmektedirler (ing.; coassembly). Bu peptit/ilâç birlikte düzenlenmesi akıllı ilaç yükleme metodu olarak literatürde yerini almıştır (Shi ve ark., 2015; Zhou ve ark., 2018). Bu yöntemle, oldukça yüksek yükleme verimi ve kapasitesi ve müthiş bir homojenite sağlanabilmektedir. Bununla birlikte, enkapsüle edilen hidrofobik ilaç uzatılmış salım kinetiğiyle salınmaktadır (Zhang ve ark., 2019) Çalışmada kullanılan Ccm ve FFA kimyasal yapılarında aromatik halka bulundurmaktadır (Şekil 1). Bu sayede, peptit/ilâç birlikte düzenlenmesi yaparak nanopartikül oluşturdıkları düşünülmektedir.

FFA/Ccm nanopartiküllerin morfolojik analizleri taramalı elektron mikrografları üzerinde ImageJ yazılımı ile yapılmıştır. Şekil 6'da kurkumin yüklenmemiş ve farklı oranlarda kurkumin yüklenmiş FFA nanopartiküllerin SEM görüntüleri yer almaktadır. Görüntüler analiz edildiğinde, Ccm yüklenmemiş FFA nanopartiküllerin ortalama çapı 553 ± 40 nm iken, 0.2:1 oranında Ccm yüklenmiş FFA nanopartiküllerin ortalama çapı 720 ± 194 nm'ye yükselmiştir ($n=100$). 0.4, 0.6, 0.8 ve 1.0 oranında Ccm yüklenmiş FFA nanopartiküllerin ortalama çapları sırasıyla 601 ± 126 , 583 ± 153 , 447 ± 115 ve 289 ± 60 nm olarak hesaplanmıştır ($n=100$). Sonuçlar incelendiğinde, FFA ve Ccm birlikte düzenlenmesi sürecinde Ccm derişimi arttıkça nanopartiküllerin boyutları küçülmekte ve polidispersiteleri artmaktadır.



Şekil 6. A) Kurkumin Yüklenmemiş, B) 0.2:1, C) 0.4:1, D)0.6:1, E)0.8:1 ve F) 1:1 Oranında Kurkumin Yüklenmiş FFA Nanopartiküllerin SEM Görüntüleri (ölçekler: 2 µm)

Kurkuminin nanopartiküllere enkapsüle olma verimini hesaplamak için ilk olarak standart Ccm çözeltilerinin 426 nm dalga boyundaki absorpsiyonları ile bir kalibrasyon grafiği elde edilmiştir (şekil 7).



Şekil 7. Kurkumine Ait Derişim-Absorbans Kalibrasyon Grafiği ve Doğru Denklemi (n=3)

Kalibrasyon doğrusundan yola çıkarak nanopartiküllerin yıkama sularındaki kurkumin miktarları belirlenmiş ve nanopartikülün kurkumini % enkapsüle etme verimi ve kapasitesi hesaplanmıştır. Sonuçlar çizelge 2’de verilmiştir. Buna göre, FFA nanopartiküller 0.2 ve 1 mg/mL aralığında farklı derişimlerde kurkumini yaklaşık %99 verimle enkapsüle edebilmektedir. Yani FFA dipeptidi, kendi ağırlığı kadar kurkumini bünyesine hapsedebilmektedir. Bu olağanüstü bir yükleme kapasitesidir ve bir akıllı ilaç yükleme yöntemi olan peptit/ilaç birlikte düzenlenmesinin bir sonucudur.

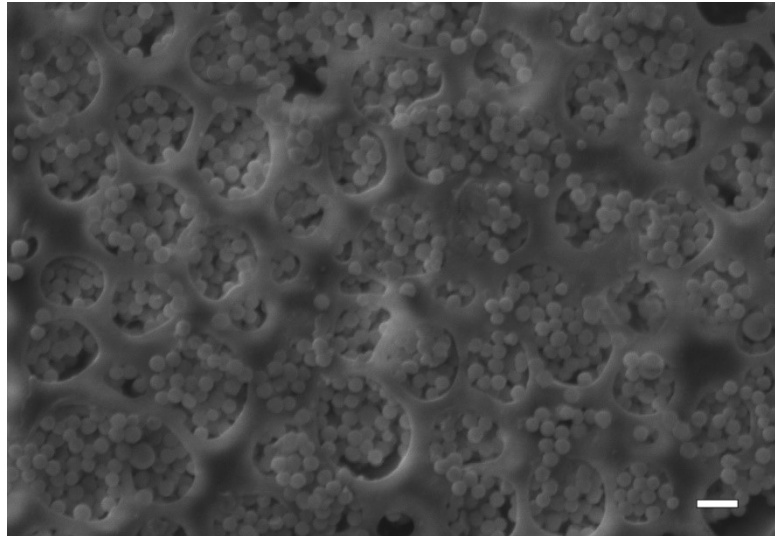
Çizelge 2. Nanopartikülün Enkapsülasyon Verimi ve Kapasitesi (n=3)

Ccm:FFA	Enkapsülasyon Verimi (%)	Enkapsülasyon Kapasitesi (%)
0.2:1	99.0	16.5
0.4:1	99.4	28.4
0.6:1	99.4	37.3
0.8:1	99.5	44.3
1:1	99.4	49.8

Standart sapmalar ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu için tabloya eklenmemiştir.

PU Film-FFA/Ccm nanopartikül hibrit yapıların üretilmesi

FFA/Ccm nanopartiküllerin PU filmin gözenekleri içinde düzenlenmesi nanopartikül dispersiyonunun direk olarak film yüzeyine damlatılıp kurutulması yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Bu sayede, benzer hidrofobik karakterde olan PU film ve FFA/Ccm nanopartiküller hidrofobik ve nonkovalent güçlerin etkisiyle düzenlenmiştir. Hibrit filmin SEM görüntüsü (Şekil 8) incelendiğinde film gözeneklerinin başarılı bir şekilde tamamen nanopartiküllerle kaplandığı dikkat çekmektedir. Nanopartiküller PU filmin tüm gözeneklerini doldurmuştur.

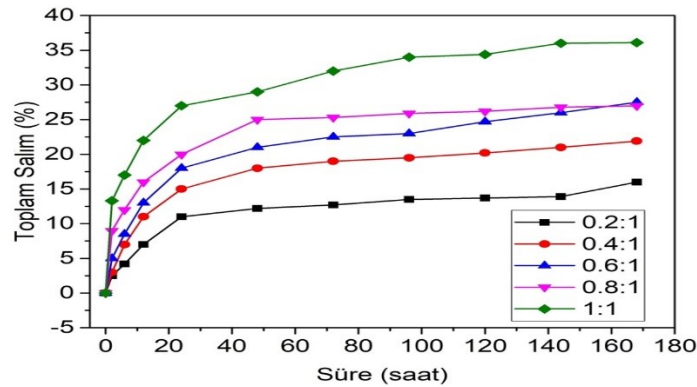


Şekil 8. Ccm:FFA Oranı 0.2:1 Olan Nanopartikül – PU Hibrit Filmin SEM Görüntüsü (ölçek 2 µm)

Film-nanopartikül hibrit yapılardan in vitro kurkumin salımı

Hibrit yara örtü malzemesinin simüle edilmiş yara sıvısı içerisinde 37°C’de 7 gün boyunca kaydedilmiş kurkumin salım grafiği şekil 9’da verilmiştir. Grafiğe göre, hibrit filmlerin kurkumin salım kinetiği uzatılmış sürekli salım profili göstermektedir. 7 gün sonunda 0.2:1 Ccm/FFA NP bünyesindeki ilacın %16.4’ünü; 0.4:1 Ccm/FFA NP %21.9’unu; 0.6:1 Ccm/FFA NP %27.5’ini. 0.8:1 Ccm/FFA NP %27’sini ve 1:1 Ccm/FFA NP ise %36.1’ini salmıştır. Yapıya daha fazla kurkumin yüklenebiliyor olması daha fazla toplam kurkumin salımına neden olmaktadır. İlk 24 saatte ani salım (ing.; burst release) olması kurkumin salımının difüzyon kontrollü salım mekanizmasıyla kontrol edildiğini göstermektedir. İlk 24 saatten sonra tüm partiküllerden kurkumin salım hızı azalmaktadır.

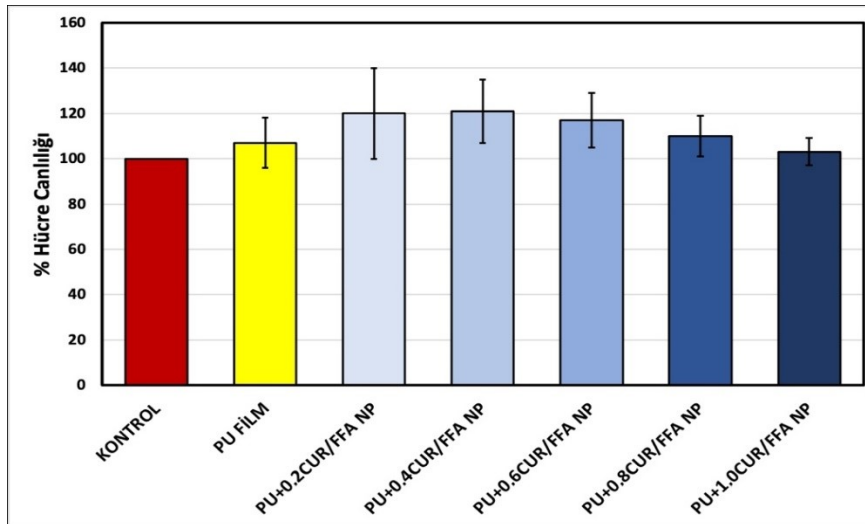
Bu geciktirilmiş kurkumin salımı ve ayarlanabilir salım derişimi, kurkumin ve FFA dipeptidi arasındaki π - π etkileşimine atfedilebilir (Zhang ve ark., 2019).



Şekil 9. Ccm/FFA Nanopartiküllerin Kurkumin Salım Grafiği

Sitotoksosite testleri

Geliştirilen hibrit yara örtüsü ile gerçekleştirilen sitotoksosite testlerinin sonuçları şekil 10'da verilmiştir. Buna göre, yara örtü malzemesi olarak geliştirilen hibrit filmlerin L929 fare fibroblast hücrelerine karşı sitotoksik etki göstermediği % hücre canlılığı hesaplamalarından anlaşılmaktadır. Kontrol grubu olarak serumsuz DMEM besiyeri kullanılmıştır ve buradaki hücre canlılığı %100 kabul edilerek tüm deney grupları kontrol grubuna göre yüzde hesaplanarak verilmiştir. Hem PU film %107 canlılık oranıyla hem de deney grupları Ccm:FFA oranları 0.2:1, 0.4:1, 0.6:1, 0.8:1 ve 1.0:1 olan hibrit filmler sırasıyla %120, %121, %117, %110 ve %103 hücre canlılığı oranlarıyla L929 hücre hattı üzerinde sitotoksik etki göstermemiştir.



Şekil 10. Geliştirilen Yara Örtü Malzemelerinin L929 Fare Fibroblast Hücre Hattıyla Gerçekleştirilen MTT Sitotoksosite Analizi

SONUÇ

Bu çalışmada etken madde olarak kurkumin yüklenmiş peptit nanopartiküllerin gözenekli poliüretan filmin gözenekleri arasına gömülerek elde edilen hibrit yapının yara örtü malzemesi olarak kullanımına yönelik ilaç yükleme ve salım kinetikleri ve sitotoksitesi araştırılmıştır. Nefes figürü yönteminin parametreleri değerlendirilerek nanopartikül gömülmeye ve yara örtü malzemesi olarak tasarlanmaya en uygun gözenekli filmin üretilebilmesine elverişli parametreler belirlenmiştir. Çalışmanın devamında, hibrit sistemin bir diğer bileşeni olan etken madde yüklü peptit nanopartiküller

değerlendirilmiştir. Geliştirilen hibrit sistem, peptit-ilaç birlikte düzenlenmesi olgusuna atfedilen yüksek ilaç yükleme verimi ve kapasitesi ile öne çıkmaktadır. Hibrit yara örtü malzemesi geciktirilmiş kurkumin salımı ve yüklenen kurkumin miktarıyla ayarlanabilir salım derişimi sergilemiştir. Diğer taraftan hibrit yara örtü malzemesi sitotoksik etki göstermemektedir. Yani, biyoyumludur. Bu haliyle çalışma literatüre çok önemli katkılarda bulunmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Aksaray Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje Numarası: 2019-036.

Bu çalışmaya verdiği destekler için Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği, Elektronik Mikroskopu Operatörü Mehmet Özcan'a teşekkür ederim.

Çıkar Çatışması

Yazar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmiştir.

KAYNAKLAR

- Akbik, D., Ghadiri, M., Chrzanowski, W., ve Rohanzadeh, R. (2014). Curcumin as a wound healing agent. *Life Sciences*, 116(1), 1-7.
- Alam, S., Panda, J.J., ve Chauhan, V.S. (2012). Novel dipeptide nanoparticles for effective curcumin delivery. *Int J Nanomedicine*, 7, 4207-4222.
- Altunbas, A., Lee, S.J., Rajasekaran, S.A., Schneider, J.P., ve Pochan, D.J. (2011). Encapsulation of curcumin in self-assembling peptide hydrogels as injectable drug delivery vehicles. *Biomaterials*, 32(25), 5906-5914.
- Anand, S., Rykaczewski, K., Subramanyam, S.B., Beysens, D., ve Varanasi, K.K. (2015). How droplets nucleate and grow on liquids and liquid impregnated surfaces. *Soft Matter*, 11(1), 69-80.
- Berthet, M., Gauthier, Y., Lacroix, C., Verrier, B., ve Monge, C. (2017). Nanoparticle-Based Dressing: The Future of Wound Treatment? *Trends Biotechnol*, 35(8), 770-784.
- Bozdoğan, B., Akbal, Ö., Çelik, E., Türk, M., ve Denkbaş, E.B. (2017). Novel layer-by-layer self-assembled peptide nanocarriers for siRNA delivery. *RSC Advances*, 7(75), 47592-47601.
- Chen, S., Lu, X., Huang, Z., ve Lu, Q. (2015). In situ growth of a polyphosphazene nanoparticle coating on a honeycomb surface: facile formation of hierarchical structures for bioapplication. *Chemical Communications*, 51(26), 5698-5701.
- Cong, H., Wang, J., Yu, B., ve Tang, J. (2012). Preparation of a highly permeable ordered porous microfiltration membrane of brominated poly(phenylene oxide) on an ice substrate by the breath figure method. *Soft Matter*, 8(34), 8835-8839.
- Daban, G., Bayram, C., Bozdoğan, B., ve Denkbaş, E.B. (2019). Porous polyurethane film fabricated via the breath figure approach for sustained drug release. *Journal of Applied Polymer Science* 136(25), 47658.
- Dhivya, S., Padma, V.V., ve Santhini, E. (2015). Wound dressings - a review. *BioMedicine*, 5(4), 22-22.
- Eskandarinia, A., Kefayat, A., Agheb, M., Rafienia, M., Amini Baghbadorani, M., Navid, S. ve Ghahremani, F. (2020). A Novel Bilayer Wound Dressing Composed of a Dense Polyurethane/Propolis Membrane and a Biodegradable Polycaprolactone/Gelatin Nanofibrous Scaffold. *Scientific reports*, 10(1), 3063.
- Esmaceli, E., Eslami-Arshaghi, T., Hosseinzadeh, S., Elahirad, E., Jamalpoor, Z., Hatamie, S., ve Soleimani, M. (2020). The biomedical potential of cellulose acetate/polyurethane nanofibrous mats containing reduced graphene oxide/silver nanocomposites and curcumin: Antimicrobial performance and cutaneous wound healing. *Int J Biol Macromol*, 152, 418-427.
- Ferreira, A.M., Mattu, C., Ranzato, E., ve Ciardelli, G. (2014). Bioinspired porous membranes containing polymer nanoparticles for wound healing. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, 102(12), 4394-4405.

- Ghaee, A., Bagheri-Khoulenjani, S., Amir Afshar, H., ve Bogheiri, H. (2019). Biomimetic nanocomposite scaffolds based on surface modified PCL-nanofibers containing curcumin embedded in chitosan/gelatin for skin regeneration. *Composites Part B: Engineering*, 177, 107339.
- Gong, C., Wu, Q., Wang, Y., Zhang, D., Luo, F., Zhao, X. ve Qian, Z. (2013). A biodegradable hydrogel system containing curcumin encapsulated in micelles for cutaneous wound healing. *Biomaterials*, 34(27), 6377-6387.
- Gonzalez, A.C.O., Costa, T.F., Andrade, Z.A., ve Medrado, A.R. (2016). Wound healing - A literature review. *Anais brasileiros de dermatologia*, 91(5), 614-620.
- Jiang, L. ve Loo, S.C.J. (2021). Intelligent Nanoparticle-Based Dressings for Bacterial Wound Infections. *ACS Applied Bio Materials*, 4(5), 3849-3862.
- Kawano, T., Sato, M., Yabu, H., ve Shimomura, M. (2014). Honeycomb-shaped surface topography induces differentiation of human mesenchymal stem cells (hMSCs): uniform porous polymer scaffolds prepared by the breath figure technique. *Biomaterials Science*, 2(1), 52-56.
- Kumaraswamy, P., Lakshmanan, R., Sethuraman, S. Krishnan, U. M. (2011). Self-assembly of peptides: influence of substrate, pH and medium on the formation of supramolecular assemblies. *Soft Matter*, 7(6), 2744-2754.
- Pandit, G., Roy, K., Agarwal, U. ve Chatterjee, S. (2018). Self-Assembly Mechanism of a Peptide-Based Drug Delivery Vehicle. *ACS omega*, 3(3), 3143-3155.
- Pankongadisak, P., Sangklin, S., Chuysinuan, P., Suwanton, O. ve Supaphol, P. (2019). The use of electrospun curcumin-loaded poly(L-lactic acid) fiber mats as wound dressing materials. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 53, 101121.
- Ren, X., Han, Y., Wang, J., Jiang, Y., Yi, Z., Xu, H. ve Ke, Q. (2018). An aligned porous electrospun fibrous membrane with controlled drug delivery - An efficient strategy to accelerate diabetic wound healing with improved angiogenesis. *Acta Biomater*, 70, 140-153.
- Shi, Y., van der Meel, R., Theek, B., Oude Blenke, E., Pieters, E.H.E., Fens, M.H. ve Hennink, W. E. (2015). Complete Regression of Xenograft Tumors upon Targeted Delivery of Paclitaxel via Π - Π Stacking Stabilized Polymeric Micelles. *ACS Nano*, 9(4), 3740-3752.
- Wan, L.S., Li, J.W., Ke, B.B. ve Xu, Z.K. (2012). Ordered Microporous Membranes Templated by Breath Figures for Size-Selective Separation. *Journal of the American Chemical Society*, 134(1), 95-98.
- Yabu, H., Inoue, K. ve Shimomura, M. (2006). Multiple-periodic structures of self-organized honeycomb-patterned films and polymer nanoparticles hybrids. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 284-285, 301-304.
- Zhang, F., Hu, C., Kong, Q., Luo, R., ve Wang, Y. (2019). Peptide-/Drug-Directed Self-Assembly of Hybrid Polyurethane Hydrogels for Wound Healing. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 11(40), 37147-37155.
- Zhou, L., Lv, F., Liu, L., Shen, G., Yan, X. ve Bazan, G. (2018). Cross-Linking of Thiolated Paclitaxel-Oligo(p-phenylene vinylene) Conjugates Aggregates inside Tumor Cells Leads to “Chemical Locks” That Increase Drug Efficacy. *Advanced Materials*, 30.

Atıf İçin: Altın, S., Alp, C. Köksal, E. ve Akyüz, S. (2023). *Onobrychis argyrea* subsp. *argyrea* Ekstrelerinin Antioksidan, Antimikrobiyal ve Antiproliferatif Aktivitelerinin Belirlenmesi. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 1134-1141.

To Cite: Altın, S., Alp, C. Köksal, E. & Akyüz, S. (2023). Determination of Antioxidant, Antimicrobial, and Antiproliferative Activities of *Onobrychis argyrea* subsp. *argyrea* Extracts. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 1134-1141.

Onobrychis argyrea subsp. *argyrea* Ekstrelerinin Antioksidan, Antimikrobiyal ve Antiproliferatif Aktivitelerinin Belirlenmesi

Sevgi ALTIN¹, Cemalettin ALP^{1,2}, Ekrem KÖKSAL¹, Sümeyye AKYÜZ³

Öne Çıkanlar:

- Tüm ekstraktlar endemik bir bitkiden hazırlandı
- Üç farklı biyolojik aktivite çalışması gerçekleştirildi
- Bazı ekstraktlar kanser hücreleri üzerinde etkili oldu

Anahtar Kelimeler:

- *Onobrychis argyrea* subsp. *argyrea*
- antioksidan
- antiproliferatif
- antimikrobiyal

ÖZET:

Fabaceae familyasına ait bitkiler, hayvan beslenmesinde ve insan sağlığının korunmasında (antidiyabetik, antikanserijen, antioksidan, antienflamatuar ve kardiyovasküler) büyük öneme sahiptir. Bu familyanın önemli cinslerinden biri olan *Onobrychis* yüksek fenolik içeriğe sahiptir ve güçlü bir antioksidan, antikanserijen ve antimikrobiyal ajan olarak bilinir. Bu çalışmada, *Onobrychis argyrea* subsp. *argyrea* (*O. argyrea*) türünün kloroform (OAC), etanol (OAE) ve su (OAW) ekstreleri hazırlanmış ve bu ekstrelerin antiproliferatif, antimikrobiyal ve antioksidan aktiviteleri incelenmiştir. Ekstraktların antiproliferatif etkileri farklı kanser hücre dizileri üzerinde XTT kolorimetrik yöntemi ile değerlendirilmiştir. Bulgulara göre, OAE ekstresi tüm hücre hatlarına karşı en yüksek etkinliği göstermiştir. MCF-7 %83.71, A549 %92.14 ve HT-29 %72.24 inhibe edildi. Tüm ekstrelerin *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* ve *Streptococcus pneumoniae*'ye karşı antimikrobiyal aktivitesi, disk difüzyon tekniği kullanılarak belirlendi. Son olarak antioksidan gücü DPPH ve FRAP yöntemleri kullanılarak belirlendi. DPPH yönteminde, OAE ekstresi en yüksek radikal süpürme aktivitesi gösterdi (IC₅₀: 34.12±0.2). OAE (257.95±1.40) ve OAW (282.14±0.83) ekstreleri, FRAP yönteminde benzer sonuçlarda yüksek aktivite göstermiştir. Toplam fenolik madde içeriği OAE için 226.15±1.89 mg GAE/g ve OAW için 146.52±0.71 mg GAE/g olarak belirlendi. Bu sonuçlar, çalışılan bitkinin önemli bir antioksidan kaynağı olduğunu göstermektedir. Bütün bu sonuçlardan bitkinin çeşitli biyolojik aktivitelere ve zengin ikincil metabolitlere sahip olduğu anlaşılmaktadır.

Determination of Antioxidant, Antimicrobial, and Antiproliferative Activities of *Onobrychis argyrea* subsp. *argyrea* Extracts

Highlights:

- All extracts were prepared from an endemic plant
- Three different biological activity studies were performed
- Some extracts are effective on cancer cells

Keywords:

- *Onobrychis argyrea* subsp. *argyrea*
- antioxidant
- antiproliferative
- antimicrobial

ABSTRACT:

Plants belonging to the Fabaceae family have great importance in animal nutrition and the protection of human health (antidiabetic, anticarcinogenic, antioxidant, anti-inflammatory, and cardiovascular). *Onobrychis*, known as a potent antioxidant, anticarcinogenic and antimicrobial agent, its high phenolic substance is one of the important genera of this family. In this study, chloroform (OAC), ethanol (OAE), and water (OAW) extract of *Onobrychis argyrea* subsp. *argyrea* (*O. argyrea*) specie was prepared; and the antiproliferative, antimicrobial, and antioxidant activities were investigated. The antiproliferative effects of the extracts were evaluated on different cancer cell lines by XTT colourimetric method. OAE demonstrated the most excellent efficacy against all cell lines, according to the findings. MCF-7 83.71%, A549 92.14%, and HT-29 72.24% were all inhibited. The antimicrobial activity of OAE and OAW extracts against *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, and *Streptococcus pneumoniae* was determined using the disc-diffusion technique. Finally, antioxidant power was determined using DPPH and FRAP methods. In the DPPH research, OAE and OAW extracts showed the highest levels of inhibition (IC₅₀: 34.12±0.2 and 21.58±0.12, respectively). OAE (257.95±1.40) and OAW (282.14±0.83) extracts showed high activity with similar results in the FRAP method. Total phenolic content was determined as 226.15±1.89 mg GAE/g for OAE and 146.52±0.71 mg GAE/g for OAW, respectively. These results show that the species is an essential source of antioxidants. These studies are the first data for *Onobrychis argyrea* subsp. *argyrea*. All these results show that the plant has various biological activities and rich secondary metabolites.

¹ Sevgi ALTIN (Orcid ID: 0000-0002-0820-912X), Ekrem KÖKSAL (Orcid ID: 0000-0003-0853-566X), Erzincan Binali Yıldırım University, Faculty of Science and Arts, Department of Chemistry, Erzincan, Türkiye

² Cemalettin ALP (Orcid ID: 0000-0001-6213-7297), Erzincan Binali Yıldırım University, Çayırılı Vocational School, Department of Medical Services and Techniques, Erzincan, Türkiye

³ Sümeyye AKYÜZ (Orcid ID: 0000-0003-1999-7827), Erzincan Binali Yıldırım University, Faculty of Medicine, Department of Medical Microbiology, Erzincan, Türkiye.

Corresponding Author: Ekrem KÖKSAL, e-mail: ekoksal@erzincan.edu.tr

INTRODUCTION

From ancient times to the present, plants have been frequently employed in traditional medicine to treat disease. Approximately 60% of these species are medicinal herbs. Medicinal plants are important because they may produce therapeutic or health-promoting secondary metabolites in a variety of tissues. Secondary metabolism phytometabolites are a medically significant resource in disease treatment because they exhibit a wide range of polypharmacological actions (Hao et al., 2018).

Plants belonging to the Fabaceae family have great importance both in animal nutrition and in the protection of human health (antidiabetic, anticarcinogenic, antioxidant, anti-inflammatory, and cardiovascular) (Baytop, 1988; Foo et al., 2000). It is used in traditional medicine bleeding, cuts, and wounds in various countries (Özbek et al., 2019). There are 42 endemic species in our country. Among these species, *Onobrychis argaea*, *Onobrychis elata*, *Onobrychis argyrea*, and *Onobrychis tournefortii* have taken their place in the list of medicinal and aromatic plants in Turkey (Açıkgöz, 1998).

Onobrychis species, afzelin, arbutin, quercetin, rutin, and tannins (Karakoca et al., 2015) are potent antioxidants, anticancer and antimicrobial agents with rich phenolic content (Usta et al., 2014; Karamian et al., 2016). Quercetin and kaemferol from these flavonols in *Onobrychis* species have been reported to have antidiarrheal, antiulcer, and anti-inflammatory effects as well as in vitro biological effects such as inhibiting cellular proliferation, regulating enzymatic activity, and reducing free radicals (Bülbul, 2017; Marais et al., 2000).

O. argyrea, known as the ‘Gümüş Korunga’, is from the Fabaceae family. The literature review reveals that chemical studies on the specie are not sufficient, and biological activity tests have not been investigated sufficiently yet. Therefore, in our study, *O. argyrea* specie aimed to determine the total phenolic content of and to determine the in vitro antioxidant, antiproliferative and antimicrobial activities and to bring them to the literature.

MATERIALS AND METHODS

Collection of Plant Material

Plant samples were collected from the Erzincan Binali Yıldırım University campus in July 2022. The species was identified by Prof. Dr Ali Kandemir, and it was deposited in Erzincan Binali Yıldırım University Herbarium with the collector number Altın S.3.

Preparation of plant extract

The aerial parts of the collected plant were dried at room temperature and in the shade, then crushed with liquid nitrogen and turned into powder. 10 g plant material was extracted with chloroform, ethanol, and water at 25 °C for 45 minutes x2 in an ultrasonic bath. After the solvents were removed by evaporation, the extracts were stored at +4 °C.

Free radical scavenging activity (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl, DPPH)

The free radical (DPPH•) scavenging activities of the extracts were performed by making some modifications to the method reported by (Blois, 1958). Stock solutions (1 mg/mL) of extracts and standards were prepared for the test. Samples at concentrations of 20, 40, 80, 120, 160, 240, 320, and 400 µg/mL were prepared, and their final volume was adjusted to 3 mL using methanol. Then, 1 mL of DPPH• solution (0.26 mM, in methanol) was added, and the mixture was vortexed and incubated for 30 minutes in the dark at room temperature. After the incubation was completed, the reaction mixture was measured at 517 nm, the absorbance values were converted to % activity, and the IC₅₀ (µg/mL) for each extract was calculated, and the results were given in comparison with Trolox.

Iron reduction power activity (FRAP)

The reducing power activity test was performed by performing with minor modifications to the method reported by (Oyaizu M.,1986). Stock solutions (1 mg/mL) of extracts and standards were prepared for the test. 100 µL of the prepared stock solutions were added to the test tubes, and the volume was made up to 1.25 mL with phosphate buffer (0.2 M, pH 6.6). 1.25 mL of potassium ferric cyanide [$K_3Fe(CN)_6$] (1%) was added to this mixture, and the mixture was incubated at 50 °C for 20 minutes. After incubation, 1.25 mL of 10% trichloroacetic acid (TCA) and 0.25 mL of 0.1% $FeCl_3$ solution were added to the reaction medium, respectively, and the absorbance was measured at 700 nm.

Determination of total phenolic compound quantity

The total phenolic content of the extracts was determined spectrophotometrically with the Folin-Ciocalteu reagent. In the study, 100 µL of the stock solutions of the samples at 1 mg/mL concentrations were taken into test tubes, and 4.5 mL of distilled water was added, followed by 100 µL of Folin-Ciocalteu reagent, and left for 10 minutes at room conditions. Then, 300 µL of 2% Na_2CO_3 solution was added, and the mixture was vortexed and incubated for 120 minutes at room conditions. After incubation, the absorbance of the mixture was measured at 760 nm. A calibration curve was created using different concentrations of gallic acid as a standard, and the phenolic contents of the extracts were given as mg gallic acid equivalent phenolic substance/g extract (Slinkard and Singleton, 1977).

Determination of total flavonoid content

The total flavonoid content of the extracts obtained from plants was determined by the aluminium chloride colourimetric method (Chang et al., 2002). For the test, the extracts and standards were taken from the stock solutions (1 mg/mL) prepared in methanol into 100 µL test tubes and the final volume was completed to 4.8 mL with methanol. Then, 100 µL of 1 M NH_4CH_3COO solution and 100 µL of 10% $AlCl_3$ solution were added to the mixture, and the final mixture obtained by vortexing was incubated for 45 minutes at room conditions. After incubation, the absorbance of the mixture was measured at 415 nm in a spectrophotometer. A calibration curve was created with different concentrations of quercetin as a standard, and the flavonoid content of the extracts was given as mg quercetin equivalent/g extract.

Antimicrobial Activity

Preparation of bacterial isolates

Onobrychis argyrea subsp. *argyrea* the aerial parts of (OA) plant, water (OAW), ethanol (OAE), and chloroform (OAC) extracts were tested on seven standard bacterial isolates (Gram (-) of these bacteria are *Pseudomonas aeruginosa* American Type Culture Collection (ATCC) 27853, *Klebsiella pneumonia* ATCC 700603, colistin-resistant *Escherichia coli* ATCC 19846, *Escherichia coli* ATCC 25922, Gram (+) *Enterococcus faecalis* ATCC 29212, *Staphylococcus aureus* 25922 *Streptococcus pneumonia* is ATCC 45616) and one fungus(*Candida albicans*). Bacterial isolates were supplied from Erzincan Mengücek Gazi Training and Research Hospital Medical Microbiology Laboratory.

Inoculum preparation

Standard strains kept at -80°C were inoculated on 5% sheep blood medium (Biomerieux, France) and incubated at 37°C for 16 to 18 hours. At the end of the period, a pure passage was made from the colonies grown in the sheep blood medium into a new 5% sheep blood medium, and the same process

was repeated for the second time. 0.5 MacFarland (1.5×10^8 CFU/ml) turbid solutions of bacterial isolates grown in the medium were adjusted in 0.9% saline and DensiCHEK Plus (Biomérieux, France) densitometer device.

Determination of antimicrobial activity disk diffusion method

The Kirby-Bauer disk diffusion method was used to determine the antimicrobial effect of plant extracts, taking into account the recommendations of the European Committee for Antimicrobial Susceptibility Testing (EUCAST) (Bauer et al., 1966).

The prepared bacterial solutions were spread on Mueller Hinton agar medium (Biomérieux, France) with the help of a cotton swab and allowed to dry for 15 minutes. Mueller Hinton Fastidious (MH-F) agar supplemented with 5% defibrinated horse blood and 20mg/l β -NAD was used for *Streptococcus pneumoniae* isolate. Then, 20 μ L of the extracts prepared as 200 mg/ml were added to 6 mm diameter standard blank discs (Bioanalyse Turkey) and allowed to dry for 15 minutes. After the extract-impregnated discs were dried, they were placed on the surface of the medium with the help of sterile pliers and the plates were incubated for 16-18 hours at 37 °C. At the end of the period, the diameter of the zone where bacteria did not grow around the discs was measured with a ruler and noted. The same procedures were repeated three times for each concentration. Vancomycin 5 μ g/mL and Erythromycin 15 μ g/ml for Gram (+) bacteria and Amikacin 30 μ g/mL disc for Gram (-) bacteria were used as the positive control. Pure water was used as the negative control.

Cell Culture Studies

Cell lines for human breast adenocarcinoma MCF-7, human lung cancer A549 and colorectal adenocarcinoma HT-29 were commercially purchased from ATCC (American Type Culture Collection, USA). MCF-7 cells were cultured with EMEM media, while HT-29 cells were cultured with McCoy's 5A medium. All basal media were supplemented with fetal bovine serum (10%), Na-Pyruvate (10%), and antibiotics (Pen-Strep) before experimental procedures. Studies were carried out in a Class II biosafety cabinet. Incubation of cultures was carried out at 37°C in a 5% CO₂ incubator.

Cytotoxicity assay

Cell growth inhibitory capacities of *O. argyrea* extracts were evaluated against MCF-7, A549, and HT-29 cell lines by 2,3-bis-(2-methoxy-4-nitro-5-sulfophenyl)-2H tetrazolium-5-carboxanilide (XTT) assay (Batool et al., 2022). Inhibition percentages of the extracts at a concentration of 250 μ g/mL were calculated.

RESULTS AND DISCUSSION

Antioxidant Activity

Total phenolic and flavonoid amounts of *O. argyrea* chloroform, ethanol, and water extracts were determined and DPPH and FRAP methods were used for the determination of antioxidant capacity.

O. argyrea the total phenolic content of the extracts prepared from was determined using the Folin-Ciocalteu reagent (FCR). Phenolic content was found to be 30.60 ± 0.13 , 226.15 ± 1.89 , and 146.52 ± 0.71 mg of GAE/g extract for chloroform, ethanol, and water, respectively. Total phenolic contents of chloroform, ethanol, and water extracts are presented in Table 1.

The AlCl₃ method was used to determine the total flavonoid content. The reducing power or potential is one of the most significant markers of antioxidant capacity. This reducing power is an

essential mechanism of antioxidant substances in phenolic structure. Total flavonoid contents of chloroform, ethanol, and water extracts are presented in Table 1.

Free radical scavenging activities of *O. argyrea* extracts were determined using DPPH radicals. DPPH, a stable radical, is the most commonly used radical in the determination of antioxidant capacity. Reacting with antioxidants, DPPH gains electrons and bleaching occurs therefore a decrease in absorbance occurs. If the added substance makes the DPPH solution lighten, the absorbance value is measured as low, and a low absorbance means that the activity is high. Trolox was used as standard. *O. argyrea* total phenolic, flavonoid contents and total antioxidant capacities of chloroform, ethanol, and water extracts are presented in Table 1.

Table 1. Total phenolic, flavonoid contents and total antioxidant capacities of *O. argyrea*

Extract/Positive Control	DPPH [*] scavenging IC ₅₀ (µg/mL)	Total phenolics mg GAE/g Extract	Total flavonoids mgQE/g Extract	Reducing power mgTE/g Extract
OAC	60.85±0.4	30.60±0.13	15.71±1.03	16.93±0.20
OAE	34.12±0.2	226.15±1.89	108.10±0.7	257.95±1.40
OAW	21.58±0.12	146.52±0.71	71.42±1.03	282.14±0.83
Trolox	11.95±0.15			

OAC; *O. argyrea* chloroform extract, OAE; *O. argyrea* ethanol extract, OAA; *O. argyrea* water extract.

There are no antioxidant studies on *O. argyrea* species. This study is the first antioxidant study of *O. argyrea*. When the results were examined, the ethanol extract was found to be the richest in terms of phenolic content with 226.15 mgGAE/g phenolic compound content. After the ethanol extract, the amount of phenolic content is followed by water (146.52 mgGAE/g) and chloroform extract (30.60 mgGAE/g).

Karadağ (2018), *O. argyrea* subsp. *isaurica* in the study investigating the antioxidant activity of phenolic content was observed the highest in the methanol extract among the extracts. According to their study, they determined methanol extract (78.09 mgGAE/g), ethyl acetate (76.83 mgGAE/g), and water extract (76.06 mgGAE/g).

When the total flavonoid content is considered, the richest extract in terms of flavonoid content is methanol extract with 41.57 mgRE/g content. This is followed by ethyl acetate (32.56 mgRE/g) and water extract (22.70 mgRE/g). They studied *O. isaurica* when extracts were evaluated regarding DPPH radical scavenging activity; the strongest effect was detected in the methanol extract (126.51 mgTE/g). This is followed by water (116.89 mgTE/g) and ethyl acetate (81.81 mgTE/g) extracts, respectively. In the FRAP test results, the highest result was found in methanol extract with 200.70 mgTE/g. This is followed by the water extract 187.45 mgTE/g and the ethyl acetate extract 179.19 mgTE/g. The results showed that the species *O. argyrea* has a substantially higher antioxidant content than the type *O. isaurica*.

In vitro antimicrobial effect results

In the literature, no study has been found on the antimicrobial activity of the *O. argyrea* plant, but there are studies conducted with other species. In the study by Karakoca et al. (2015), the antimicrobial activities of methanol, ethanol, and water extracts of the flower and root parts of the *O. armena* plant were tested by the disc diffusion method. They found that the ethanol extracts obtained from the flower part were highly effective against *S. aureus* (mean±SD: 21.81±0.65), but the water extract was ineffective against all tested microorganisms. Again, the ethanol extract of the root parts was found to be effective against *S. aureus* (18.18±0.23), *E. coli*, and *P. aeruginosa*, respectively, and the water extract was found to be only antifungal.

Determination of Antioxidant, Antimicrobial, and Antiproliferative Activities of *Onobrychis argyrea* subsp. *argyrea* Extracts

Aliahmadi et al. (2015), in their study in Iran, extracted the total water-soluble proteins of *O. sativa* Lam plant seeds and tested them by agar coating method on three different bacteria (*S.aureus*, *Enterococcus faecium*, and *E.coli*). As a result, they determined that the total water-soluble proteins of *Onobrychis sativa* Lam plant seeds showed strong antibacterial activity against *E. faecium* and *S. aureus* strains, respectively.

In our study, each of the OAE and OAS extracts was found to be effective against three microorganisms by the literature. Bacteria that both were effective were *S. pneumoniae* (mean±SD: 15.0±0.0), *S.aureus* (mean±SD: 8.7±0.57), and *E.faecalis* (mean±SD: 7.7±0.57), in order of effectiveness. OAE was found to be more effective than OAW against these bacteria. The inhibition results of the standards and extracts are shown in Table 2.

Table 2. Antimicrobial activities of *O. argyrea* extracts (mean ± SD, n = 3)

Extract and const. (mg/ml)	Zone Diameter of Standard Strains (mm ± SD)						
	<i>S. aureus</i>	<i>E. faecalis</i>	<i>S. pneumoniae</i>	<i>E.coli</i>	<i>E.colim COL-R</i>	<i>K. Pneumoniae</i>	<i>P.aeruginosa</i>
OAC (200)	-	-	-	-	-	-	-
OAE (200)	8.7±0.57	7.7±0.57	15.0±0.0	-	-	-	-
OAW (200)	7.7±0.57	7.0±0.0	7.7±0.57	-	-	-	-
E (15 µg)	21.3±0.57	nt	nt	20.7±0.57			
VA (5 µg)	nt	14.3±0.57	25.3±0.57	nt	nt	nt	nt

OAC: *O. argyrea* chloroform extract OAE: *O. argyrea* ethanol extract, OAW: *O. argyrea* water extract, E: Erythromycin, VA: Vancomycin, -: no inhibition, nt: Not tested

***In vitro* anticancer effect results**

XTT colourimetric method is widely used to evaluate the antiproliferative effects of natural or synthetic compounds. Based on this, the various extracts including OAC, OAE, and OAW from *O. argyrea* subsp. *argyrea* were tested on breast cancer MCF-7 cells, lung cancer A549 cells, and colon cancer HT-29 cells for their cell growth inhibitory activities. For this, each cell line was treated with these extracts at a dose of 250 µg/mL and incubated for 24 hours. The 250 µg/mL dose-dependent cell growth inhibitory results are shown in Table 3.

Table 3. *O. argyrea* % inhibitory values of extracts on cancer cell lines (250 µg/mL)

<i>O. argyrea</i> extracts	MCF-7	A549	HT-29
Chloroform (OAC)	75.28	85.00	67.20
Ethanol (OAE)	83.71	92.14	72.24
Water (OAW)	78.09	88.32	70.02

OA extracts showed significant inhibition on all cell lines at 250 µg/mL concentrations. Among all the extracts, the highest inhibition on the studied cancer lines was determined in the OAE extract. In particular, OAE extract exhibited almost 100% inhibition on A549 lung cancer cells. In addition, its inhibition of 83% for the MCF-7 breast cancer cell line is also highly significant. Although the effect of HT-29 on colon cancer is lower than other cell lines, the highest activity among all extracts belongs to the OAE extract with a value of 72%.

In the study by Bulbul (2017), aqueous extracts of four wild sainfoin species *Onobrychis argyrea*, *Onobrychis galegifolia*, *Onobrychis tournefortii*, and *Onobrychis albiflora* were used. Different doses of these extracts were tested on the human colon cancer cell line (HCT-116) and the

human embryonic stem cell line (HEK-293). The inhibitory concentration of the extracts obtained from the plants, which caused a decrease in the proliferation of both cell lines at 24 and 48 hours, was determined by MTT analysis. The results showed that *O. albiflora* extract has antiproliferative, apoptotic, and necrotic effects on HCT-116.

The genus *Onobrychis*, belonging to the Fabaceae family, contains many anticarcinogenic compounds. For example, afzelin (Naeem et al., 2022), quercetin (Hashemzaei et al., 2017), inositol (Yu et al., 2017), cinnamic acid (Zhu et al., 2016), vitexin (Scarpa et al., 2018), and Ebenfuran III (Roumeliotis et al., 2013). It has also been supported by studies that these molecules, which are in the content of the *Onobrychis* genus and are important from an oncological point of view, have significant antiproliferative effects, primarily on MCF-7, PC-3, and HT-29 cell lines

CONCLUSION

In our study, chloroform, ethanol, and water extracts were prepared by using the aerial parts of *Onobrychis argyrea* subsp. *argyrea* species. By determining the total phenolic and flavonoid content of the species, DPPH and FRAP methods were used for antioxidant studies. The extract with the highest total phenolic and flavonoid content was the ethanol extract, followed by the water extract. In antioxidant studies, the highest activity was calculated in water and ethanol extracts, respectively. Chloroform extract showed moderate activity. Antimicrobial studies were determined by the Kirby-Bauer disk diffusion method. The findings revealed that ethanol and water extract significantly inhibited *S. aureus*, *E. faecalis*, and *S. pneumoniae* bacteria while chloroform extract had no antibacterial impact on any bacteria. Antiproliferative studies were investigated by the XTT method on MCF-7, HT-29, and A549 cell lines. Percentages of inhibition were determined for each extract at a concentration of 250 µg/mL. All extracts showed good and remarkable activity on all three cell lines.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors give special thanks to Prof. Dr. Ali Kandemir (Erzincan Binali Yıldırım University, Biology Department) for the identification of plant materials.

Conflict of Interest

The article authors declare that there is no conflict of interest between them.

Author's Contributions

The authors declare that they have contributed equally to the article.

REFERENCES

- Açikgöz, E., (1988). Annual forage legumes in the arid and semi-arid regions of Turkey. In Nitrogen fixation by legumes in Mediterranean agriculture (pp. 47-54). Springer, Dordrecht.
- Aliahmadi, A., Roghanian, R., Emtiazi, G., & Ghassempour, A., (2011). A simple method for primary screening of antibacterial peptides in plant seeds.
- Batool, S., Javaid, S., Javed, H., Asim, L., Shahid, I., Khan, M., & Muhammad, A. (2022). Addressing artifacts of colourimetric anticancer assays for plant-based drug development. *Medical Oncology*, 39(12), 1-19.
- Bauer, A.W., Kirby, W.M.M., Sherris, J.C. & Turck, M., (1966). Antibiotic susceptibility testing by a standardized single disc method. *American Journal of Clinical Pathology* 45: 493-496.
- Baytop, A., (1988). İstanbul eczacılık fakültesi herbaryumundaki türkiye bitkileri, İstanbul, s. 60-61.

- Blois, M. S., (1958). Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature*, 181(4617), 1199-1200.
- Bülbül, M. V., (2017). Bazı endemik *onobrychis* türlerinin kolon kanseri hücreleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi (Master's thesis, İstanbul Medipol Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü).
- Chang, C. C., Yang, M. H., Wen, H. M., & Chern, J. C., (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of food and drug analysis*, 10(3).
- Foo, L., Lu, Y., Molan, A., L., Woodfield, D., R., McNabb, W., C., (2000). The phenols and prodelphinidins of white clover flowers, *Phytochemistry*, 54, 539-548.
- Hao, D. C., & Xiao, P. G., (2018). Deep in shadows: Epigenetic and epigenomic regulations of medicinal plants. *Chinese Herbal Medicines*, 10(3), 239-248.
- Hashemzaei, M., Delarami Far, A., Yari, A., Heravi, R. E., Tabrizian, K., Taghdisi, S. M., ... & Rezaee, R. (2017). Anticancer and apoptosis-inducing effects of quercetin in vitro and in vivo. *Oncology reports*, 38(2), 819-828.
- Karakoca, K., Asan-Ozusaglam, M., Cakmak, Y. S., & Teksen, M., (2015). Phenolic compounds, biological and antioxidant activities of *Onobrychis armena* Boiss. & Huet flower and root extracts. *Chiang Mai University Journal of Natural of Sciences*, 42(2), 376-392.
- Karamian, R., & Asadbegy, M., (2016). Antioxidant activity, total phenolic and flavonoid contents of three *Onobrychis* species from Iran. *Pharmaceutical sciences*, 22(2), 112-119.
- Marais, J. P., Mueller-Harvey, I., Brandt, E. V., & Ferreira, D., (2000). Polyphenols, condensed tannins, and other natural products in *Onobrychis viciifolia* (sainfoin). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(8), 3440-3447.
- Naeem, A., Hu, P., Yang, M., Zhang, J., Liu, Y., Zhu, W., & Zheng, Q. (2022). Natural Products as Anticancer Agents: Current Status and Future Perspectives. *Molecules*, 27(23), 8367.
- Oyaizu M., (1986). Studies on products of browning reactions-antioxidative activities of products of browning reaction prepared from glucosamine. *Jap J Nutr*. 44:307-315.
- Özbek, H., Acikara, O. B., Oz, B. E., Ozbilgin, S., Kirmizi, N. I., Özrenk, B. C., ... & Saltan, G., (2019). Antidiabetic activity evaluation of *Onobrychis* species on alloxan-induced diabetic mice. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 55.
- Roumeliotis, T. I., Halabalaki, M., Alexi, X., Ankrett, D., Giannopoulou, E. G., Skaltsounis, A. L., ... & Garbis, S. D. (2013). Pharmacoproteomic study of the natural product Ebenfuran III in DU-145 prostate cancer cells: The quantitative and temporal interrogation of chemically induced cell death at the protein level. *Journal of proteome research*, 12(4), 1591-1603.
- Slinkard, K., & Singleton, V. L., (1977). Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. *American journal of enology and viticulture*, 28(1), 49-55.
- Usta, C., Yildirim, A. B., & Turker, A. U., (2014). Antibacterial and antitumor activities of some plants grown in Turkey. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 28(2), 306-315.
- Yu, W., Liu, C., Li, X., Yang, F., Cheng, L., Liu, C., & Song, Y. (2017). Inositol hexaphosphate suppresses colorectal cancer cell proliferation via the Akt/GSK-3 β / β -catenin signaling cascade in a 1, 2-dimethylhydrazine-induced rat model. *European journal of pharmacology*, 805, 67-74.
- Zhu, B., Shang, B., Li, Y., & Zhen, Y. (2016). Inhibition of histone deacetylases by trans-cinnamic acid and its antitumor effect against colon cancer xenografts in athymic mice. *Molecular medicine reports*, 13(5), 4159-4166

Atıf İçin: Karataş, Y. ve Rüzgar, A. (2023). Poli(N-vinil-2-pirolidon) ile Kararlaştırılmış Ru-Fe Nanokümlerinin Sentezlenmesi, Tanımlanması ve Metilamin-Boran'ın Hidroliz Tepkimesinde Katalitik Etkinliğinin Araştırılması. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 1142-1154.

To Cite: Karataş, Y. & Rüzgar, A. (2023). Synthesis, Identification of Poly(N-vinyl-2-pyrrolidone) Stabilized Ru-Fe Nanoclusters and Investigation of the Catalytic Activity of Methylamine-Borane in the Hydrolysis Reaction. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 1142-1154.

Poli(N-vinil-2-pirolidon) ile Kararlaştırılmış Ru-Fe Nanokümlerinin Sentezlenmesi, Tanımlanması ve Metilamin-Boran'ın Hidroliz Tepkimesinde Katalitik Etkinliğinin Araştırılması

Yaşar KARATAŞ¹, Adem RÜZGAR^{1*}

Öne Çıkanlar:

- Katalizör
- Enerji
- Hidrojen

Anahtar Kelimeler:

- Metilamin-Boran
- PVP
- Nanoküme
- Hidrojen
- Hidroliz

ÖZET:

Poli(N-vinil-2-pirolidon) (PVP) ile kararlaştırılmış Ru-Fe nanoparçacıkları (Ru-Fe@PVP) yaygın olarak kullanılan bir alkol indirgeme tekniği ile sentezlendi. Sentezlenen nanoparçacıklar SEM, SEM/EDX, UV/Vis teknikleriyle karakterize edildi. Hazırlanan nanoparçacıklar katı halde hidrojen depolayan önemli bir bor-azot (B-N) türevi olan metilamin-boranın hidroliz tepkimesinden hidrojen üretiminde katalizör olarak kullanıldı. TOF değeri (38.4 1/min) ve aktivasyon enerjisi (87.7 kJ/mol) olarak hesaplanan iki metalli nanoparçacıklar bu özellikleri ile verimli bir katalitik sistem olarak değerlendirildi. Katalizör ve substrat derişimlerinin katalitik tepkime üzerindeki etkilerinin araştırılması sonucu tepkimenin hız ifadesinin; katalizör derişimine göre 0.5 mertebeden, substrat derişimine göre ise 1.7 mertebeden ilerlediği tespit edildi.

Synthesis, Identification of Poly(N-vinyl-2-pyrrolidone) Stabilized Ru-Fe Nanoclusters and Investigation of the Catalytic Activity of Methylamine-Borane in the Hydrolysis Reaction

Highlights:

- Catalyst
- Energy
- Hydrogen

Keywords:

- Methylamine-Borane
- PVP
- Nanocluster
- Hydrogen
- Hydrolysis

ABSTRACT:

Ru-Fe nanoparticles (Ru-Fe@PVP) stabilized with poly(N-vinyl-2-pyrrolidone) (PVP) were synthesized by a widely used alcohol reduction technique. The synthesized nanoparticles were characterized by SEM, SEM/EDX, UV/Vis techniques. The prepared nanoparticles were used as a catalyst in the production of hydrogen from the hydrolysis reaction of methylamine-borane, an important boron-nitrogen (B-N) derivative that stores hydrogen in solid state. Bimetallic nanoparticles, which were calculated as TOF (38.4 1/min) and activation energy (87.7 kJ/mol), were evaluated as an efficient catalytic system with these properties. As a result of the investigation of the effects of catalyst and substrate concentrations on the catalytic reaction, it was determined that the rate expression of the reaction progressed from 0.5 order according to the catalyst concentration and 1.7 order according to the substrate concentration.

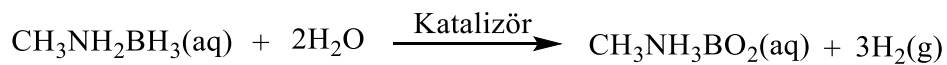
¹Yaşar KARATAŞ (Orcid ID: 0000-0002-9171-7781), Adem RÜZGAR (Orcid ID: 0000-0001-6922-043X), Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Muradiye Meslek Yüksekokulu, Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölümü, Van, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Adem RÜZGAR, e-mail: aruzgar@yyu.edu.tr

GİRİŞ

Son yüzyılda hem nüfus ve sanayileşme hızla artmış hem de toplumların tüketim alışkanlıkları büyük ölçüde değişmiştir. Bu değişimler insan yaşamında birçok alanı derinden etkilemiştir. Bu alanların başında enerji ve enerji kaynakları gelmektedir. İhtiyaç duyulan enerjinin önemli bir kısmının fosil yakıtlardan sağlanması; su, toprak ve hava kirliliğine neden olmakta bu durum başta insan sağlığı olmak üzere birçok alanda oldukça ciddi sorunlara yol açmaktadır (Zhan ve ark., 2019; Dutta ve ark., 2021; Barapati ve ark., 2022; Sharma ve ark., 2022). Bu sorunların önüne geçilebilmesi amacıyla “alternatif enerji kaynakları” temalı birçok araştırma-uygulama çalışması yapılmaktadır (Qiu ve ark., 2017). Bu çalışmalarda bilim insanlarının dikkatini çeken enerji kaynaklarının başında yüzyılın enerji kaynağı olarak da ifade edilen hidrojen enerjisi gelmektedir (Hanley ve ark., 2018; Çelebi ve ark., 2022).

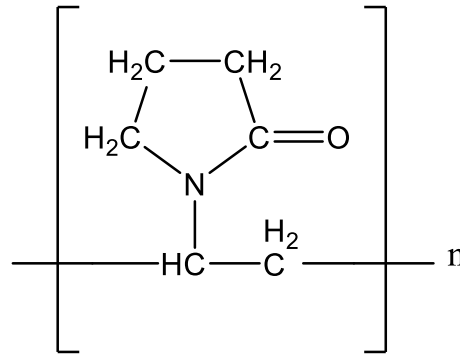
Hidrojenin hem üretim hem de tüketim sürecinde çevreye veya insan sağlığına zararlı atıklar oluşmaz. Farklı üretim yöntemleriyle elde edilebilen hidrojenin yakılması sonucu elde edilen enerji de oldukça yüksektir. Bütün bu avantajlarına rağmen hidrojen henüz günlük hayatta kullanılabilir bir enerji kaynağı olarak yaygınlaşmamıştır. Bunun en temel nedeni hidrojenin taşınması ve depolanmasında karşılaşılan sorunlardır (Li ve ark., 2022; Schrottenboer ve ark., 2022; Tarhan ve ark., 2021). Hidrojenin gaz halinde taşınması oldukça yüksek basınç, sıvı halde taşınması ise oldukça düşük sıcaklık gerektirmektedir. Ayrıca gaz veya sıvı fazda hidrojen depolanması ve taşınması güvenlik, verimlilik ve maliyet açısından da önemli sorunlar oluşturmaktadır. Bütün bu nedenlerle katı fazda yapısında hidrojen bulduran başka bir ifade ile hidrojen deposu olarak kullanılabilen malzemelerle yapılan çalışmaların sayısı her geçen gün artmaktadır. Katı fazda yapısında hidrojen bulduran malzemelerin başında karbon nanotüpler, zeolitler, metal hidrürler (LiBH₄, NaBH₄, vb.), B-N bileşikler (NH₃BH₃, N₂H₄BH₃, NH₃B₃H₇ vb.) ve organik polimerler gelmektedir. Bu malzemeler içerisinde yüksek hidrojen yoğunlukları, çevreci ve zararsız kimyasallar olmaları nedeniyle amin-boranlar ve türevleri hidrojen üretimi adına ümit veren bileşikler olarak karşımıza çıkmaktadır (Karataş ve ark., 2022; Dayan ve ark., 2022; Zhou ve ark., 2021). Hidroliz, termoliz veya hidrotermoliz yöntemleri ile hidrojen elde edilebilen bu bileşiklerden metilamin-boran (MeAB) yüksek hidrojen yoğunluğuna rağmen üzerinde yeterince çalışma yapılmamış bir bileşik olarak dikkat çekmektedir. MeAB yapısında ağırlıkça % 11,1 oranında hidrojen barındırmaktadır. MeAB yapısındaki bu hidrojen organik çözücüler vasıtasıyla katalitik dehidrojenasyon, su içerisinde hidroliz ve çözücü kullanılmadan termoliz yöntemleriyle üretilebilir (Gülcan ve Karataş, 2017; Yang ve ark., 2013; Cao ve ark., 2014, Söğüt ve ark., 2019). Yapılan çalışmalar bu yöntemlerde hedeflenen verimlilik seviyesine hidroliz aşamasında uygun katalizör sistemlerinin kullanılması sonucu ulaşılabileceğini ortaya koymuştur (Prabu ve ark., 2022). MeAB'nin metal katalizli hidrolizi sonucu arzu edilen oranlarda yüksek saflıkta H₂ kolaylıkla elde edilebilmektedir. MeAB'nin katalitik hidrolizi için yapılan çalışmalar, uygun bir katalitik sistem kullanılarak oda sıcaklığında 1 mol MeAB'den 3 mol H₂ salınabileceğini ortaya koymuştur.



MeAB'nin diğer hidrojen kaynaklarına göre önemli bir diğer avantajı ise hidrojen eldesinin makul sıcaklıklarda ve yüksek verimle gerçekleştirilebilmesidir (Abay ve Rakap, 2020). Bütün bu özellikleri ile MeAB hidrojen enerjisi teknolojileri adına umut verici bir bileşik olarak değerlendirilmektedir.

Fakat yapılan çalışmalar hidroliz sürecinin istenen hızda ve verimlilikte gerçekleştirilebilmesinin büyük oranda uygun katalizör/destek sistemlerinin hazırlanmasına bağlı olduğunu ortaya koymuştur (Wen ve ark., 2020). Bu süreçte iki temel amaca ulaşılması hedeflenmektedir. Bu amaçlar verimli ve çevreci bir katalizörün seçimi ve katalizör ömrünü kısaltarak performansın düşmesine neden olan topaklaşma gibi sorunları önleyebilecek yüksek yüzey alanına sahip destek materyallerinin belirlenmesi şeklinde özetlenebilir.

Poli(N-vinil-2-pirolidon) (PVP) geçiş metali nanoparçacıklarının kararlaştırılmasında kullanılan yüksek stabiliteye sahip organik bir polimerdir. Birçok polar çözücünde çözünebilir PVP aynı zamanda oldukça non-iyonik bir karaktere sahiptir. Bütün bu özelliklere ek olarak katalizör ömrünü kısaltan topaklanmaya karşı yüksek koruyucu bir fonksiyona da sahiptir (Umegaki ve ark., 2009).



Şekil 1. Poli (N-vinil-2-pirolidon) bileşiğinin molekül yapısı (Umegaki ve ark., 2009)

PVP'nin nanopartikülleri nasıl stabilize ettiği molekül yapısı ile açıklanabilir. PVP, yapısındaki NC=O bölgelerinin çoklu koordinasyonu yoluyla oldukça geniş bir yüzey alanı oluşturur. Oluşturulan bu yüzey modifikasyonu ile metal nanopartiküller mükemmel bir dağılım gösterir, böylece nano yapılarında yüzey atomlarının oranının artması ve katalitik etkinliğin yükselmesi sağlanır (Wei, ve ark., 2022).

Bu avantajları nedeniyle PVP'nin kullanıldığı birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları gama ışınması ile gümüş nanopartiküllerin üretimi (Nikolic ve ark., 2023) NH_3BH_3 'ün hidrolizi ile hidrojen üretimi (Chu ve ark., 2019) terminal alkinler ve azitler arasındaki "klik" tepkimeleri (Sarkar ve ark., 2008), Pechmann tepkimesi yoluyla metilkumarin türevi bileşiklerin sentezi (Li ve ark., 2016), tekstil kaynaklı atıksuların temizlenmesi (Hafez ve ark., 2005), antikanserojen özelliklere sahip ilaç etken maddelerinin sentezi (Nasari ve ark., 2020), sentetik polimer uygulamaları ve hidrojel üretimi (Fahmy ve ark., 2020-Fahmy ve ark., 2009) şeklinde sıralanabilir.

Bu çalışmada, MeAB'nin hidrolizinden hidrojen üretiminde katalizör olarak kullanılmak üzere oda koşullarında PVP ile stabilize edilmiş Ru-Fe nanoparçacıkları hazırlanmış ve tanımlanmıştır. Literatürde MeAB hidrolizi için Rh/graphene (Shen ve ark., 2015), Co- Al_2O_3 NPs (Baguç ve ark., 2019), Ru-Rh@PVP NPs (Taçyıldız ve ark., 2019), Cu/nano-MIL-101 (Baguç ve ark., 2018), Ru/MCM-41 (Wen ve ark., 2015), Rh/nano-ZrO₂ (Kanat ve ark., 2015), Cu@Co core-shell NPs (Du ve ark., 2013) gibi katalizör sistemleri kullanılmıştır. Bununla birlikte ekonomik, çevreci ve verimli katalizör sistemlerinin geliştirilmesine dönük ihtiyaç ve çalışmalar devam etmektedir. Yapılan çalışma çerçevesinde hem ekonomik, çevreci, verimli bir katalizör sisteminin sentezlenmesi hem de sentezlenen katalizör sisteminin tekrar kullanılabilirlik performansının oldukça yüksek olması hedeflenmiş bu amaçla metal olarak rutenyum ve demir; destekleyici olarakta Poli(N-vinil-2-pirolidon)

(PVP) kullanılmıştır. Çalışma sonucu elde edilen sonuçlar ekonomik, çevreci, verimli ve tekrar kullanılabilirlik performansının yüksek olduğu bir katalizör sistemine ulaşıldığını ortaya koymuştur.

Ru-Fe@PVP nanokatalizörü alkol indirgeme tekniği ile hazırlanmış ve SEM, SEM/EDX, UV/Vis yöntemleri ile tanımlanmıştır. Ru-Fe@PVP nanokatalizörü, MeAB'nin hidrolizi tepkimesinde oda koşullarında 38.4 dak^{-1} başlangıç devir frekansı (TOF) ile etkin bir katalizör olduğu görülmüştür. Ayrıca katalitik sistemin MeAB'nin hidrolizinde başlangıç etkinliğinin 5. döngü sonunda %68.2'sini koruduğu ve %94.5'lik bir dönüşüm sağladığı görülmüştür.

MATERYAL VE METOT

Rutenyum (III) klorür trihidrat ($\text{RuCl}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), demir (III) klorür heksahidrat ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), poli(N-vinil-2-pirolidon) (PVP) ve etanol Sigma-Aldrich'ten ticari olarak temin edildi. Saf su, su arıtma sistemi (Milli Q-pure WS) ile damıtıldı. SEM analizi Zeiss Sigma 300 model alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu ile UV analizi Shimadzu UV-3600 UV-Vis spektrofotometre cihazı ile yapıldı. Çalışmada kullanılan cam malzemeler ve manyetik karıştırma çubukları yıkandıktan sonra saf su ve aseton ile durulandı, ardından $160 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de etüvde kurutuldu.

Ru-Fe@PVP Nanoparçacıklarının Hazırlanması

Ru-Fe@PVP nanoparçacıkları, PVP'nin hem kararlaştırıcı hem de indirgeyici ajan olarak görev yaptığı bir alkol indirgeme yöntemiyle hazırlandı. İlk olarak, $\text{RuCl}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (25 mL etanol içinde 0.125 mmol) ve $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (25 mL su içinde 0.125 mmol) çözeltileri karıştırıldı ve poli(N-vinil-2-pirolidon) (PVP, 2.5 mmol) bu çözeltiye eklendi. Daha sonra karıştırılan solüsyon 90°C 'de 2 saat reflaks edildi. Elde edilen Ru-Fe@PVP nanoparçacıklarının oda sıcaklığında kahverengimsi siyah renkte ve yüksek stabilitede olduğu gözlemlendi.

PVP ile Kararlaştırılmış Ru-Fe (0) Nanokümlerinin MeAB'nin Hidrolizi Tepkimesinde Katalitik Etkinliğinin MeAB Derişimine Bağlı Olarak İncelenmesi

MeAB derişiminin hidroliz tepkimesine katalitik etkisini anlamak için katalizör derişimi (3 mM) ve sıcaklık (298 K) sabit tutularak farklı MeAB derişimlerinde (100 mM, 150 mM, 200 mM, 250 mM) katalitik hidroliz tepkimeleri gerçekleştirildi. Bu amaçla ilk olarak 3 mL (3 mM) Ru-Fe@PVP, 1 mL saf su tepkime kabı içerisine yerleştirildi. Tepkime sisteminin sıcaklığı $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye (298 K) ayarlanarak termal denge için yaklaşık 15 dakika beklendi. Daha sonra tepkime kabı içerisine 1 mL saf su içerisinden çözünmüş olan 200 mM MeAB eklendi. Tepkime kabı kapatıldıktan sonra 750 rpm hızında tepkime başlatıldı. Hidroliz sonucu açığa çıkan gazın büret içerisinden suyu hareket ettirmesi periyodik olarak takip edilerek çıkan gaz hacmi zamana karşı not edildi. Elde edilen veriler kullanılarak gerekli grafikler oluşturuldu. Diğer MeAB derişimleri için de yukarıdaki süreç aynen uygulanarak her bir derişim için katalitik etkinlikler incelendi.

PVP ile Kararlaştırılmış Ru-Fe (0) Nanokümlerinin MeAB'nin Hidrolizi Tepkimesinde Katalitik Etkinliğinin Katalizör Derişimine Bağlı Olarak İncelenmesi

Katalizör derişiminin hidroliz tepkimesine katalitik etkisini anlamak için MeAB derişimi (200 mM) ve sıcaklık (298 K) sabit tutularak farklı Ru-Fe@PVP katalizörü derişimlerinde (1 mM, 2 mM, 3 mM, 4 mM) katalitik hidroliz tepkimeleri gerçekleştirildi. 3 mL (3 mM) Ru-Fe@PVP, 1 mL saf su ve magnet tepkime kabı içerisine yerleştirildi. Tepkime sisteminin sıcaklığı $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye (298 K) ayarlanarak termal denge için yaklaşık 15 dakika beklendi. Daha sonra tepkime kabı içerisine 1 mL saf su içerisinden çözünmüş olan 200 mM MeAB eklendi. Tepkime kabı kapatıldıktan sonra 750 rpm hızında tepkime başlatıldı. Hidroliz sonucu açığa çıkan gazın büret içerisinden suyu hareket ettirmesi

periyodik olarak takip edilerek çıkan gaz hacmi zamana karşı not edildi. Elde edilen veriler kullanılarak gerekli grafikler oluşturuldu. Diğer Ru-Fe@PVP derişimleri (1 mM, 2 mM ve 4 mM) için de yukarıdaki süreç aynen uygulanarak her bir derişim için katalitik etkinlikler incelendi.

PVP ile Kararlaştırılmış Ru-Fe (0) Nanokümlerinin MeAB'nin Hidrolizi Tepkimesinde Katalitik Etkinliğinin Sıcaklığa Bağlı Olarak İncelenmesi

Sıcaklık değişiminin MeAB'nin hidrolizi tepkimesindeki katalitik etkisini inceleyebilmek amacıyla katalizör (3 mM) ve substrat (200 mM) derişimi çalışılan tüm sıcaklıklar için sabit tutularak 293 ile 308 K sıcaklık aralığında katalitik hidroliz tepkimeleri gerçekleştirildi. 3 mL (3 mM) Ru-Fe@PVP, 1 mL saf su ve mağnet tepkime kabı içerisine yerleştirildi. Tepkime sisteminin sıcaklığı 25 C°'ye (298 K) ayarlanarak termal denge için yaklaşık 15 dakika beklendi. Daha sonra Schlenk içerisine 1 mL saf su içerisinde çözünmüş olan MeAB (200 mM) eklendi. Tepkime kabı kapatıldıktan sonra 750 rpm hızında reaksiyon başlatıldı. Hidroliz sonucu açığa çıkan gazın büret içerisindeki suyu hareket ettirmesi periyodik olarak takip edilerek çıkan gaz hacmi zamana karşı not edildi. Elde edilen veriler kullanılarak gerekli grafikler oluşturuldu. Diğer sıcaklıklar (293 K, 303 K ve 308 K) için de sirkülatör istenilen sıcaklığa getirildikten sonra yukarıdaki süreç aynen uygulanarak her bir sıcaklık için katalitik hidroliz tepkimeleri gerçekleştirildi.

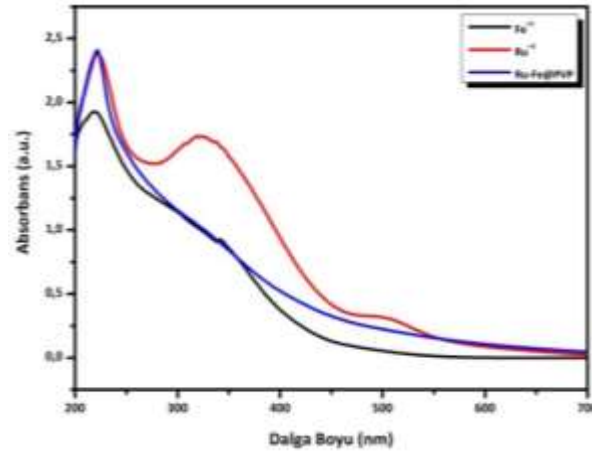
PVP ile Kararlaştırılmış Ru-Fe (0) Nanokümlerinin MeAB'nin Hidrolizi Tepkimesinde Tekrar Kullanılabilirliğinin İncelenmesi

3 mL (3 mM) Ru-Fe@PVP katalizörü ceketli Schlenk'e konulduktan sonra tepkime kabı içerisine mağnet ve 1 mL saf su konulup sirkülatör sıcaklığı 25 °C'ye (298 K) ayarlanarak katalitik tepkime kabına 1 mL saf su içerisinde çözünmüş olan 200 mM MeAB eklendi. Tepkime kabı kapatıldıktan sonra 750 rpm hızında tepkime başlatıldı. Hidroliz sonucu açığa çıkan gazın büret içerisindeki suyu hareket ettirmesi periyodik olarak takip edilerek çıkan gaz hacmi zamana karşı not edildi. Tepkime tamamen bittikten sonra 1mL su içerisinde 200 mM MeAB çözünerek tekrardan sisteme eklenerek açığa çıkan gazın büret içerisindeki suyu itmesi periyodik olarak takip edilerek gerekli veriler elde edildi. Bu işlemler, toplam katalitik çevrim sayısı 5 olacak şekilde tekrarlandı.

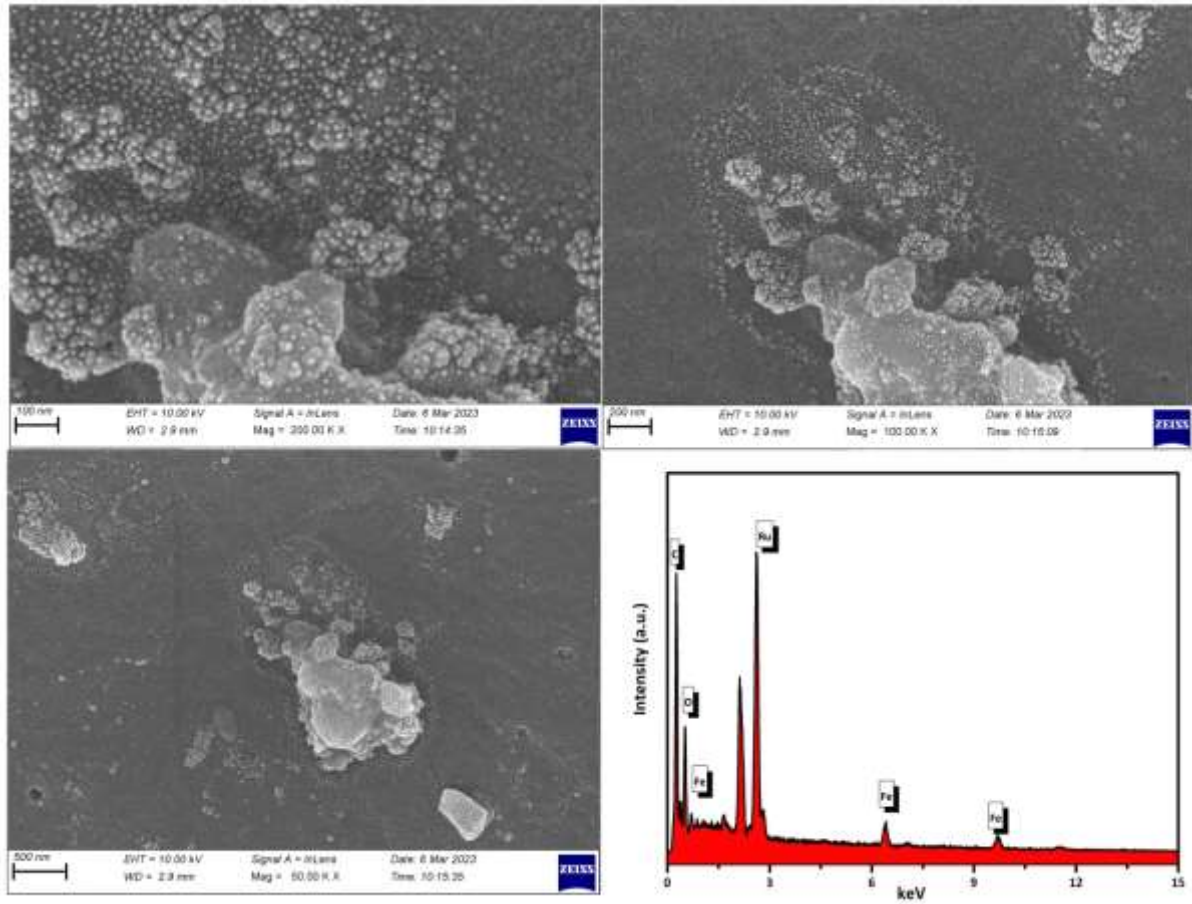
BULGULAR VE TARTIŞMA

Ru-Fe@PVP nanoparçacıkları, $\text{RuCl}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ve $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ metal tuzlarının, etanol-su karışımının kaynama sıcaklığında PVP varlığında bir alkol indirgeme yöntemiyle indirgenmesinden hazırlandı. PVP, kararlaştırıcı ve indirgeyici ajan olarak 2 saat reflakstan sonra, çözeltinin rengi kahverengimsi siyaha döndü, bu değişiklik Ru^{3+} ve Fe^{3+} iyonlarının iki metalli nanopartiküller oluşturmak üzere Ru(0) ve Fe(0)'a indirgendiği şeklinde yorumlanabilir. Tepkime sürecine ait UV-Vis elektronik absorpsiyon spektrumlarının izlenmesi, bu dönüşümü takip etmenin en iyi yoludur. Şekil 2'de $\text{RuCl}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ve $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ metal tuzlarının PVP tarafından indirgenmesi ve Ru-Fe nanoparçacıklarının oluşumu sırasındaki spektral değişim görülmektedir. Ru^{3+} ve Fe^{3+} iyonlarındaki d-d geçişlerinden kaynaklanan absorpsiyon bantları, Ru^{3+} ve Fe^{3+} metalleri PVP tarafından kararlaştırıldıktan sonra başka bir ifade ile Ru(0) ve Fe(0) oluşumundan sonra tamamen kaybolur. Bu değişim Ru^{3+} ve Fe^{3+} iyonlarının tamamen indirgendiğini göstermektedir.

Morfolojik olarak PVP ile kararlaştırılmış Ru-Fe katalizörünün incelenmesi amacıyla SEM ve SEM-EDX analizleri de yapılmış ve elde edilen görüntüler Şekil 3'de verilmiştir. Farklı çözünürlükte ve büyütme oranlarında alınan SEM görüntülerinden Ru-Fe metallerinin kararlaştırıcı malzemesi olan PVP'nin yüzeyine homojen olarak dağıldığı görülmektedir (Cetin ve ark., 2019).



Şekil 2. $\text{RuCl}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ve $\text{FeCl}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 'nun sulu çözeltileri ile Ru-Fe@PVP nanoparçacıklarının UV-Vis absorpsiyon spektrumları

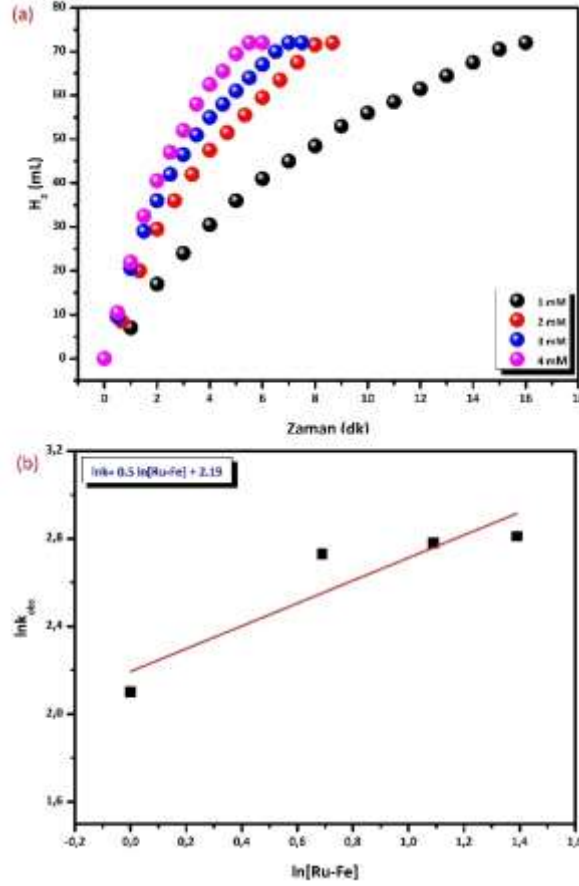


Şekil 3. Ru-Fe@PVP nanoparçacıklarına ait farklı nm'lerde alınmış SEM görüntüleri ve SEM-EDX analizi

Ayrıca SEM-EDX analizi sırasında yapılan haritalandırmada hem Ru-Fe metallerinin (Şekil 3) hem de destek malzemesinde bulunan C, O elementlerinin varlığı açıkça anlaşılmaktadır (Nishimura ve ark., 2016)

Ru-Fe@PVP nanokatalizörü ile katalizlenen MeAB'nin hidroliz tepkimesinde, tepkime hızına katalizör derişiminin etkisini incelemek için, MeAB derişimi (200 mM) sabit tutularak farklı derişimlerde Ru-Fe@PVP nanokatalizör kullanımıyla MeAB'nin hidroliz tepkimesi 298 K sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Şekil 4 (a)'da farklı derişimlerde Ru-Fe@PVP nanokatalizörü ([Ru-Fe] = 1 mM, 2 mM, 3 mM ve 4 mM) varlığında katalizlenen MeAB'nin hidroliz tepkimesinde açığa çıkan H_2 gazın

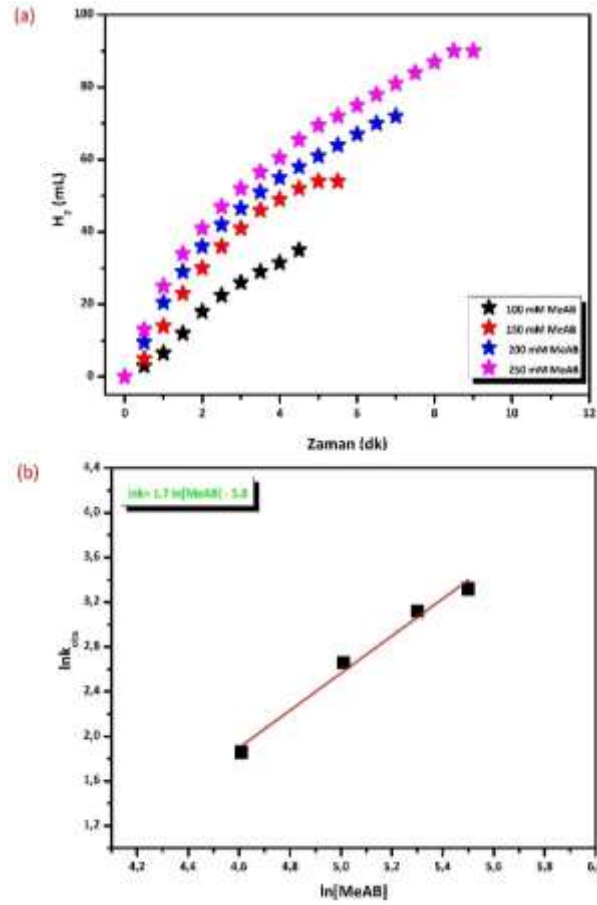
MeAB gaz hacmine karşı zaman grafiği verilmektedir. Şekil 4 (b)'de ise her bir nanokatalizör derişimi için başlangıç tepkime hızları (k) göz önüne alınarak oluşturulan $\ln [k] - \ln [\text{Ru-Fe}]$ grafiğinden $y = 0.5 x + 2.19$ doğrusal denklemi ve bu denkleme ilişkin grafik elde edilmiştir. Bu da hidroliz tepkimesinin katalizör derişimine göre yaklaşık 0.5 mertebeden ilerlediğini göstermektedir.



Şekil 4. Farklı derişimlerde Ru-Fe@PVP ile katalizlenen MeAB'nin hidroliz tepkimesinde (a) açığa çıkan gazın (H₂) gaz hacmine karşı zaman grafiği, (b) başlangıç hızlarının katalizör derişimine karşı logaritmik grafiği ($y = 0.5 x + 2.19$)

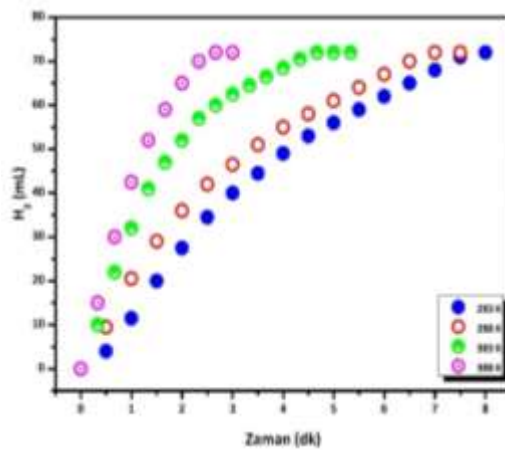
Ru-Fe@PVP ile katalizlenen MeAB'nin hidroliz tepkimesinde tepkime hızına substrat derişiminin etkisini incelemek amacıyla, katalizör derişimi (3 mL, 3 mM) sabit tutularak farklı derişimlerde MeAB kullanılarak katalitik hidroliz tepkimesi 298 K sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Şekil 5 (a)'da farklı derişimlerde ($[\text{MeAB}] = 100 \text{ mM}, 150 \text{ mM}, 200 \text{ mM}$ ve 250 mM) substrat kullanılarak katalizlenen MeAB'nin hidroliz tepkimesinde açığa çıkan H₂ gazının gaz hacmine karşı zaman grafiği verilmektedir. Şekil 5 (b)'de ise her bir substrat derişimi için başlangıç hızları göz önüne alınarak oluşturulan $\ln [k] - \ln [\text{MeAB}]$ grafiğinden $y = 1.7 x - 5.8$ doğrusal denklemi ve bu denkleme ilişkin grafik elde edilmiştir. Bu da hidroliz tepkimesinin MeAB derişimine göre 1.7 mertebeden ilerlediğini göstermektedir.

Ru-Fe@PVP nanokatalizörü varlığında MeAB'nin hidroliz tepkimesine sıcaklığın etkisini belirlemek ve tepkimeye ait aktivasyon enerjisi, aktivasyon entalpisi ve aktivasyon entropisini hesaplamak amacıyla farklı sıcaklıklarda katalitik hidroliz tepkimeleri gerçekleştirildi.



Şekil 5. Farklı derişimlerde MeAB kullanılarak Ru-Fe@PVP ile katalizlenen MeAB'nin hidroliz tepkimesinde (a) açığa çıkan gazın (H_2) gaz hacmine karşı zaman grafiği, (b) başlangıç hızlarının MeAB derişimine karşı logaritmik grafiği ($y = 1.7x - 5.8$)

Şekil 6'da farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen hidroliz tepkimesinde açığa çıkan H_2 gazının hacmine karşı zaman grafiği verilmektedir. Beklenildiđi gibi katalitik hidroliz tepkime hızının sıcaklıkla doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür (Karatat ve ark., 2020).



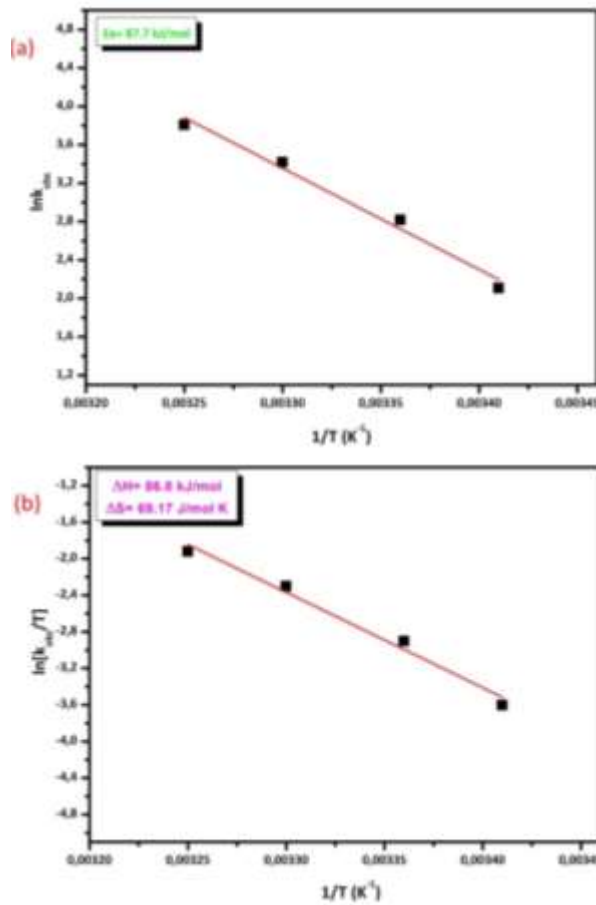
Şekil 6. Ru-Fe@PVP ile katalizlenen MeAB'nin farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen hidroliz tepkimesinde açığa çıkan gazın (H_2) gaz hacmine karşı zaman grafiği

Tepkime hızlarındaki bu değişimin Arrhenius ve Eyring denklemleri yardımıyla ilgili eğrilere (Arrhenius ve Eyring eğrileri) dönüştürülmesi sonucu sırasıyla aktivasyon enerjisi, aktivasyon entalpisi ve entropisi hesaplanmıştır.

$$k = Ae^{-\frac{E_a}{RT}} \quad \ln k = -\frac{E_a}{RT} + \ln A \quad (\text{Arrhenius denklemi})$$

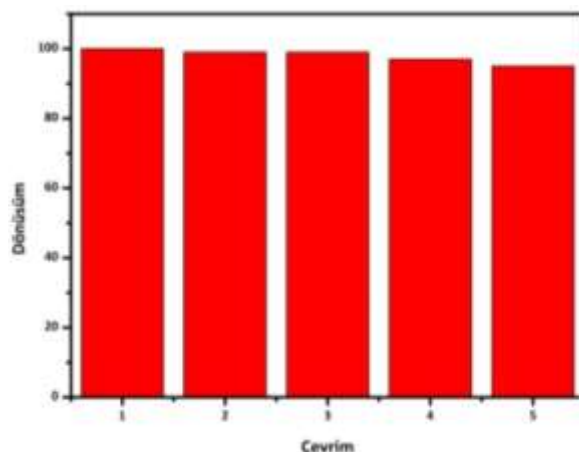
$$k = \frac{k_b T}{h} e^{\frac{\Delta S^\ddagger}{R}} e^{-\frac{\Delta H^\ddagger}{RT}} \quad \ln \frac{k}{T} = \ln \frac{k_b}{h} + \frac{\Delta S^\ddagger}{R} - \frac{\Delta H^\ddagger}{RT} \quad (\text{Eyring denklemi})$$

Şekil 7 (a) ve (b)'de verilen Arrhenius ve Eyring eğrilerinin eğimleri ve sapma değerleri yukarıda gösterilen eşitliklerde yerine konduğunda, Ru-Fe@PVP nanokatalizörü ile katalizlenen MeAB'nin hidroliz tepkimesinin aktivasyon enerjisi, $E_a = 87.7$ kJ/mol; aktivasyon entalpisi, $\Delta H^\ddagger = 86.8$ kJ/mol ve aktivasyon entropisi, $\Delta S^\ddagger = 69.17$ J/mol×K olarak hesaplanmıştır.



Şekil 7. Ru-Fe@PVP ile katalizlenen MeAB'nin hidroliz tepkimesine ilişkin (a) Arrhenius, (b) Eyring-Polanyi eğrileri

PVP ile kararlaştırılmış Ru-Fe (0) nanokümlerinin MeAB'nin hidrolizi tepkimesinde tekrar kullanılabilirliğinin incelenmesi sonucunda hazırlanan katalizörün 5 çevrim sonunda aktif bir katalizör olduğu ve dönüşümün 5. çevrim sonunda yüzde 94.5 olduğu tespit edilmiştir Şekil (8).(Cao ve ark.,2014)



Şekil 8. PVP ile kararlaştırılmış Ru-Fe (0) nanokümlerinin MeAB'ın hidrolizi tepkimesinde tekrar kullanılabilirlik grafiği

SONUÇ

Tablo 1: MeAB'nin hidrolizi için kullanılan katalizörler ve TOF değerleri

Katalizör	TOF	Tepkime türü	Referans
Rh/graphene	146.0	MeAB Hidroliz	(Shen ve ark., 2015)
Co-Al ₂ O ₃ NPs	5.0	MeAB Hidroliz	(Baguç ve ark., 2019)
Ru-Rh@PVP NPs	206.2	MeAB Hidroliz	(Taçyıldız ve ark., 2019)
Cu/nano-MIL-101	4.28	MeAB Hidroliz	(Baguç ve ark., 2018)
Ru/MCM-41	47.60	MeAB Hidroliz	(Wen ve ark., 2015)
Rh/nano-ZrO ₂	17.52	MeAB Metanoliz	(Kanat ve ark., 2015)
Cu@Co core-shell NPs	8.4	MeAB Hidroliz	(Du ve ark., 2013)
Bu çalışma	38.4	MeAB Hidroliz	

MeAB'nin hidrolizi için katalizör olarak Ru-Fe@PVP nanoparçacıklarının hazırlanması, karakterizasyonu ve kullanılmasına ilişkin çalışma, aşağıdaki sonuçlara ve öngörülere yol açmıştır:

Ru-Fe@PVP nanoparçacıkları, karşılık gelen rutenyum ve demir tuzlarının bir alkol indirgeme yöntemiyle birlikte indirgenmesinden kolayca hazırlanmıştır. Elde edilen Ru-Fe@PVP nanoparçacıkları Tablo 1'de verilen diğer katalizör sistemleri ile karşılaştırılmış ve MeAB'nin hidrolizinden hidrojen üretimi için verimli, ekonomik ve çevreci bir katalizör olarak rapor edilmiştir. MeAB'nin hidrolizi için ortalama TOF (38.4 mol H₂ (mol cat 1/min) olarak bulunmuş, katalitik hidrolizi için aktivasyon enerjisi 87.7 ± 2 kJ/mol olarak hesaplanmıştır. Termodinamik parametrelerin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışma ve hesaplamalarla MeAB'nin Ru-Fe@PVP nanoparçacıkları varlığında katalitik hidrolizi için entalpi ve entropi değerleri sırasıyla $\Delta H^\ddagger=86.8$ kJ/mol, $\Delta S^\ddagger= 69.17$ J/mol K olarak hesaplanmıştır.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

Abay B., Rakap M. (2020). Eco-Friendly Synthesis of Carboxymethyl Cellulose-Stabilized Ru_{0.57}Co_{0.43} Nanoclusters as Extremely Efficient and Durable Catalysts for Hydrolytic Dehydrogenation of Methylamine Borane. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 8 (43), 16197-16204.

- Baguc, I. B., Ertas, I. E., Yurderi, M., Bulut, A., Zahmakiran, M., Kaya, M. (2018). Nanocrystalline metal organic framework (MIL-101) stabilized copper Nanoparticles: Highly efficient nanocatalyst for the hydrolytic dehydrogenation of methylamine borane. *Inorganica Chimica Acta*, 483, 431-439.
- Baguc, I. B., Yurderi, M., Bulut, A., Celebi, M., Kanberoglu, G. S., Zahmakiran, M., Kaya M., Aydemir M., Durap F., Baysal, A. (2019). Cobalt nanoparticles supported on alumina nanofibers (Co/Al₂O₃): Cost effective catalytic system for the hydrolysis of methylamine borane. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(53), 28441-28450.
- Barapati, S., Mucherla R., Gade R., Somaiah, P.V. (2022). Photodegradation of Rhodamine B and Crystal Violet using Al-doped Co–Mn nanoferrites and dielectric study, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 33, 25139-25152.
- Chu H., Li N., Qiu X., Wang Y., Qiu S., Zeng J. L., Zou Y., Xu F., Su L. (2019). Poly(N-vinyl-2-pyrrolidone)-stabilized ruthenium supported on bamboo leaf-derived porous carbon for NH₃BH₃ hydrolysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44, 29255-29262.
- Cao, N., Su, J., Luo, W., & Cheng, G. (2014). Hydrolytic dehydrogenation of ammonia borane and methylamine borane catalyzed by graphene supported Ru@Ni core–shell nanoparticles. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(1), 426-435.
- Cetin A., Korkmaz A., Erdoğan E., Kösemen A. (2019). A study on synthesis, optical properties and surface morphological of novel conjugated oligo-pyrazole films. *Materials Chemistry and Physics*, 222, 37-44.
- Çelebi, M., Rüzgar, A., Karataş, Y., & Gülcan, M. (2022). Manganese oxide octahedral molecular sieves stabilized Rh nanoparticles for the hydrogen production from the ethylenediamine-bisborane hydrolysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(37), 16494-16506.
- Dayan, O., Kilicer, A., Bulut, A., Ceylan, E., Tayfun, U., Uzun, O., Zahmakiran M., Yurderi, M. (2022). Pumice-Supported Ruthenium nanoparticles as highly effective and recyclable catalyst in the hydrolysis of methylamine borane. *International Journal of Hydrogen Energy*.
- Du, Y., Cao, N., Yang, L., Luo, W., & Cheng, G. (2013). One-step synthesis of magnetically recyclable rGO supported Cu@Co core–shell nanoparticles: highly efficient catalysts for hydrolytic dehydrogenation of ammonia borane and methylamine borane. *New Journal of Chemistry*, 37(10), 3035-3042.
- Dutta, S., Gupta, B., Srivastava, S.K., Gupta, A.K. (2021). Recent advances on the removal of dyes from wastewater using various adsorbents: a critical review, *Materials Advances*, 2, 4497-4531.
- Fahmy H., Abo-Shosha M, Ibrahim N. A, (2009). Finishing of cotton fabrics with poly (N-vinyl-2-pyrrolidone) to improve their performance and antibacterial properties. *Carbohydrate Polymers*, 77(4), 845– 850.
- Fahmy H, Okda H., Amr A. (2022). Preparation of poly (N-vinyl-2-pyrrolidone)/ammonium persulfate hydrogel embedded silver nanoparticles. *Egyptian Journal of Chemistry*, 65(9), 37-45.
- Gülcan M., Karatas Y. (2017). Synthesized polyvidone-stabilized Rh(0) nanoparticles catalyzed the hydrolytic dehydrogenation of methylamine-borane in ambient conditions. *New Journal Of Chemistry*, 41(20), 11839-11845.
- Hafez H. S., Ali E. H., Abdelmottaleb M.S.A. (2005). Photocatalytic efficiency of titanium dioxide immobilized on PVP/AAC hydrogel membranes: a comparative study for safe disposal of wastewater of Remazol Red RB-133 textile dye. *International Journal of Photoenergy*, 7 (4), 181-185.

- Hanley E. S., Deane J. P., Gallachóir B. P. O. (2018). The role of hydrogen in low carbon energy futures – a review of existing perspectives. *Renew Sustain Energy Rev*, 82, 3027-3045
- Kanat, M., Karataş, Y., Gülcan, M., Anıl, B. (2018). Preparation and detailed characterization of zirconia nanopowder supported rhodium (0) nanoparticles for hydrogen production from the methanolysis of methylamine-borane in room conditions. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(50), 22548-22556.
- Karatas Y., Acidereli H., Gulcan M., Sen F. (2020). A novel highly active and reusable carbon based platinum-ruthenium nanocatalyst for dimethylamine-borane dehydrogenation in water at room conditions. *Scientific Reports*, 10(1), 1-10.
- Karatas Y., Cetin T., Akkus I. N., Akinay Y., Gülcan M. (2022). Rh (0) nanoparticles impregnated on two-dimensional transition metal carbides, MXene, as an effective nanocatalyst for ammonia-borane hydrolysis. *International Journal of Energy Research*, 46(8), 11411-11423
- Li, Q., Lin, X., Luo, Q., Chen, Y. A., Wang, J., Jiang, B., & Pan, F. (2022). Kinetics of the hydrogen absorption and desorption processes of hydrogen storage alloys: A review. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 29, 32-48.
- Li S. F., Qi X. X., Huang B. B., 2016. Synthesis of 7-hydroxy-4-methylcoumarin via the Pechmann reaction with PVP-supported phosphotungstic acid catalyst. *Catalysis Today*, 276, 139-144.
- Nasari M., Semnani D., Hadjianfar M., Amanpour S. (2020). Poly(e-Caprolactone)/Poly (N-Vinyl-2-Pyrrolidone) Core-Shell Nanofibers Loaded by Multi-Walled Carbon Nanotubes and 5-Fluorouracil: An Anticancer Drug Delivery System. *J. Mater.Sci.*, 55, 10185–10201.
- Nikolic N., Spasojevic J., Radosavljevic A., Milosevic M., Barudzija T., Rakocevic L., Kacarevic-Popovic Z. (2023). Influence of poly (vinyl alcohol)/poly(N-vinyl-2-pyrrolidone) polymer matrix composition on the bonding environment and characteristics of Ag nanoparticles produced by gamma irradiation. *Radiation Physics and Chemistry*, 202, 110564.
- Nishimura S., Mizuhori K., Ebitani K. (2016). Reductive amination of furfural toward furfurylamine with aqueous ammonia under hydrogen over Ru-supported catalyst. *Research on Chemical Intermediates*, 42, 19-30.
- Rakap, M. (2014). Hydrogen generation from hydrolysis of ammonia borane in the presence of highly efficient poly (N-vinyl-2-pyrrolidone)-protected platinum-ruthenium nanoparticles. *Applied Catalysis A: General*, 478, 15-20.
- Sarkar A., Mukherjee T., Kapoor S. (2008). PVP-stabilized copper nanoparticles: a reusable catalyst for “click” reaction between terminal alkynes and azides in nonaqueous solvents. *J Phys Chem C*, 112 (9), 3334-3340.
- Schrotenboer, A. H., Veenstra, A. A., uit het Broek, M. A., Ursavas, E. (2022). A Green Hydrogen Energy System: Optimal control strategies for integrated hydrogen storage and power generation with wind energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 168, 112744.
- Sharma, G., Khosla, A., Kumar, A., Kaushal, N., Sharma, S., Naushad, M., Vo, D.V.N., Igbal, J., Stadler, F.J. (2022). A comprehensive review on the removal of noxious pollutants using carrageenan based advanced adsorbents. *Chemosphere*, 289, 133100.
- Shen, J., Yang, L., Hu, K., Luo, W., & Cheng, G. (2015). Rh nanoparticles supported on graphene as efficient catalyst for hydrolytic dehydrogenation of amine boranes for chemical hydrogen storage. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(2), 1062-1070.

- Sogut, E. G., Acidereli, H., Kuyuldar, E., Karatas, Y., Gulcan, M., Sen, F. (2019). Single-walled carbon nanotube supported Pt-Ru bimetallic superb nanocatalyst for the hydrogen generation from the methanolysis of methylamine-borane at mild conditions. *Scientific Reports*, 9(1), 1-9.
- Prabu S., Vinu M., Chiang K. Y. (2022). Ultrafine Ru nanoparticles in shape control hollow octahedron MOF derived cobalt oxide@carbon as high-efficiency catalysts for hydrolysis of ammonia borane. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 139, 104511.
- Taçyıldız, S., Demirkan, B., Karataş, Y., Gulcan, M., Sen, F. (2019). Monodisperse RuRh bimetallic nanocatalyst as highly efficient catalysts for hydrogen generation from hydrolytic dehydrogenation of methylamine-borane. *Journal of Molecular Liquids*, 285, 1-8.
- Tarhan, C., Çil, M. A. (2021). A study on hydrogen, the clean energy of the future: Hydrogen storage methods. *Journal of Energy Storage*, 40, 102676.
- Umegaki T., Yan J. M., Zhang X. B., Shioyama H., Kuriyama N., Xu Q. (2009). Preparation and catalysis of poly(N-vinyl-2-pyrrolidone) (PVP) stabilized nickel catalyst for hydrolytic dehydrogenation of ammonia borane. *International Journal of Hydrogen Energy* 34(9), 3816-3822.
- Qiu S. J., Chu H. L., Zou Y. J., Xiang C. L., Xu F., Sun L. X. (2017). Light metal borohydrides amides combined hydrogen storage systems: composition, structure and properties. *J Mater Chem A*, 5 (48), 25112-25130.
- Wei Q., Liu J., Qiu S., Xia Y., Zou Y., Xu F., Wen X., Huang P., Sun L., Chu H. (2022). Hydrogen Evolution from Ammonia-Borane Hydrolysis Catalyzed by Poly(N-Vinyl-2-Pyrrolidone)-Stabilized Ruthenium-Based Nanoclusters *Catalysts. Adv. Sustainable Syst.* 2200464.
- Wen, L., Zheng, Z., Luo, W., Cai, P., & Cheng, G. Z. (2015). Ruthenium deposited on MCM-41 as efficient catalyst for hydrolytic dehydrogenation of ammonia borane and methylamine borane. *Chinese Chemical Letters*, 26(11), 1345-1350.
- Wen Z., Fu Q., Wu J., Fan G. (2020). Ultrafine Pd Nanoparticles Supported on Soft Nitriding Porous Carbon for Hydrogen Production from Hydrolytic Dehydrogenation of Dimethyl Amine-Borane. *Nanomaterials*.10(8), 1612.
- Yang, L., Luo, W., & Cheng, G. (2013). Graphene-supported Ag-based core-shell nanoparticles for hydrogen generation in hydrolysis of ammonia borane and methylamine borane. *ACS applied materials & interfaces*, 5(16), 8231-8240.
- Zhan, Y., Guan, X., Ren, E., Lin, S., Lan, J. (2019). Fabrication of zeolitic imidazolate framework-8 functional polyacrylonitrile nanofibrous mats for dye removal. *Journal of Polymer Research* 26,1-11.
- Zhou, J., Meng, X., Yan, J., Liu, X. (2021). Co/MoS₂ nanocomposite catalyzed H₂ evolution upon dimethylamine-borane hydrolysis and in situ tandem reaction. *Inorganic Chemistry Communications*, 130, 108691.

Atf İçin: Yıldız, O. ve Sel, Ç. (2023). Türkiye’de Bakliyat Üretimi Üzerine Tarımsal Planlama İçin Bir Matematiksel Model Önerisi. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 1155-1164.

To Cite: Yıldız, O. & Sel, Ç. (2023). A mathematical Model Proposal for Agricultural Planning on Pulses Production in Turkey. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 1155-1164.

Türkiye’de Bakliyat Üretimi Üzerine Tarımsal Planlama İçin Bir Matematiksel Model Önerisi

Osman YILDIZ¹, Çağrı SEL^{2*}

Öne Çıkanlar:

- Türkiye’de bakliyat üretimi üzerine bir tarımsal planlama yapmak
- Doğrusal programlama modeli ile verimlilik ve iktisadilik analizi yapmak
- Bakliyat üretimi için ayrılan tarım alanlarının artırılması ile ihtiyacı karşılamak

ÖZET:

Üretim planlaması, üretim kaynaklarının ekonomik kullanımı ile verimliliği artırır. Tarımsal ürünlerin üretim miktarları ekim alanlarına göre belirlenmekte ve tarımsal planlama ile üretim verimliliği öngörülebilmektedir. Buradaki problem ekonomik olarak karlı ve ülke ihtiyacını en yüksek düzeyde karşılayan yıllık tarımsal üretim planını rasyonel olarak yapmaktır. Bu çalışmada, Türkiye’de bakliyat üretimi üzerine bir tarımsal planlama yapmak amacıyla doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Model ile Kuru fasulye, Nohut, Mercimek ürünlerinin 2019 yılına ait üretim ve maliyet verileri kullanılarak ulusal ölçekte verimlilik ve iktisadilik analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler neticesinde, bakliyat üretimi için ayrılan tarım alanlarının %6.14 artırılarak ile 1.24 oranında bir iktisadilik ile ülke ihtiyaçlarının %100 yeterlilik düzeyinde karşılanacağı sonucuna varılmıştır. Önümüzdeki yıllarda gerçekleştirilecek tarımsal faaliyetlerin ve bu faaliyetleri düzenleyen ulusal politikaların planlanmasında ortaya koyulan bu karar destek modelinden istifade edilebilecektir.

Anahtar Kelimeler:

- Tarımsal üretim planlama
- Doğrusal programlama
- Verimlilik ve iktisadilik

A Mathematical Model Proposal for Agricultural Planning on Pulses Production in Turkey

Highlights:

- To make an agricultural plan on pulses production in Turkey.
- To analyze efficiency and economy using a linear programming model
- To meet the need by increasing the agricultural areas allocated for pulses production

ABSTRACT:

Production planning increases productivity with the economical use of production resources. Production quantities of agricultural products are subject to the plantation area, and agricultural planning can foresee production efficiency. Our problem is rationally making the annual agricultural production plan that is economically profitable and meets the national need at the highest level. Our study introduces a linear programming model for agricultural planning on pulses production in Turkey. Productivity and economic analysis are carried out nationally by the production and cost data for 2019 of Dry Beans, Chickpeas, and Lentils. The agricultural lands allocated for pulses production should increase by 6.14% to meet the country's needs at a 100% adequacy level with an economy rate of 1.24. Our decision support model is useful in planning agricultural activities and national policies regulating the activities for the coming years.

Keywords:

- Agricultural production planning
- Linear programming
- Productivity and economics

¹ Osman YILDIZ (Orcid ID: 0000-0002-8933-7990), T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 06800, Ankara, Türkiye

² Çağrı SEL (Orcid ID: 0000-0002-8657-2303), Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Müh. Bölümü, 78050, Karabük, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Çağrı SEL, e-mail: cagrisel@karabuk.edu.tr.

GİRİŞ

Tarım temel olarak bitkisel ve hayvansal üretim faaliyetleri olarak özetlenebilmektedir. Bitkisel üretim faaliyetlerini yerine getirmek için tohum ve gübre birer girdi olarak kullanılırken toprak, su ve güneş gibi doğal kaynaklardan da istifade edilmektedir. 2019 yılı Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK, 2019) verilerine göre ülkemiz yüz ölçümünün yalnızca %48’i tarım alanı olarak kullanılmakta ve bunun da %61’i işlenen tarım alanı ve uzun ömürlü bitkiler, %39’u ise çayır ve mera alanıdır (bknz. Tarım ve Orman Alanları). İşlenen tarım alanının ise sadece %3.9’u kuru fasulye, nohut ve mercimek alanıdır. Kuru fasulye üretim miktarımız 225 bin ton, nohut üretim miktarımız 630 bin ton ve mercimek üretim miktarımız ise 354 bin tondur (bknz. Bitkisel Üretim İstatistikleri). Yeterlilik derecemiz 2018-2019 pazarlama yılına göre nohut %114, kuru fasulye %72, kırmızı mercimek %75 ve yeşil mercimek ise %87’dir (bknz. Ürün Denge Tabloları). Yüzde yüz yeterli olmadığımız için kuru fasulye ve mercimek ithal eden bir ülkeyiz. Bu açıdan tarımsal araziler ülke ekonomisi ve üretim faktörleri açısından bir kıt kaynaktır. Bunun yanı sıra, büyük ölçekli endüstriyel faaliyetler neticesinde zararlı sera gazlarının doğaya salınımı, aşırı ve gereksiz tarım ilacı ve gübre kullanımı, küresel ısınma sebebiyle dünya çapında bir iklim değişikliği meydana gelmektedir. Küresel ısınma, tarımsal faaliyetlerde kullanılacak su kaynaklarının azalmasına neden olmaktadır. Zamansız, aşırı yağışlar ürün miktarını ve verimini olumsuz etkilemektedir. Güneşlenme süreleri gibi iklim şartlarına bağlı parametreler üzerinde belirsizlik oluşturmaktadır. Dolayısıyla ülke ekonomisi ve gıda arz güvenliğinin sağlanması, tarımsal üretim ve kalkınmanın sürdürülebilmesi için üretim faaliyetleri, ihtiyacı maksimum seviyede karşılayacak şekilde verimlilik esasına göre planlanabilir.

Verimlilik en genel anlamıyla mevcut girdiler ve kullanılan doğal kaynaklarla ideal üretimin gerçekleştirilmesi olarak tarif edilebilir. Üretim sürecinde kullanılan girdiler ile bu sürecin sonucunda elde edilen çıktılar arasındaki ilişkiyi ifade edecek şekilde çıktı ve girdi oranı ile temsil edilmektedir. Verimlilik hesabı ile kg makine-1, kg işçi-1, kg/da vb. miktara bağlı bir çıkarım yapmak mümkün olacaktır. Ancak, bir değer olarak para ile ifade edilen iktisadilik ölçülecekse üretim satış tutarı ve üretim maliyet tutarı oranından hareketle bir değerlendirme yapılabilir. Her bir ürüne ait birim fiyatın ve maliyetin hızlı bir şekilde değişkenlik gösterdiği günümüz ekonomisinde, birçok tarımsal ürünün bir arada değerlendirileceği ulusal ölçekte bir planlama yapılırken üretim miktarını ve getiriye enbüyükleyecek matematiksel bir yöntem kullanılabilir.

Doğrusal programlama yöntemi bu matematiksel optimizasyon tekniklerindedir. Gereksinimlerin doğrusal ilişkilerle temsil edildiği bir matematiksel modelde maksimum kar, maksimum üretim miktarı veya minimum maliyet şeklinde formüle edilecek bir amaç fonksiyonunun en iyi sonucunu elde etmek için kullanılan bir yöntemdir. Doğrusal programlama modelleri ile büyük ve karmaşık işlem gerektiren problemlerin optimal çözümü garanti etmektedir. Bu açıdan çalışmada, doğrusal programlama yöntemi kullanılarak ulusal ölçekte tarımsal planlamanın yapılabileceği bir karar destek modeli geliştirilmiştir. 2019 yılına ait üretim ve maliyet verileri kullanılarak Türkiye’de bakliyat (Kuru fasulye, Nohut, Mercimek) üretimi üzerine verimlilik ve iktisadilik analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma, önümüzdeki yıllarda gerçekleştirilecek tarımsal faaliyetlerin planlanabilmesi ve tarımsal faaliyetleri düzenleyen ulusal politikalara yön vermesi açısından sektöre ve literatüre katkı sağlayacaktır.

Giriş bölümünün devamında ulusal ve uluslararası literatürde yer alan güncel araştırmaların incelendiği literatür taraması alt bölümü yer almaktadır.

Literatür Araştırması

Bu bölümde, çalışmanın literatüre katkısını açıklığa kavuşturmak için 2010 yılı ile 2022 yılları arasında yapılan; (i) ulusal araştırma makaleleri “Dergipark Akademik” platformu aracılığıyla “tarım” ve “doğrusal programlama” anahtar kelimeleri ile, (ii) SCI ve SCI-Expanded bilimsel alıntı indekslerinde yer alan uluslararası araştırma makaleleri ise “Web of Science” platformu aracılığıyla “tarımsal üretim planlama (agricultural production planning)” anahtar kelimesi ile taranmıştır. Elde edilen ulusal ve uluslararası güncel makaleler incelenmiştir.

Tarımsal üretim planlama alandaki öncü araştırmalar peşpeşe ekilebilecek ürünlerin planlanması ve ürün ardıllığı konuları üzerine gerçekleştirilmiştir. 2000’li yılların başında, Haneveld ve Stegemen (2005) bu konuda genel kapsamlı bir doğrusal programlama modeli önermiştir ve Janová (2014) ise yeni ardıllık kısıtları ortaya koymuştur. Ardından, literatürde fiyat avantajı sağlamak (Özer ve Özçelik, 2010), işlenmiş ürün açısından üretim miktarını ve karlılığı artırmak (Oruç ve Gülşık, 2013), arazi kullanım planlaması (Mishra ve ark., 2014; Zhang ve ark., 2019; Rajakal ve ark., 2021), kullanılacak uygun makine ekipmanlarını (Çiçek ve Sümer, 2016), hayvan türlerini ve yaşlarını belirlemek (Kara ve Eroğlu, 2018), ekonomik faktörlerin yanı sıra çevresel faktörleri dikkate almak (Aydın Eryılmaz ve Kılıç, 2018; Bournaris ve ark., 2015; Ermoliev ve ark., 2022; Torğul ve ark., 2021) gibi çeşitli planlama konuları da ele alınmıştır.

Ancak, alandaki çalışmalar yaygın olarak belirli coğrafi bölgelerde üretilebilecek ürünlerin ideal üretim desenini belirlemek üzerine gerçekleştirilmiştir (Cardín-Petrosa ve Alvarez-López, 2012; Cid-Garcia ve ark. (2014), Güngör, 2018; Kara ve Kızıloğlu, 2014; Türker 2021; Uysal ve Cinemre, 2013). Bu çalışmalarda öncelikle bölgesel kalkınmanın sağlanması ve işletme karlarının en büyüklenmesi amaç edinilmektedir.

Uysal ve Cinemre (2013) Samsun ilinin belirli bir bölgesindeki işletmelerinin tarımsal faaliyetlerini planlamak ve ideal üretim desenini tespit etmek için bir doğrusal programlama modeli geliştirmiştir. Modelin çözümü neticesinde buğday, yulaf, soya ve fındık gibi ürünlerin yetiştirilmesi planlanan ideal miktarı, bu miktara ilişkin arazi ihtiyacı ve gelir gider dengesi belirlenmiştir. Çalışmamızda, bu araştırma ulusal ölçekte bakliyat üretimini ele alacak şekilde genişletilmiştir. Farklı olarak, girdilerinin çıktıya dönüşüm oranı olarak ifade edebileceğimiz verimlilik ölçütünü de dikkate alan matematiksel denklemler önerilmiştir. Bu matematiksel denklemler ülke ihtiyaçlarını karşılamak üzere çeşitli asgari yeterlilik düzeylerinde analizler gerçekleştirmeyi ve farklı düzeylerde üretim yapmanın iktisadilik açısından incelenmesini mümkün kılmaktadır.

Ulusal literatürde yalnızca Adana, Edirne, Erzurum ve Samsun gibi belirli bölgelere ilişkin sonuçların değerlendirilmesi bir eksikliktir. Henüz kuru fasulye, nohut ve bakliyat gibi ülke ekonomisi açısından kıymetli bakliyat ürünleri ülke genelinde ele alınmamıştır. Çalışmamızda, bakliyat ürünlerine odaklanarak ulusal ölçekte bir üretim planı yapılmaktadır. Başabaş analizi, faiz ve net bugünkü değer hesabı, yatırım analizleri, iç verim ya da karlılık oranı gibi mühendislik ekonomisi teknikleri kullanılarak karın veya faydanın enbüyüklenmesi diğer alanlarda olduğu gibi (örneğin, Ballı ve Sel, 2022; Imasiku ve Thomas, 2020) tarımsal faaliyet kapsamında da kullanılmaktadır (Ghazali ve Suhaimi, 2023). Çalışmamız, verimlilik katsayılarını dikkate alan, ekim alanı ve asgari yeterlilik düzeyi kısıtlarını karşılayan, net gelir hesabı ile iktisadilik çıkarımları yapmaya imkân tanıyan bir matematiksel model önerisi ile iktisadiliğin bu geleneksel tekniklerle değerlendirilmesinin ötesinde bir optimizasyon problemi olarak da ele alınabileceğini göstermektedir.

Çalışmanın devamında; ikinci bölümde doğrusal programlama modeline ilişkin matematiksel denklemler sunulmuştur. Üçüncü bölümde 2019 yılına ait üretim verileri üzerinden gerçekleştirilen

sayısal analizler sunulmuştur. Dördüncü ve son bölümde ise elde edilen sonuçlar tartışılmıştır ve gelecek çalışmalardan bahsedilmiştir.

MATERYAL VE METOT

Kuru fasulye, nohut, kırmızı mercimek ve yeşil mercimek olmak üzere ele alınan $i \in I = \{0,1, \dots, |I|\}$ bakliyat ürünlerinin her biri için toplam üretim değerini oluşturan P_i birim fiyatı, B_i yan ürün geliri, C_i üretim maliyetleri bilinmektedir.

Çizelge 2. Matematiksel Modelde Kullanılan Semboller ve Kısaltmalar

İndisler ve parametreler	
i	Ürünler, $i \in I = \{1,2, \dots, I \}$
P_i	i ürününün fiyatı (₺ /kg)
B_i	i ürününden elde edilen yan ürün geliri (₺ /da)
C_i	i ürününe ilişkin üretim maliyetleri (₺ /da)
μ_i	i ürününün verimi (kg/da)
ϑ	Mevcut bakliyat ekili alan (da)
s_i	i ürününün yeterlilik derecesi (%)
S_i	i ürününün s_i 'ye karşılık yeterlilik seviyesi (kg)
Karar değişkenleri	
x_i	i ürününün üretim miktarı (kg)
y_i	i ürününün üretimi için ekilen alan (da)
Z	Net gelir (₺)
Z'	Toplam üretim miktarı (kg)

i bakliyat ürününden dönüm başına μ_i kadar mahsul alınmaktadır. Türkiye genelinde bakliyat ürünlerini ekimi için mevcut alan ϑ dekadır. Ülke ekonomisi ve toplumsal ihtiyaçlar açısından s_i yeterlilik derecesine ulaşmak için hasat edilmesi gereken i ürününün miktarı S_i ile temsil edilmektedir. Amaç, elde edilecek net gelir Z fonksiyonunu enbüyükeleyecek x_i üretim miktarının ve y_i ekilecek alanın tayin edilmesidir. Matematiksel modelde kullanılan semboller ve kısaltmalar Çizelge 2’de özetlenmektedir.

$$\text{Enbüyükle } Z = (\text{Toplam üretim değeri} - \text{Toplam üretim maliyetleri}) \quad (1)$$

$$\text{Toplam üretim değeri} = \sum_i (x_i P_i + y_i B_i) \quad (2)$$

$$\text{Toplam üretim maliyetleri} = \sum_i y_i C_i \quad (3)$$

Kısıtlar;

$$x_i = \mu_i y_i \quad \forall i \in I \quad (4)$$

$$\sum_i y_i \leq \vartheta \quad (5)$$

$$x_i \geq S_i \quad \forall i \in I \quad (6)$$

$$x_i \geq 0, y_i \geq 0 \quad \forall i \in I \quad (7)$$

Eşitlik 1. elde edilecek net geliri ifade eden amaç fonksiyonudur. Burada toplam üretim değeri, üretim miktarı ile satış fiyatının çarpımından elde edilen toplam satış gelirine ekilen alan ile dönüm başına yan ürün gelirinin çarpımından elde edilen toplam yan ürün geliri eklenerek hesaplanmaktadır (Eşitlik 2.). Toplam üretim maliyetleri ise dönüm başına üretim maliyetlerinin ekilen alanla çarpımından elde edilmektedir (Eşitlik 3.). Eşitlik 4. üretim miktarının ekilen alan ve verim ile orantılı olmasını sağlamaktadır. Eşitlik 5. bakliyat üretimi için ekim alanını sınırlandırmaktadır. Eşitlik 6. her ürünün asgari yeterlilik seviyesini karşılama garantisi sağlamaktadır. Eşitlik 7. ise karar değişkenlerine ilişkin tanımlama kısıtlarıdır ve değişkenlerin sıfırdan büyük olma durumlarını ifade etmektedir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı’nın bilgi merkezi ve Türkiye İstatistik Kurumu vasıtasıyla özet olarak yayımlanan 2019 yılına ait bitkisel üretim ve maliyet verileri Çizelge 3-6’da sunulmuştur. Çizelgelerde sunulan ham veriler ile birim ekili alana karşılık gelen üretim değeri, üretim maliyetleri

ve net gelir göstergeleri üzerine hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

Bu hesaplamalarda kuru fasulyenin yüksek değişken maliyetlerine karşın birim fiyatı sebebiyle yüksek gelir getiren ürünlerden biri olduğu gözlenmektedir. Diğer bakliyat kalemleri ise yakın üretim değerlerine sahiptir (bkz. Çizelge 3). Ele alınan bakliyat ürünlerine ilişkin değişken ve sabit maliyetler Çizelge 4’te sunulmuştur. Çizelge 5’te üretim değeri ve toplam üretim maliyetleri farkından net gelir hesaplanmıştır. En fazla gelir getiren bakliyat ürünleri sırasıyla kuru fasulye, yeşil mercimek, kırmızı mercimek ve nohut şeklindedir.

Çizelge 3. Bakliyat Ürünlerinin Birim Fiyatları ve Dönüm Başına Üretim Değerleri

Veri	Kuru Fasulye	Nohut	Kırmızı Mercimek	Yeşil Mercimek
Verim (kg/da) (μ_i)	252.98	121.02	127.69	110.00
Fiyat (₺ /kg) (P_i)	6.42	3.41	2.35	3.44
Yan ürün geliri (₺ /da) (B_i)	68.91	16.70	108.14	34.07
Üretim değeri (₺ /da) *	1 693.04	429.38	408.21	412.47

* Bakliyat ürünlerinin 1 da ekili alana karşılık gelen üretim değeri

“Üretim değeri = Verim * Fiyat + Yan ürün geliri” formülü ile elde edilmiştir.

Çizelge 4. Bakliyat Ürünlerinin Dönüm Başına Üretim Maliyetleri

Veri	Kuru Fasulye	Nohut	Kırmızı Mercimek	Yeşil Mercimek
Sabit maliyetler (₺ /da)	192.48	72.76	110.14	75.14
Değişken maliyetler (₺ /da)	1 006.94	313.27	222.46	244.97
Üretim maliyetleri (₺ /da) (C_i) *	1 199.42	386.03	332.60	320.11

* Bakliyat ürünlerinin 1 da ekili alana karşılık gelen üretim maliyetleri

“Üretim maliyetleri = Sabit maliyetler + Değişken maliyetler” formülü ile elde edilmiştir.

Çizelge 5. Bakliyat Ürünlerinden Dönüm Başına Elde Edilen Net Gelir

Veri	Kuru Fasulye	Nohut	Kırmızı Mercimek	Yeşil Mercimek
Üretim değeri (₺ /da)	1 693.04	429.38	408.21	412.47
Üretim maliyetleri (₺ /da)	1 199.42	386.03	332.6	320.11
Net gelir (₺) (Z) *	493.62	43.35	75.61	92.36

* Bakliyat ürünlerinden 1 da ekili alana karşılık elde edilen net gelir

“Net gelir = Üretim değeri – Üretim maliyetleri” formülü ile elde edilmiştir.

Çizelge 6, 2018-2019 sezonunda toplam 8 919 213 (da) ekili alandan elde edilen üretimin ülke ihtiyaçlarını karşılamadaki yüzdesini göstermektedir. Buradan asgari %72.1, %74.9, %86.8 yeterlilik dereceleri ile çeşitli bakliyat ürünlerine ilişkin ülke ihtiyaçlarının yüksek oranda karşılandığı gözlenmektedir. Nohut üretiminde %114 gibi yüksek bir oranla ülke ihtiyaçlarının tamamının karşılandığı ve ekonomik fayda üretildiği tespit edilmiştir. Burada, önerilen karar destek modeli yardımıyla dengeli oranlarda yeterlilik derecesine erişmek için ekili alanların etkin dağıtım ve maksimum ekonomik faydayı üreten ürünlerin atanması üzerine bir plan ortaya koyulacaktır.

Çizelge 6. Bakliyat Ürünleri İçin Ekim Alanı ve Yeterlilik Derecesi

Veri	Kuru Fasulye	Nohut	Kırmızı Mercimek	Yeşil Mercimek
Mevcut bakliyat ekili alan (da)	Bakliyat ürünlerinin tamamı için toplam 8 919 213			
Yeterlilik derecesi (%) ve karşılık gelen üretim miktarı (ton) *	%72.1	%114	%74.9	%86.8
	220 000	630 000	310 000	43 000

* Bakliyat ürünlerinin yeterlilik dereceleri için en son yayımlanan 2018-2019 yılı verileri baz alınmıştır.

Problemin çözümünde “IBM ILOG CPLEX Optimization Studio V12.10.0” varsayılan ayarlar ile kullanılmıştır. Tüm analizler Intel(R) Core(TM) i7-5600U CPU @ 2.60 GHz 8,GB RAM bir bilgisayar vasıtasıyla 5 dk’dan kısa bir süre içerisinde gerçekleştirilmiştir. Çizelge 7-8’de bakliyat üretim miktarının ülke ihtiyaçlarını karşılama oranını temsil eden farklı yeterlilik düzeyleri üzerine gerçekleştirilen sayısal analizler sunulmuştur.

Bu analizlerde her bir bakliyat ürününden asgari %75, %90 ve %100 olmak üzere ihtiyacın eşit ve dengeli oranlarda karşılaştırıldığı üç farklı durum ele alınmıştır. Mevcut ekili alan kısıdı altında Asgari %75 ve %90 yeterlilik düzeylerinde dengeli planlar ortaya koymak mümkündür. Asgari %90 yeterlilik düzeyine sahip planda mevcut durumda ülke ihtiyaçlarının yerli ve milli üretim ile %90 karşılanabildiği tespit edilmiştir. Asgari %75 yeterlilik düzeyine sahip planın iktisadilik oranının yüksek olduğu ve bu plan çerçevesinde ekonomik bir fayda sağlamak mümkündür.

Çizelge 7. Farklı Yeterlilik Derecelerine Karşılık Gelen Model Sonuçları (Miktara Göre)

Asgari Yeterlilik Derecesi	Sonuçlar	Kuru Fasulye	Nohut	Kırmızı Mercimek	Yeşil Mercimek
%75	Üretim miktarı (ton)	689 121	414 474	310 414	37 370
	Ekilen alan(da)	2 723 972	3 424 968	2 431 002	339 270
%90	Üretim miktarı (ton)	375 662	497 368	372 497	44 843
	Ekilen alan(da)	1 484 924	4 109 961	2 917 203	407 125
%100	Üretim miktarı (ton)	-*	-	-	-
	Ekilen alan(da)	-	-	-	-
Mevcut durum**	Üretim miktarı (ton)	225 000	630 000	310 000	43 631
	Ekilen alan(da)	889 385	5 205 951	2 427 761	396 116

* Olurlu çözüm yoktur.

** 2019 yılı üretim verileri

Çizelge 8. Farklı Yeterlilik Derecelerine Karşılık Gelen Model Sonuçları (Finansal) Ve İktisadilik

Asgari Yeterlilik Derecesi	Toplam Değeri (milyon ₺)	Üretim Toplam Maliyetleri (milyon ₺)	Üretim Net Gelir (milyon ₺)	İktisadilik
%75	7 214.89	5 506.48	1 708.41	1.31
%90	5 637.70	4 468.20	1 169.50	1.26
%100	-*	-	-	-
Mevcut durum**	4 895.65	4 010.67	884.98	1.22

* Olurlu çözüm yoktur

** 2019 yılı üretim verilerine karşılık gelen çözüm

Not: Toplam Üretim Değeri (TÜD), Maliyetleri (TÜM), Net Gelir = TÜD-TÜM, İktisadilik = TÜD/TÜM

Bu planda, diğer bakliyat ürünlerinden asgari %75 yeterliliği sağlarken arta kalan ekim alanlarını yüksek gelire sahip kuru fasulye üretimine tahsis ederek net geliri artırdığı gözlenmektedir.

Analiz sonuçlarında olurlu bir çözümün mevcut olmadığı sonuçlardan anlaşılmaktadır ki bakliyat üretiminde kullanılan toplam alan her bir bakliyat ürününde %100 yeterlilik derecesine aynı anda erişmek için yeterli değildir. Bu sebeple tarımsal faaliyet alanlarında yaşanacak en az %6.14 artışın etkilerinin anlaşılması için ekim alanının 9 466 852 da olduğu senaryolara ilişkin model sonuçları Çizelge 9-10’da sunulmuştur. Bu artış ülke ihtiyaçlarını %100 yeterlilik düzeyinde karşılamayı mümkün kılmaktadır. Asgari %75 ve %90 yeterlilik düzeyinin sağlandığı planlarda ise artan ekim alanının kuru fasulye gibi yüksek gelire sahip üretim kalemine atanması sebebiyle ekonomik katkı sağladığı gözlenmiştir.

Çizelge 9. Tarımsal Faaliyet Alanlarındaki %6.14 Artışın Üretim Miktarına Etkisini Gösteren Model Sonuçları

Asgari Yeterlilik Derecesi	Sonuçlar	Kuru Fasulye	Nohut	Kırmızı Mercimek	Yeşil Mercimek
%75	Üretim miktarı (ton)	827 665	414 474	310 414	37 370
	Ekilen alan(da)	3 271 612	3 424 968	2 431 002	339 270
%90	Üretim miktarı (ton)	514 206	497 368	372 497	44 844
	Ekilen alan(da)	2 032 564	4 109 961	2 917 203	407 125
%100	Üretim miktarı (ton)	305 233	552 632	413 885	49 826
	Ekilen alan(da)	1 206 532	4 566 624	3 241 336	452 361
Yeni durum*	Üretim miktarı (ton)	364 993	630 000	310 000	43 000
	Ekilen alan(da)	1 442 753	5 205 951	2 427 761	390 387

* Bakliyat ürünlerinin asgari olarak 2018-2019 yılı yeterlilik derecelerini karşılaması için artan ekim alanına karşılık gelen yeni durum

Çizelge 10. Tarımsal Faaliyet Alanlarındaki %6.14 Artışın Finansal Etkisini Gösteren Model Sonuçları

Asgari Yeterlilik Derecesi	Toplam (milyon ₺)	Üretim Değeri	Toplam (milyon ₺)	Üretim Maliyetleri	Net Gelir (milyon ₺)	İktisadilik
%75	8 142.08		6 163.33		1 978.75	1.32
%90	6 564.89		5 125.05		1 439.84	1.28
%100	5 513.44		4 432.87		1 080.57	1.24
Yeni durum*	5 830.17		4 672.56		1 157.61	1.25

* Bakliyat ürünlerinin asgari olarak 2018-2019 yılı yeterlilik derecelerini karşılama için artan ekim alanına karşılık gelen yeni durum

Not: Toplam Üretim Değeri (TÜD), Maliyetleri (TÜM), Net Gelir = TÜD-TÜM, İktisadilik = TÜD/TÜM

Mevcut bakliyat ekili alanın artırılmasının etkisinin görülmesini sağlayacak bir duyarlılık analizi yapılması Türkiye tarım emtia planlaması için önemli bir veri olacaktır. Ekili alanlardaki %6.14’den daha ileri düzeyde bir artışın etkilerinin anlaşılması için %7 ile %10 arasındaki her bir birim artış için model sonuçları Çizelge 11-12’de sunulmuştur. Bu artış düzeylerinde ülke ihtiyaçlarının tam anlamıyla karşılanması mümkündür ve değerlendirme %100 asgari yeterlilik seviyesi üzerinden gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, kuru fasulyenin 6.42 ₺ /kg birim fiyatının ve 252.98 kg da veriminin diğer bakliyat ürünlerine kıyasla yüksek olması sebebiyle ve hatta 68.91 ₺ /da yan ürün geliri ile örneğin kırmızı mercimeğin 108.14 ₺ /da yan ürün gelirinine göre hayli düşük olmasına rağmen (bakliyat ürünlerinin birim fiyatları ve dönüm başına üretim değerleri için bkz. Çizelge 3) artan ekili alanların tamamının kuru fasulye üretimine tahsis edilmesinin karlılığını gözler önüne sermektedir.

Çizelge 11. Tarımsal Faaliyet Alanlarındaki Daha İleri Bir Artışın Üretim Miktarına Etkisini Gösteren Model Sonuçları

Ekili Alanlardaki Artış (%)	Sonuçlar	Kuru Fasulye	Nohut	Kırmızı Mercimek	Yeşil Mercimek
%7	Üretim miktarı (ton)	324 638*	552 631	413 885	49 826
	Ekilen alan(da)	1 283 237	4 566 624	3 241 336	452 361
%8	Üretim miktarı (ton)	347 202	552 632	413 885	49 826
	Ekilen alan(da)	1 372 429	4 566 624	3 241 336	452 361
%9	Üretim miktarı (ton)	369 766	552 632	413 885	49 826
	Ekilen alan(da)	1 461 621	4 566 624	3 241 336	452 361
%10	Üretim miktarı (ton)	392 331	552 632	413 885	49 826
	Ekilen alan(da)	1 550 813	4 566 624	3 241 336	452 361

* Tabloda, artış gösteren üretim verileri kalın olarak belirtilmiştir.

Çizelge 12. Tarımsal Faaliyet Alanlarındaki Daha İleri Bir Artışın Finansal Etkisini Gösteren Model Sonuçları

Ekili Alanlardaki Artış (%)	Toplam (milyon ₺)	Üretim Değeri	Toplam (milyon ₺)	Üretim Maliyetleri	Net Gelir (milyon ₺)	İktisadilik
%7	5 643.30		4 524.87		1 118.44	1.25
%8	5 794.31		4 631.85		1 162.46	1.25
%9	5 945.32		4 738.82		1 206.49	1.25
%10	6 096.33		4 845.80		1 250.52	1.26

Not: Toplam Üretim Değeri (TÜD), Maliyetleri (TÜM), Net Gelir = TÜD-TÜM, İktisadilik = TÜD/TÜM

Duyarlılık analizine ek olarak, bakliyat ürünlerinin %10’luk bir ekili alan artışında üretime hangi öncelik sıralaması ile atanabileceği incelenmiştir. Çizelge 13’te, ekili alan kısıtları sütunu altında ifade edilen bakliyat ürününe halihazırda %6.14 alan artışı ile tahsis edilmiş üretim alanları, matematiksel modele sırasıyla birer kısıt olarak eklenmiştir. Öncelik sıralamasının bakliyat ürünlerinden dönüm başına elde edilen net gelirin (bkz. Çizelge 5) azalan sıralaması ile eşdeğer olması beklenir. Elde edilen sonuçlardan, kuru fasulyeye alternatif olarak sırasıyla yeşil mercimek, kırmızı mercimek ve nohut şeklinde bir öncelik sıralaması ile üretim atamasının yapılabileceği ortaya çıkmaktadır. Üretime atamadaki öncelik sıralamasının finansal etkilerini gösteren model sonuçları Çizelge 14’te verilmiştir. Pazar ve ihracat kısıtları gibi olası güçlükler sebebiyle öncelik sıralamasında alternatif bakliyat ürünlerine kaydıka karlılığın görece azaldığı gözlenmiştir.

Çizelge 13. Tarımsal Faaliyet Alanlarındaki %10’luk Bir Artışın Üretime Tahsis Edileceği Öncelik Sıralaması

Sıra	Ekili Alan Kısıtları	Sonuçlar	Kuru Fasulye	Nohut	Kırmızı Mercimek	Yeşil Mercimek
1	Kısıt yok	Üretim miktarı (ton) Ekilen alan(da)	392 331* 1 550 813	552 632 4 566 624	413 885 3 241 336	49 826 452 361
2	Kuru fasulye için $y_1 \leq 1\ 206\ 502$ ve	Üretim miktarı (ton) Ekilen alan(da)	305 233 1 206 532	552 632 4 566 624	413 885 3 241 336	87 748 796 642
3	Yeşil mercimek için $y_4 \leq 452\ 361$ ve	Üretim miktarı (ton) Ekilen alan(da)	305 233 1 206 532	552 632 4 566 624	457 846 3 585 618	49 826 452 361
4	Kırmızı mercimek için $y_3 \leq 3\ 241\ 336$	Üretim miktarı (ton) Ekilen alan(da)	305 233 1 206 532	594 295 4 910 905	413 885 3 241 336	49 826 452 361

* Tabloda, artış gösteren üretim verileri kalın olarak belirtilmiştir.

Çizelge 14. Öncelik Sıralamasına İlişkin Ortaya Çıkan Finansal Sonuçlar

Sıra	Öncelik Sıralaması	Toplam Değeri (milyon ₺)	Üretim Toplam Maliyetleri (milyon ₺)	Üretim Net Gelir (milyon ₺)	İktisadilik
1	Kuru Fasulye	6 096.33	4 845.80	1 250.52	1.26
2	Yeşil Mercimek	5 655.62	4 543.07	1 112.54	1.24
3	Kırmızı Mercimek	5 653.97	4 547.37	1 106.60	1.24
4	Nohut	5 661.26	4 565.77	1 095.49	1.24

Not: Toplam Üretim Değeri (TÜD), Maliyetleri (TÜM), Net Gelir = TÜD-TÜM, İktisadilik = TÜD/TÜM

SONUÇ

Bu çalışmada Türkiye’de bakliyat üretimi üzerine bir tarımsal planlama gerçekleştirmek amacıyla bir karar destek modeli geliştirilmiştir. Matematiksel modelleme ve doğrusal programlama yöntemleri kullanılmıştır. Üretim verimliliğini ve ekili alan kısıtlarını dikkate almak suretiyle net geliri enbüyüklemek amaçlanmaktadır. Model aracılığıyla bakliyat üretim miktarlarının ülke ihtiyaçlarını karşılama seviyesini temsil eden farklı yeterlilik dereceleri ile 2019 yılı için yayımlanan üretim verileri üzerinden net gelir ve iktisadilik oranı hesaplanmıştır.

Sayısal analizlerde kuru fasulyenin tarımsal faaliyetler açısından verimli ve ülke ekonomisi açısından diğer bakliyat ürünlerine kıyasla daha karlı olduğu tespit edilmiştir. Bakliyat ürünlerinin ve üretim alanlarının birbirini ikame edebilir olması varsayımından hareketle, nohut ve mercimek üretiminden artakalan tarım arazilerinin kuru fasulye üretimine tahsis edilmesi 1.38 gibi yüksek bir iktisadilik oranıyla net geliri 2 240.475 milyon ₺ seviyesine çıkarmaktadır. Ülke ihtiyaçları açısından mevcut durumda %90 yeterlilik derecesinde faaliyet göstermek mümkünken, %100 yeterlilik düzeyine ulaşmak için bakliyat üretimi için ayrılan tarım alanlarının %6.14 artırılması gerekmektedir. Bu artış neticesinde bakliyat ürünlerinin asgari olarak 2018-2019 yılı yeterlilik derecelerini karşılama için öngörülen duruma eşdeğer 1.24 oranında bir iktisadilikle ülke ihtiyaçlarını maksimum düzeyde karşılamak mümkündür.

Çalışmada sunulan model tek periyotlu ve basittir. Bu nedenle modelimiz, her üretim döneminin sonundaki stok seviyelerini ve stok dengesini ihmal etmektedir. Burada, sulama, gübreleme ve tohum çeşidi gibi değişen üretim parametrelerinin üretim miktarı üzerindeki etkilerini göz ardı ediyoruz. Bunun ötesinde, işlenmiş gıdalar için ürün arzı ve talebi ele alınan probleme dahil edilmemiştir.”

Çok dönemli bir üretim parti büyüklüğü belirleme ve planlama modeli, envanter kararlarını dikkate almamızı sağlar. Bütünleşik üretim planlama modeli, tarım ürünlerinin belirli özelliklerini, makine/işgücü gerekliliklerini, hasat planlamasını ve hasat sonrası faaliyetleri (örneğin, endüstriyel akışı) dikkate almaya imkân tanır. Bu nedenle, gelişmiş modelleme ve çözüm yaklaşımları, çalışmanın dezavantajlarının üstesinden gelmek için çalışılabilecek potansiyel araştırma yönleridir.

Bunun yanı sıra, gelecek çalışmalarda, doğa ve iklim koşulları vb. unsurlardaki değişkenliğin verimlilik üzerine etkilerini temsil edebilecek, talep ve arz belirsizliklerini dikkate alan, bulanık veya stokastik modeller vasıtasıyla belirsizliği tartışan araştırmalar gerçekleştirilecektir. Araştırmalar, güncel ihtiyaçlara yönelik buğday, mısır, ay çekirdeği gibi Türkiye için stratejik olan farklı tahılların ve bitkisel ürünlerin üretim planlaması için genişletilebilir.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

- Aydın Eryılmaz G, Kılıç O, 2018. İyi tarım uygulamalarına geçen işletmelerin gelirlerindeki değişimin ve iyi tarım desteğinin yeterlilik düzeyinin belirlenmesi. *Mediterranean Agricultural Sciences*. 31(2): 123–127.
- Ballı MF, Sel Ç, 2023. Sustainability analysis of the use of natural gas in the iron and steel industry. *Environmental Science and Pollution Research*. 30(2): 4531–4554.
- Bourmaris T, Papathanasiou J, Manos B, Kazakis N, Voudouris K, 2015. Support of irrigation water use and eco-friendly decision process in agricultural production planning. *Operational Research*. 15(2): 289–306.
- Cardín-Pedrosa M, Alvarez-López CJ, 2012. Reprint of: Model for decision-making in agricultural production planning. *Computers and Electronics in Agriculture*. 86: 131–139.
- Cid-Garcia, NM, Bravo-Lozano AG, Rios-Solis YA, 2014. A crop planning and real-time irrigation method based on site-specific management zones and linear programming. *Computers and Electronics in Agriculture*. 107: 20–28.
- Çiçek G, Sümer SK, 2016. Çeltik üretiminde alana bağlı olarak makine sayısındaki değişimin doğrusal denklemler yardımı ile incelenmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*. 31: 233–233.
- Ermoliev Y, Zagorodny AG, Bogdanov VL, Ermolieva T, Havlik P, Rovenskaya E, Komendantova N, Obersteiner M, 2022. Linking Distributed Optimization Models for Food, Water, and Energy Security Nexus Management. *Sustainability*. 14(3): 1255.
- Ghazali AF, Suhaimi A, 2023. An Analysis of Clustering the Decision Support Systems in Logistics for Supply Chain Management. *International Journal of Advanced Science and Computer Applications*. 2(1): 31-40.
- Güngör C, 2018. İmamoğlu-Kırmit (Çukurova) Ovası Sulama Projesi Alanına Giren Tarım İşletmelerinde Optimum Ürün Bileşiminin Doğrusal Programlama Yöntemiyle Planlanması. *Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*. 33(1): 103-110.
- Haneveld WKK, Stegeman AW, 2005. Crop succession requirements in agricultural production planning. *European Journal of Operational Research*. 166(2): 406–429.
- Imasiku K, Thomas VM, 2020. The mining and technology industries as catalysts for sustainable energy development. *Sustainability*. 12(24):10410.
- Janová J, 2014. Crop plan optimization under risk on a farm level in the Czech Republic. *Agricultural Economics (Czech Republic)*. 60(3): 123–132.
- Kara A, Kızıloğlu S, 2014. Meraya dayalı hayvancılık yapan işletmelerde optimum ürün bileşiminin belirlenmesi: Erzurum ili örneği. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. 44(1): 63-73.
- Kara H, Eroğlu A, 2018. Tam sayılı doğrusal programlama metodu ile entansif hayvancılık işletmesinin kapasite planlaması: Konya (Ereğli) örneği. *Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*. 33(2): 31-46.
- Mishra B, Nishad AK, Singh SR, 2014. Fuzzy multi-fractional programming for land use planning in agricultural production system. *Fuzzy Information and Engineering*. 6(2): 245-262.

- Oruç KO, Gülüşik MN, 2013. Bulanık doğrusal programlama yaklaşımı ile üretim planlaması. The Journal of Operation Research, Statistics, Econometrics and Management Information Systems. 1(1): 33-45.
- Özer OO, Özçelik A, 2010. Pamuk ürününün en uygun satış zamanının oyun teorisi yöntemiyle saptanması. Tarım Bilimleri Dergisi. 16: 262-270.
- Rajakal JP, Tan RR, Andiappan V, Wan YK, 2021. A Hybrid Optimisation Model for Land Allocation and Storage Sizing in Agro-Food System. Process Integration and Optimization for Sustainability. 5(4):729-743.
- Torğul B, Demiralay E, Paksoy T, 2021. Tarım-Gıda Tedarik Zincirinde Ağ Tasarımı ve Optimizasyonu: Bir Meyve Suyu İşletmesi Örneği. Journal of Transportation and Logistics. 6(1): 49-70.
- TÜİK, 2019. Türkiye İstatistik Kurumu, İstatistik Veri Portalı. <https://data.tuik.gov.tr/>
- Türker M, 2021. Ulurmak Sulama Havzasında Sulanan Alanların Genişletilmesi İmkanları ve Suyu Göre Üretim Planlaması Üzerine Bir Çalışma. Toprak Su Dergisi, 10(2): 17-25.
- Uysal O, Cinemre HA, 2013. A research on determination of the optimal production plans in the district of Dikbiyik in Samsun Province. Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi. 28(1): 1-9.
- Zhang F, Engel BA, Zhang C, Guo S, Guo P, Wang S, 2019. Agricultural production planning approach based on interval fuzzy credibility-constrained bi-level programming and Nerlove supply response theory. Journal of Cleaner Production. 233: 1158–1169.

To Cite: Aydın, M. & Yakut, O. (2023). Implementation of Sliding Surface Moving Anfis Based Sliding Mode Control to Rotary Inverted Pendulum. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(1), 1165-1175.

Implementation of Sliding Surface Moving Anfis Based Sliding Mode Control to Rotary Inverted Pendulum

Muhammet AYDIN^{1*}, Oğuz YAKUT²

Highlights:

- It includes the anfis-based moving sliding mode control of the rotational inverted pendulum system.
- The unstable upper balance point of the rotational inverted pendulum system and the control of the rotating arm are realized.
- Combining control structures, a control structure that has not been tried before was applied

ABSTRACT:

This study covers the control of the pendulum angle by taking into account the dynamic equations and motor dynamics of the rotary inverted pendulum system, with the help of state variables in the Matlab program, by using the sliding mode control method with sliding surface moving and the adaptive neural fuzzy inference system together. The sliding mode control method with a changing sliding surface is a part of the control structure. The slope of the sliding surface was calculated using the adaptive neural fuzzy inference technique. The optimum values of the coefficients in the adaptive neural-fuzzy inference system structure have been calculated by genetic algorithm. The finding of the coefficients, the sum of the squares of the errors chosen as the objective function. The input of the adaptive neural fuzzy inference system structure consists of the error of the pendulum and the derivative of the error of the pendulum. The gradient of the sliding surface of the sliding mode control structure is the output of the adaptive neural fuzzy inference system structure. According to the findings, the pendulum angle achieved the appropriate reference value after 1.5 seconds, with an error of around zero. It obtained that the engine torque value reaches up to 50 Nm. From here, it is seen that the motor torque values used in practical applications and the motor torque values as a result of this study overlap.

Keywords:

- Rotary inverted pendulum
- Sliding mode control
- Anfis
- Moving sliding surface

¹ Muhammet AYDIN ([Orcid ID: 0000-0003-2746-9477](https://orcid.org/0000-0003-2746-9477)), Fırat University, Faculty of Engineering, Department of Mechatronics Engineering, Elazığ, Türkiye

² Oğuz YAKUT ([Orcid ID: 0000-0002-0986-1435](https://orcid.org/0000-0002-0986-1435)), Fırat Üniversitesi, Faculty of Engineering, Department of Mechatronics Engineering, Elazığ, Türkiye

Corresponding Author: Muhammet AYDIN, e-mail: muhammeta@firat.edu.tr

INTRODUCTION

In control applications, the control of the inverted pendulum system is undoubtedly momentous because the inverted pendulum system forms the basis of most systems. For this reason, inverted pendulum systems are one of the most suitable systems being controlled. Different structures created to date contain inverted pendulum systems. Some of them are the single and double-rotating inverted pendulum systems (Awtar et al., 2002; Krishen and Becerra, 2006), the single inverted pendulum on a cart (Bugeja, 2003), and the double inverted pendulum on a cart (Zhong and Röck, 2001).

One of the most widely used pendulum systems due to its cheap and manufacturing easily is the rotary inverted pendulum system. The Great setting for studying the control of non-linear and indirectly driven unstable systems is Rotary Inverted Pendulum System. The fact that it is easier to manufacture and more economical than the trolley-type inverted pendulum has made it highly preferred recently. The rotary inverted pendulum system consists of two stiff moving parts. The horizontal cylindrical arm is the first limb. The rotating driving element attached to the horizontal cylindrical arm allows for the arm's motion. The other, which is the vertically moving shaft, is the pendulum. The pendulum's swinging is provided by the movement backward and forward of the horizontal cylindrical arm in this system; the pendulum is stabilized at the upper unstable balance point (Yan, 2003; Kuo et al., 2009).

In the studies presented so far in the literature for the angle control of the rotating inverted pendulum system seen in Figure 1, classical control methods such as PID (Kuo et al., 2009), PI, PD (Altinoz et al., 2010), adaptive control methods with sliding mode control (Bogdanov, 2004; Wang, 2009; Aydin et al., 2019), fuzzy control (Krishen and Becerra, 2006), sliding mode control (Khanesar et al., 2007), particle swarm optimization based PID control (Sugie and Fujimoto 1998; Bogdanov, 2004; Hassanzadeh and Mobayen, 2008; Sukontanakarn and Parnichkun 2009) and there are control studies sliding mode control methods via the artificial neural network (Aydin et al., 2019).

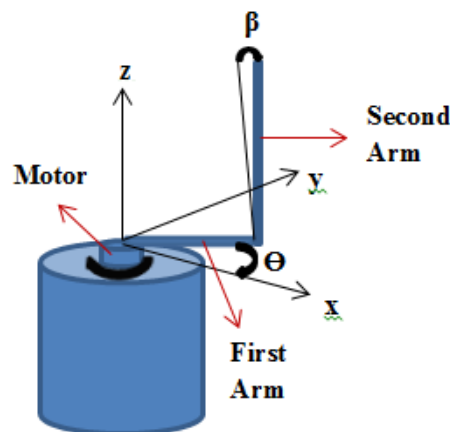


Figure 1. The rotary inverted pendulum system

Especially in recent years, development of a Neuro-Fuzzy Friction Estimation Model used to estimate the joint friction coefficients of a Triple Link Rotary Inverted Pendulum system (Hazem et al., 2020), controlled of a rotary inverted pendulum by adaptive techniques (Nath and Dewan, 2017), performing stability control of double link rotary inverted pendulum with Fuzzy-LQR and Fuzzy-LQG methods (Hazem et al., 2020), developing of a fuzzy logic controller for rotary inverted pendulum (Le et al., 2018), controlling the rotary inverted pendulum with incremental sliding mode control (Hong et al., 2019), a comparative analysis of the linear quadratic regulator and sliding mode control results for the rotating inverted pendulum (Nath and Dewan, 2018), performing of model-free sliding mode

stabilizing control of the actual rotary inverted pendulum (Yiğit, 2017), developing of numerical design method by using non linear sliding mode control method for Rotary inverted pendulum (Cui, 2019), comparing the PID and sliding mode control results of the rotating inverted pendulum system using PLC (Howimanporn et al., 2020), pole placement controller applied to rotary inverted pendulum system (Muñoz-Poblete, 2018), performing of a rotary inverted pendulum real-time stability control using an LQR-based sliding mode controller (Chawla and Singla, 2021), performing of an adaptive neural network-based control of the rotary inverted pendulum with oscillation compensation (Zabihifar et al., 2020) studies have come to the fore.

In this study, using the non-linear model of the rotary inverted pendulum system, the pendulum angle is controlled by the sliding mode control method by the changing sliding surface taking advantage of the adaptive neural fuzzy inference system (anfis). The slope of the sliding surface was obtained using an anfis structure. The optimum values of the coefficients in the anfis are calculated via the genetic algorithm.

MATERIALS AND METHODS

Conversion of Rotary Inverted Pendulum System to State Variables

In previous studies, the equations of motion of the rotary inverted pendulum system were obtained. The equations of motion gave in Equations 1 and 2 in this study.

The equation of motion for θ :

$$(m_1L_1^2 + I_1 + m_2L_1 + m_2L_2^2\sin^2\beta)\ddot{\theta} + m_2L_1L_2\cos\beta\ddot{\beta} - m_2L_1L_2\sin\beta\dot{\beta}^2 + 2m_2L_2^2\sin\beta\cos\beta\dot{\beta}\dot{\theta} = \tau - b_1\dot{\theta} \quad (1)$$

The equation of motion for β :

$$m_2L_1L_2\cos\beta\ddot{\theta} + (m_2L_2^2 + I_2)\ddot{\beta} - m_2L_2^2\sin\beta\cos\beta\dot{\theta}^2 - m_2gL_2\sin\beta = -b_2\dot{\beta} \quad (2)$$

The following equations are generated if the expressions $\ddot{\theta}$ and $\ddot{\beta}$ taken away from the equations of motion.

$$\ddot{\theta} = \frac{(m_2L_2^2 + I_2)(b_1\dot{\theta} - \tau - m_2L_1L_2\sin\beta\dot{\beta}^2 + 2m_2L_2^2\sin\beta\cos\beta\dot{\beta}\dot{\theta})}{(m_2L_1L_2\cos\beta)^2 - (m_2L_2^2 + I_2)(m_1L_1^2 + I_1 + m_2L_1 + m_2L_2^2\sin^2\beta)} - \frac{m_2L_1L_2\cos\beta(b_2\dot{\beta} - m_2L_2^2\sin\beta\cos\beta\dot{\theta}^2 - m_2gL_2\sin\beta)}{(m_2L_1L_2\cos\beta)^2 - (m_2L_2^2 + I_2)(m_1L_1^2 + I_1 + m_2L_1 + m_2L_2^2\sin^2\beta)} \quad (3)$$

$$\ddot{\beta} = \frac{(m_1L_1^2 + I_1 + m_2L_1 + m_2L_2^2\sin^2\beta)(b_2\dot{\beta} - m_2L_2^2\sin\beta\cos\beta\dot{\theta}^2 - m_2gL_2\sin\beta)}{(m_2L_1L_2\cos\beta)^2 - (m_2L_2^2 + I_2)(m_1L_1^2 + I_1 + m_2L_1 + m_2L_2^2\sin^2\beta)} - \frac{m_2L_1L_2\cos\beta(b_1\dot{\theta} - \tau - m_2L_1L_2\sin\beta\dot{\beta}^2 + 2m_2L_2^2\sin\beta\cos\beta\dot{\beta}\dot{\theta})}{(m_2L_1L_2\cos\beta)^2 - (m_2L_2^2 + I_2)(m_1L_1^2 + I_1 + m_2L_1 + m_2L_2^2\sin^2\beta)} \quad (4)$$

The equation of motion of the first arm motor can write as follows. Here, V_a is the motor supply voltage and the control signal, K_b is the back electromotive voltage coefficient, N is the gear ratio, R is the motor winding ohmic resistance, L is the motor inductance coefficient, and i is the electrical current flowing through the motor windings.

$$\frac{di}{dt} = \frac{V_a - Ri}{L} - \frac{K_b\dot{\theta}}{LN} \quad (5)$$

If the expressions in the equations are converted to state variables;

$$\theta = x(1) \quad (6)$$

$$\dot{\theta} = x(2) \quad (7)$$

$$\beta = x(3) \quad (8)$$

$$\dot{\beta} = x(4) \quad (9)$$

$$\frac{di}{dt} = x(5) \quad (10)$$

is obtained as. If the motor control torque is;

$$\tau = \frac{K_t i}{N} \quad (11)$$

It is calculated in the form. Where K_t is the motor torque coefficient.

The Anfis-based moving sliding mode control approach implemented to the rotary inverted pendulum system employs these state variables with the Matlab program. It will make sure that the pendulum angle reaches the specified zero reference point with the control mechanism.

System parameters:

Table 1. System parameters and their values

Parameter	Value
m_1	0.15 kg
m_2	0.1 kg
L_1	0.4 m
L_2	0.4 m
b_1	0.01 N s m ⁻¹
b_2	0.01 N s m ⁻¹
I_1	0.0248 kg m ⁴
I_2	0.00386 kg m ⁴
L	0.1 henry
R	1.4 Ohm
K_t	0.25
K_b	0.05
N	1/20

Sliding Surface Moving Anfis-Based Design of Sliding Mode Control

A non-linear and reliable control strategy is sliding mode control. Compared to other control methods, it is a method that is not affected by external disturbances. Thanks to the oscillations on the sliding surface to reach the desired reference, the result reaches quickly with high accuracy (Young et al., 1999). Because the system parameters are unknown or constantly changing and external disturbances are affecting the system, long-term controllability is possible with the sliding mode control as long as the system's limit values are understood.

While performing the sliding mode control, the sliding surface must first determine, and a control rule must create to reach the determining sliding surface. The reaching time is the amount of time required to reach the sliding surface. The reaching mode is the area of the phase trajectory in this layer. The system is vulnerable to parameter uncertainty and outside noise when in the reaching mode (Edwards and Spurgeon, 1998). When the sliding surface is reached, the slip mode begins, in which the system's course is unaffected by ambiguous parameters and outside influences. The oscillations around the equilibrium point that the system wishes to reach in sliding mode control applications lead to chattering, which shows the unmodeled high-frequency dynamics of the system.

A sliding mode control expression with a sign function can write as in Equation 12. Here S is the sliding surface function, e is the error of the system response, and de is the error variation to the time expressed in Equation 13.

$$U = -k \text{sign}(S) \tag{12}$$

$$S = C e + de \tag{13}$$

Figure 2 illustrates the slope of the sliding surface. The coefficient C in the equation represents this slope (23).

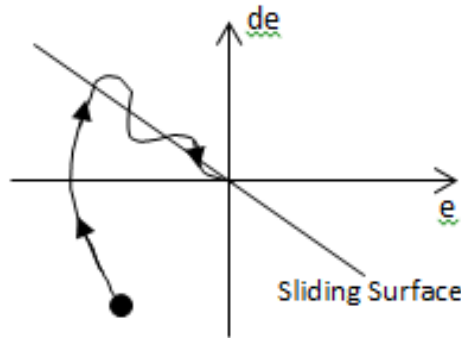


Figure 2. Sliding surface

The most suitable value of this stated slope must choose to increase the controller's success. The coefficients of the sliding surface slope are regarded as moving for this investigation. The slope coefficient C included using the Anfis structure. The Anfis structure introduces using the error of the pendulum angle and the derivative of the pendulum error. The output value of the sliding mode control is equal to the slope coefficient of the sliding surface. The Genetic algorithm is used to determine the parameters' optimum numbers in the Anfis. The optimum values of the base coefficients of the membership functions in the fuzzy logic structure calculate using a genetic algorithm in Matlab. The parameters preferred as FitnessLimit 1e-10, Generations 50, and PopulationSize 15 in the genetic algorithm structure. Figure 3 shows the block diagram, where the controller coefficients are optimized by the genetic algorithm technique.

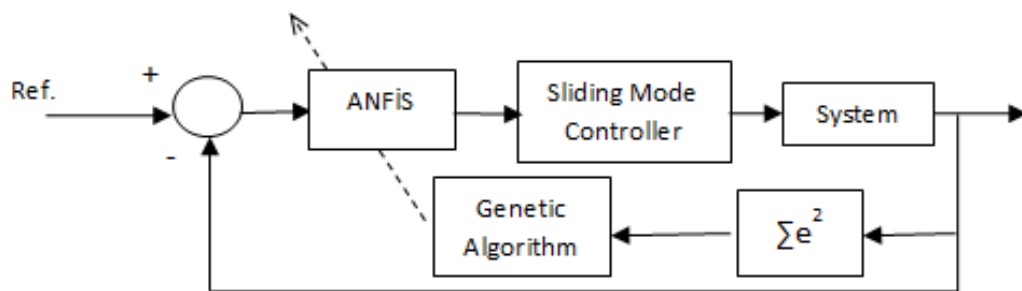


Figure 3. Controller block

The "Sugeno" type is a frequently used fuzzy controller in the Anfis structure discussed in this study. The big difference that distinguishes the Sugeno-type structure and the Mamdani-type structure is that the outputs shown in the rules are expressed as functions of the input variables, not as fuzzy sets.

The addition of fuzzy logic principles to artificial neural networks provides the creation of a system that can handle uncertainties and also generalize like artificial neural networks.

The Anfis structure consists of the blurring layer, the two hidden layers, the function layer, and the clarification layer as seen in Figure 4. In the blurring layer, the input variables transform into fuzzy sets. Each processing unit in this layer corresponds to a fuzzy set, and the processing unit output is a membership function. In the blurring layer, the position error e of the pendulum and the derivative of the error for the time used as inputs to define the fuzzy working region, and three membership functions selected for inputs.

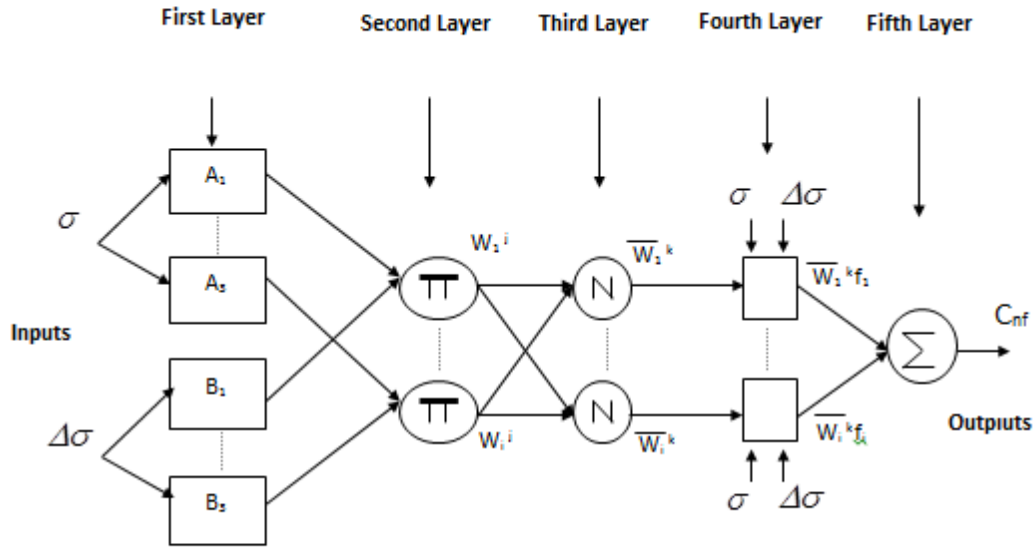


Figure 4. The network-based fuzzy logic structure

The Gause membership function is preferred for this. Accordingly, these membership functions are as given in equations 14 and 15.

$$\mu_{A_i}(\sigma) = e^{-\left(\frac{\sigma - c_i}{a_i}\right)^2} \text{ for } i=1,2,3, \tag{14}$$

$$\mu_{B_i}(\Delta\sigma) = e^{-\left(\frac{\Delta\sigma - c_i}{a_i}\right)^2} \text{ for } i=1,2,3, \tag{15}$$

The algebraic product with the following equation can use to determine the precision levels of the rules in the second layer.

$$w_i^j = \mu_{A_i}(\sigma)\mu_{B_{Ai}}(\Delta\sigma) \tag{16}$$

The ratio of one rule's precision to another can view as the normalizing process. It reveals how the rule affects the output term of all the rules. The following processes perform in the third layer of the network.

$$\bar{w}_i^k = \frac{w_i^j}{w_1^j + w_2^j + w_3^j + \dots} \text{ for } i=1,2,3, \tag{17}$$

Each normalized rule is multiplied by its output function at layer 4 using the following expression.

$$\bar{w}_i^k f_i = w_i^k (p_i \sigma^T + q_i \Delta\sigma^T) \tag{18}$$

Where p and q coefficients are linear parameters of the functions used in the function layer.

The clarification layer is the fifth layer, where the clarification process is carried out by the center of gravity method, and the output is formed as follows.

$$\text{Output}_{5,i} = \sum_i \bar{w}_i^k f_i = \frac{\sum_i w_i^k f_i}{\sum_i w_i^k} \quad (19)$$

This digital output produced by the Anfis structure is the slip surface slope value of the sliding mode controller.

In the input layer of the created Anfis, it was deemed appropriate to choose three membership functions, equal numbers for each input. The optimum values of all 45 parameters of the designed controller were found using the genetic algorithm technique. The mean square of errors is defined as the performance index of the system preferred for the fitness function being used in determining the optimum values of the controller parameters.

$$E(k) = \frac{1}{2} e^2(k) \quad (20)$$

The sign function in the sliding mode control expression causes the control signal to chatter. Various function types are used instead of this sign function to solve this problem. The widely used saturation function was chosen to replace the sign function in this study. As a result, equation 21's equation for the sliding mode control expression with saturation function was obtained. The epsilon value in the equation was found to be 39.87 by the genetic algorithm.

$$U = -k \cdot \text{sat}\left(\frac{s}{\text{epsilon}}\right) \quad (21)$$

RESULTS AND DISCUSSION

Figure 5 illustrates how the first arm attached to the motor's angular location varies over time. It shifted direction within the first few seconds after beginning at zero. Swinging the pendulum higher is the expected thing.

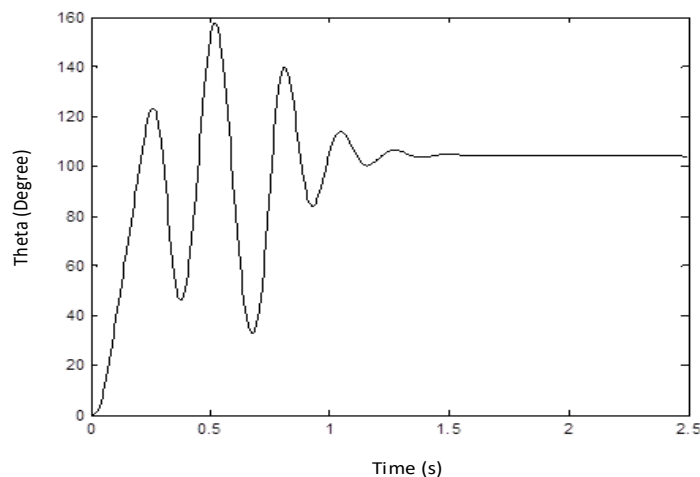


Figure 5. Variation of theta angle with the time

The first arm's angular velocity showed in the graph in Figure 6. It can observe that the angular velocity value oscillates and reaches a maximum of 23 rad/s before stabilizing at 0 rad/s. A graph depicting the change in pendulum angle over time showed in Figure 7. The unstable upper balance point is where the pendulum must come to a stop. As a result, the desired zero reference point must reach by the pendulum angle.

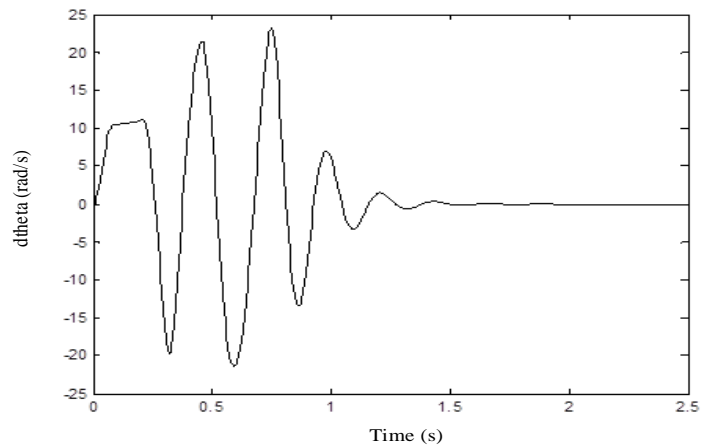


Figure 6. Angular velocity change of the first arm to time

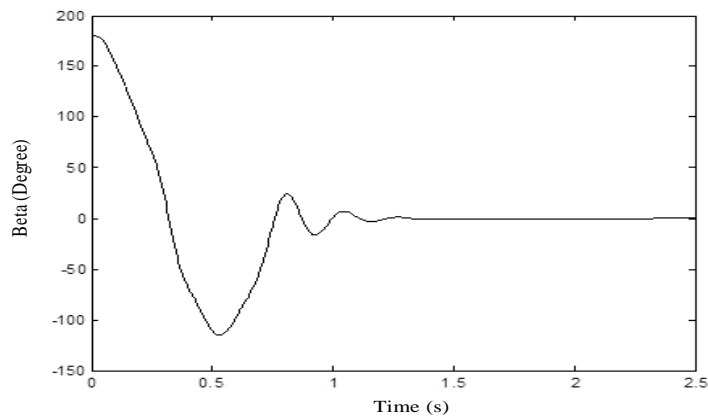


Figure 7. Variation of beta angle (pendulum angle) with the time

The pendulum takes around 1.5 seconds to reference value, as shown in the image. Figure 8 depicts the pendulum's angular velocity as it changes over time. The graph shows that the pendulum's angular speed reaches zero after 1.5 seconds.

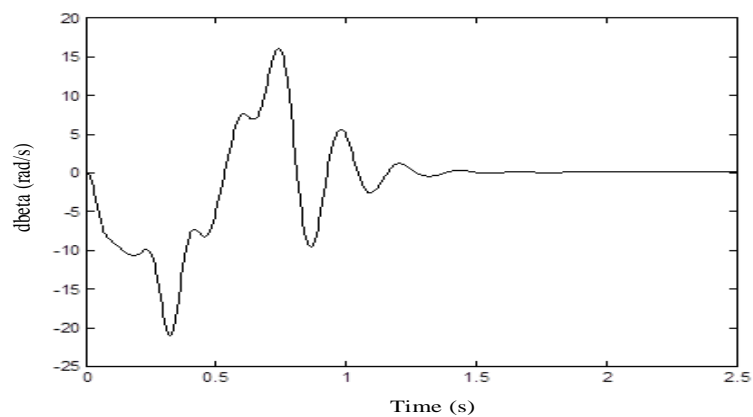


Figure 8. Angular velocity change of the pendulum to the time

In Figures 9 and 10, the torque value required applied to the first arm and the slope value of the sliding surface gave, respectively. When the DC motor torque graph in When Figure 9 is looked at, it is evident that a motor torque of about 50 Nm will be enough to raise the pendulum to the necessary reference point. This torque value is suitable for actual applications, it might assert. After about 1.5 seconds, the engine torque reaches zero.

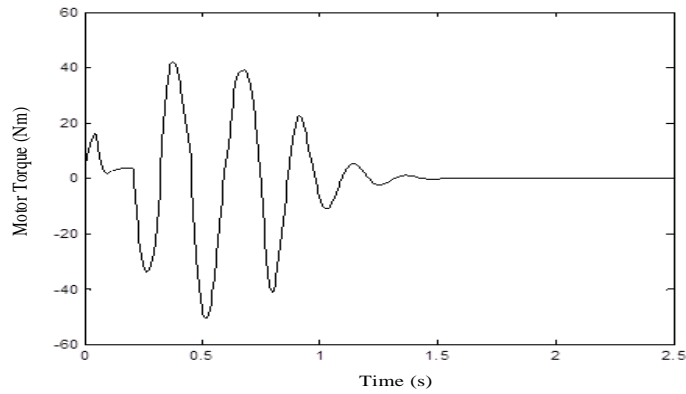


Figure 9. Variation of DC motor's torque with the time

When the sliding surface slope graph in Figure 10 is examined, it has seen that it takes values between 0-130. Figure 11 shows the time change of the supply voltage applied to the DC motor as a control signal. It can also see from the graph that the DC motor supply voltage source is limited to 12 volts.

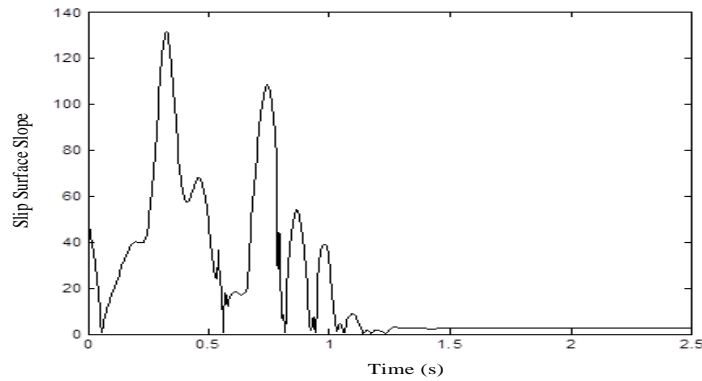


Figure 10. Slip surface slope graph

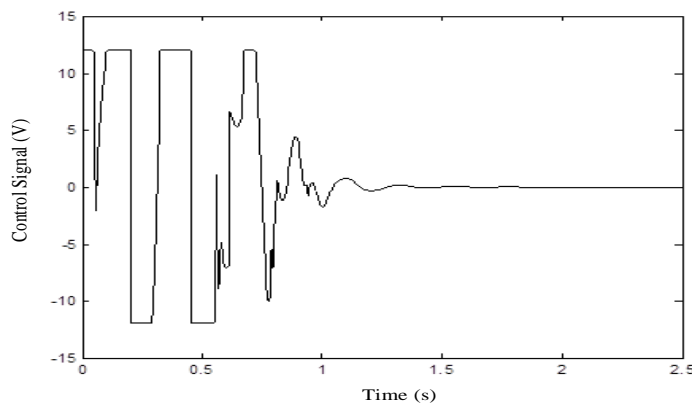


Figure 11. Graph of DC motor control signal with the time

The variation of the current passing through the DC motor windings with the time is shown in Figure 12. It saw that the current drawn by the motor reached zero after about 1.5 seconds. It has seen from the graph that the maximum current drawn by the engine is 10 Amperes. Table 2 compares the result of the study presented in this research paper with those of two previous works (Aydin et al., 2019; Aydin and Yakut, 2022). As noted in the table, the pendulum angle of the system in the current study with 1.35 s settling time produced a better settling time from network-based MSMC. The fuzzy-

based MSMC has the fastest settling time of the three algorithms at 0.9 seconds. The current study had moderate success.

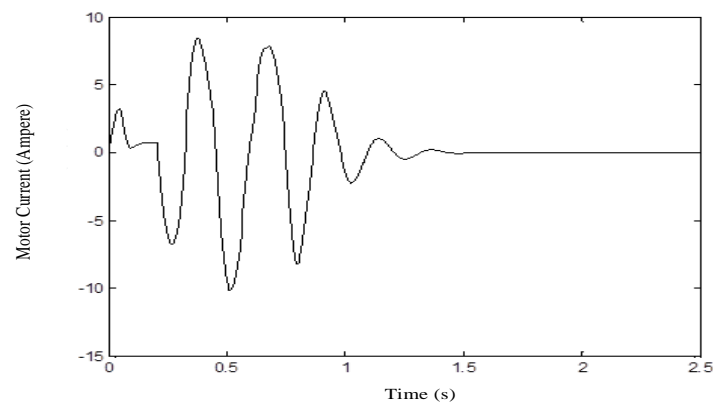


Figure 12. Graph of DC motor current with the time

Table 2. Comparison of between works in the literature and the present study

	Method	Settling time (s)
Pendulum angle settling-time values	Network-based MSMC	3.0
	Fuzzy-based MSMC	0.90
	Anfis-based MSMC (Present study)	1.35

CONCLUSION

This study is related to the single degree of freedom rotary inverted pendulum system's non-linear dynamic model. The Matlab program was performed to control the pendulum angle using state variables over motor dynamics and dynamic equations. The system is subject to the moving sliding mode control technique to control it. The Anfis provides the changing of the sliding surface's slope using the moving sliding mode control method. A genetic algorithm is used to determine the coefficients of the Anfis structure. After the investigation, it notes that the control signal has reached zero, the error is zero, and the pendulum has achieved the appropriate reference value in roughly 1.5 seconds. The motor torque value reaches a maximum of 50 Nm, and the motor current value to 10 Amperes. The results showed that if these values think while selecting the motor in real applications, the rotary inverted pendulum system will operate smoothly with its Anfis structure and moving sliding mode control. In future works, the controller structure preferred here can apply to the double-rod and triple-rod rotary inverted pendulum system.

Conflict of Interest

The article authors declare that there is no conflict of interest between them.

Author's Contributions

The authors declare that they have contributed equally to the article.

REFERENCES

- Altinoz, OT, Yilmaz, AE, Weber, GW, 2010. Chaos Particle Swarm Optimized Pid Controller for the Inverted Pendulum System. Second International Conference on Engineering Optimization, 6-9 September 2010, Lisbon, Portugal.
- Awtar, S, King, N, Allen, T, Bang, I, Hagan, M, Skidmore, D, Craig, K, 2002. Inverted Pendulum Systems: Rotary and Arm-Driven-a Mechatronic System Design Case Study. *Mechatronics*, 12 (2): 357-370.
- Aydin, M, Yakut, O, Tutumlu, H, 2019. Implementation of the Network-Based Moving Sliding Mode Control Algorithm to the Rotary Inverted Pendulum System. *Journal of Engineering and Technology*, 3 (1): 32-41.
- Aydin, M, Yakut, O, 2022. Application of Fuzzy Sliding Mode Control with Moving Sliding Surface to Rotary Inverted Pendulum. *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*, 8 (3).

- Bogdanov, A, 2004. Optimal Control of a Double Inverted Pendulum on a Cart. Health and Science University Technical Report. CSE-04-006, Oregon Graduate Institute School of Science and Engineering, Oregon, United States of America.
- Bugeja, M, 2003. Non-linear Swing-up and Stabilizing Control of an Inverted Pendulum System. *Computer as a Tool*, 2: 437-441.
- Chawla, I, Singla, A, 2021. Real-time Stabilization Control of a Rotary Inverted Pendulum Using Lqr-based Sliding Mode Controller. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 46 (3): 2589-2596.
- Cui, J, 2019. Numerical Design Method for Nonlinear Sliding Mode Control of Inverted Pendulum. 38th Chinese Control Conference, 27-29 July 2019, Guangzhou, China.
- Edwards, C, Spurgeon, S, 1998. *Sliding Mode Control: Theory and Applications*. Chemical Rubber Company Press.
- Hassanzadeh, I, Mobayen, S, 2008. Pso-based Controller Design for Rotary Inverted Pendulum System. *Journal of Applied Sciences*, 8 (16): 2907-2912.
- Hazem, ZB, Fotuhi, MJ, Bingül, Z, 2020. A Comparative Study of the Joint Neuro-Fuzzy Friction Models for a Triple Link Rotary Inverted Pendulum. *Institute of Electrical and Electronics Engineers Access*, 8: 49066-49078.
- Hazem, ZB, Fotuhi, MJ, Bingül, Z, 2020. Development of a Fuzzy-lqr and Fuzzy-lqg Stability Control for a Double Link Rotary Inverted Pendulum. *Journal of the Franklin Institute*, 357 (15): 10529-10556.
- Hong, GB, Nguyen, HT, Nguyen, MT, Hoang Le, TT, Hai Nguyen, VD, 2019. Trajectory Tracking for Futura Pendulum by Incremental Sliding Mode Control. *Robotica and Management*, 24 (1).
- Howimanporn, S, Chookaew, S, Silawatchananai, C, 2020. Comparison between Pid and Sliding Mode Controllers for Rotary Inverted Pendulum Using Plc. Fourth International Conference on Automation, Control, and Robots, 11-13 October 2020, Roma, Italy.
- Khanesar, MA, Teshnehlab, M, Shoorehdeli, MA, 2007. Sliding Mode Control of Rotary Inverted Pendulum. 2007 Mediterranean Conference on Control and Automation, 27-29 June 2007, Athens, Greece.
- Krishen, J, Becerra, VM, 2006. Efficient Fuzzy Control of a Rotary Inverted Pendulum Based on Lqr Mapping. 2006 Institute of Electrical and Electronics Engineers Conference on Computer Aided Control System Design, 2006 Institute of Electrical and Electronics Engineers International Symposium on Intelligent Control, 4-6 October 2006, Munich, Germany.
- Kuo, TC, Huang, YJ, Hong, BW, 2009. Adaptive Pid with Sliding Mode Control for the Rotary Inverted Pendulum System. 2009 Institute of Electrical and Electronics Engineers / American Society of Mechanical Engineers International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, 14-17 July 2009, Singapore.
- Le, TTH, Vo, AK, Van Nguyen, T, Vu, DH, Tran, MS, 2018. Fuzzy Controller for Rotary Inverted Pendulum. *Robotica and Management*, 23 (2).
- Muñoz-Poblete, C, 2018. Pole Placement Controller Applied to a Rotary Inverted Pendulum System. A didactic view. 2018 Institute of Electrical and Electronics Engineers International Conference on Automation/XXIII Congress of the Chilean Association of Automatic Control 17-19 October 2018, Chile.
- Nath, K, Dewan, L, 2017. Control of a Rotary Inverted Pendulum via Adaptive Techniques. 2017 International Conference on Emerging Trends in Computing and Communication Technologies, 17-19 November 2017, Dehradun, India.
- Nath, K, Dewan, L, 2018. A Comparative Analysis of Linear Quadratic Regulator and Sliding Mode Control for a Rotary Inverted Pendulum. 2018 International Conference on Recent Trends in Electrical, Control, and Communication, 20-22 March 2018, Malaysia.
- Stimac, AK, 1999. Standup and Stabilization of the Inverted Pendulum, Massachusetts Institute of Technology, Department of Mechanical Engineering, Doctor of Philosophy Thesis (Printed).
- Sugie, T, Fujimoto, K, 1998. Controller Design for an Inverted Pendulum Based on Approximate Linearization. *International Journal of Robust and Nonlinear Control: International Federation of Automatic Control-Affiliated Journal*, 8 (7): 585-597.
- Sukontanakarn, V, Parnichkun, M, 2009. Real-time Optimal Control for Rotary Inverted Pendulum. *American Journal of Applied Sciences*, 6 (6): 1106.
- Wang, W, 2009. Adaptive Fuzzy Sliding Mode Control for Inverted Pendulum. 2009 International Symposium on Computer Science and Computational Technology, 29-31 August 2009, Vancouver, Canada.
- Yan, Q, 2003. Output Tracking of Underactuated Rotary Inverted Pendulum by Nonlinear Controller. 42nd Institute of Electrical and Electronics Engineers International Conference on Decision and Control, 9-12 December 2003, Maui, United States of America.
- Yiğit, İ, 2017. Model Free Sliding Mode Stabilizing Control of a Real Rotary Inverted Pendulum. *Journal of Vibration and Control*, 23 (10): 1645-1662.
- Young, KD, Utkin, VI, Ozguner, U, 1999. A Control Engineer's Guide to Sliding Mode Control. *Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions on Control Systems Technology*, 7 (3): 328-342.
- Zhong, W, Rock, H, 2001. Energy and Passivity Based Control of the Double Inverted Pendulum on a Cart. 2001 Institute of Electrical and Electronics Engineers International Conference on Control Applications, 5-7 September 2001, Mexico City, Mexico.
- Zabihifar, SH, Yushchenko, AS, Navvabi, H, 2020. Robust Control Based on Adaptive Neural Network for Rotary Inverted Pendulum with Oscillation Compensation. *Neural Computing and Applications*, 32 (18): 14667-14679.

Atıf İçin: Sekmen, M., Kurt, A. ve Şeker, U. (2023). Talaş Kaldırma İşleminde Sürtünme Katsayısının Kesme Kuvvetleri, Sıcaklık ve Kesici Takım Gerilmeleri Üzerine Etkisi. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 1176-1188.

To Cite: Sekmen, M., Kurt, A. & Şeker, U. (2023). The Effect of Friction Coefficient on Cutting Forces, Temperature and Cutting Tool Stresses in Machining Process. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 1176-1188.

Talaş Kaldırma İşleminde Sürtünme Katsayısının Kesme Kuvvetleri, Sıcaklık ve Kesici Takım Gerilmeleri Üzerine Etkisi

Mustafa SEKMEN^{1*}, Abdullah KURT², Ulvi ŞEKER²

Öne Çıkanlar:

- Tornalama
- Sürtünme katsayısı
- Takım sıcaklığı

Anahtar Kelimeler:

- Kesme kuvvetleri
- Kesici takım gerilmeleri
- Sürtünme katsayısı
- Sonlu elemanlar
- Takım-talaş ara yüzeyi

ÖZET:

Bu çalışmada, endüstride büyük önem taşıyan tornalama işleminde kullanılan kesici takımların kesme performansının iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Karbür kesici takımlarla AISI 1050 çeliği üzerinde farklı kesme parametreleriyle deneyler yapılmış ve dinamometre yardımıyla kesme kuvvetleri ölçülmüştür. Kesme parametreleri referans alınarak Deform-3D ile simülasyonlar yapılmıştır. Farklı sürtünme katsayılarıyla (0.3-0.4-0.5-0.6-0.7) yapılan simülasyonlardan elde edilen kesme kuvvetleri ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca sürtünme katsayısının sıcaklık ve kesici takım gerilmeleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. 0.4 ve 0.5 sürtünme katsayıları için simülasyon ve deneysel kesme kuvveti sonuçlarının birbirine yakın olduğu görülmüştür. Analizler sonucunda sürtünmenin kesici takım gerilmeleri ve sıcaklık üzerinde çok etkili olduğu gözlenmiştir. Sıcaklığa ve gerilmelere bağlı olarak kesici takımında oluşabilecek aşınma ve hasar noktaları belirlenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, kesici takım kesme performansının iyileştirilmesine ve optimum kesme parametrelerinin seçiminde önemli katkılar sağlayacaktır.

The Effect of Friction Coefficient on Cutting Forces, Temperature and Cutting Tool Stresses in Machining Process

Highlights:

- Turning
- Friction coefficient
- Tool temperature

Keywords:

- Cutting forces
- Cutting tool stresses
- Friction coefficient
- Finite elements
- Tool-chip interface

ABSTRACT:

In this study, it is aimed to improve the cutting performance of the cutting tools used in the turning process, which is of great importance in the industry. Experiments with different cutting parameters were carried out on AISI 1050 steel with carbide cutting tools and cutting forces were measured with the help of a dynamometer. Simulations were made with Deform-3D by taking the cutting parameters as reference. The experimental results and the cutting forces obtained from the simulations carried out with different friction coefficients (0.3-0.4-0.5-0.6-0.7) were compared. In addition, the effects of friction coefficient on temperature and cutting tool stresses were investigated. It has been seen that the simulation and experimental cutting force results for friction coefficients of 0.4 and 0.5 are close to each other. As a result of the analyses, it has been observed that friction has a great effect on cutting tool stresses and temperature. Depending on the temperature and stresses, the wear and damage points that may occur in the cutting tool have been determined. The results obtained from the study will make significant contributions to the improvement of cutting tool cutting performance and the selection of optimal cutting parameters.

¹ Mustafa SEKMEN ([Orcid ID: 0000-0003-4361-3117](https://orcid.org/0000-0003-4361-3117)), Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Havza Meslek Yüksekokulu, Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü, Samsun, Türkiye

² Abdullah KURT ([Orcid ID: 0000-0002-7650-3443](https://orcid.org/0000-0002-7650-3443)), Ulvi ŞEKER ([Orcid ID: 0000-0001-6455-6858](https://orcid.org/0000-0001-6455-6858)), Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Mustafa SEKMEN, e-mail: mustafa.sekmen@omu.edu.tr

Bu çalışma Mustafa SEKMEN'in Doktora tezinden üretilmiştir.

GİRİŞ

Bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle metal kesmede sonlu elemanlar metodu (SEM), işlenebilirlik operasyonlarının simülasyonu için en yaygın kullanılan araçlardan biridir. Talaş kaldırma işlemi maliyetli ve zaman alıcıdır. Bu yüzden sonlu elemanlar yöntemi işlenebilirlik uygulamalarında yaygın bir araç haline gelmiştir. Talaş kaldırma süreci kesici takım ve iş parçası ara yüzeyinde sürtünme kaynaklı gerilmelerinin ve yüksek sıcaklıkların olduğu çok zorlu bir işlemdir. Bu nedenle takım aşınması her zaman kaçınılmaz bir sonuçtur. Önceden tahmin edilen takım ömrü, ürünün kalitesini artıracak ve üretim maliyetlerini azaltacaktır. Bu nedenlerle kesme işlemleri için optimum kesme parametrelerinin belirlenmesi ve bu parametreler kullanılarak kesme işlemlerinin yapılması oldukça önemlidir. Talaşlı imalatta kesme bölgesi sıcaklıkları ve kesici takım üzerindeki gerilmeler uzun yıllardır birçok araştırmacının ilgisini çekmiştir. Literatürde genel olarak deneysel ve nümerik/simülasyon çalışmalar olarak sınıflandırılan birçok çalışma yapılmıştır.

Ezilarasan ve Velayudham (2017), Nimonic C-263 süper alaşımının işlenmesinde Deform-3D kullanılarak kesme kuvvetleri, kesici takım ucundaki sıcaklık oluşumu ve efektif gerilme değerlerini tahmin ederek deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Kesici takımında oluşan en yüksek sıcaklık 610°C olarak gerçekleşmiştir. 0.6 sürtünme katsayısı için kesme kuvveti ve sıcaklık değerlerinin deneysel sonuçlar ile iyi bir uyum gösterdiğini ifade etmişlerdir. Yıldız ve ark. (2020) AISI 1050 çeliğinin delinmesinde kesici takım kaplaması, kesme hızı ve ilerleme hızı gibi kesme parametrelerinin kesme kuvvetlerine etkilerini incelemişlerdir. Deform-3D programı kullanarak kesme parametrelerinin matkap ucunda oluşan gerilmelere etkilerini analiz etmişlerdir. İşlenebilirlikte takım-talaş ara yüzeyinde gerçekleşen olayları anlamının en önemli kriteri sürtünme şartlarını belirlemektir. İşlenebilirlik açısından sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak güvenilir tahminler yapılabilir.

Talaş kaldırma, daha yumuşak bir malzemenin (iş parçası) daha sert bir malzeme (kesici takım) ile yüksek basınç altında kesilerek plastik deformasyona maruz kalma sürecidir. Bu süreçte temas halinde olan takım-iş parçası arasında oluşan sürtünme pek çok faktörü etkilemektedir. (Maranhao ve Davim, 2012). Budak ve Ozlu (2008), talaş kaldırma işleminde birinci deformasyon bölgesinde, Johnson-Cook malzeme modelini, ikinci deformasyon bölgesinde ise kayma ve yapışma modellerini kullanarak kesme simülasyonları yapmışlardır. Gök (2015), AISI 1045 çeliğinin tornalaması sırasında oluşan kesme kuvveti ve sıcaklık değerlerini deneysel ve nümerik olarak kıyaslamıştır. Kurt (2009), Inconel 718'in tornalanmasında oluşan kesici takım gerilmelerini farklı kesme parametrelerinde ANSYS yazılımı kullanılarak sonlu elemanlar metodu (SEM) ile analiz etmiştir. Özel (2009), AISI 4340 çeliğinin tornalamasında oluşan kesme kuvvetleri, talaş geometrisi, takım aşınması, sıcaklık dağılımları ve kesici takım gerilmelerini incelemiştir. Attanasio ve ark. (2008), takım aşınmasını analiz edebilmek için analitik bir model kullanmışlardır. AISI 1045 çeliğinin kaplanmamış WC takımlarla tornalamasında elde edilen deneysel verilerle, sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen analiz sonuçlarını karşılaştırarak ikisi arasında iyi bir uyum olduğunu göstermişlerdir. Ucu ve Aslantaş (2011), AISI 4340 çeliğinin işlenmesinde kaplama (TiCN+Al₂O₃+TiN ve Al₂O₃) tipinin kesme kuvveti, kesici takım gerilmeleri ve sıcaklık üzerindeki etkilerini incelemiştir. Binder ve ark. (2017), metal kesmede takım aşınmasını simüle etmek için sonlu eleman tabanlı bir metodoloji geliştirmişlerdir. Bu modele göre takım-talaş yüzeyi ve yanak aşınmasını simüle ederek takım aşınma sürecini tahmin etmişlerdir. Attanasio ve ark. (2017), Inconel 718'in delme işleminde takım aşınmasını simüle etmek için takım geometri güncellemesini hesaba katan SFTC Deform-3D FEA yazılımını geliştirmiş ve uygulanmışlardır.

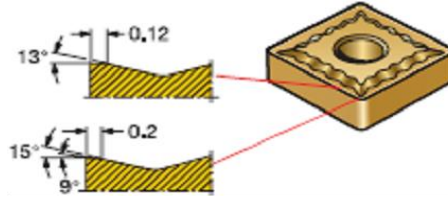
Literatür çalışmaları incelendiğinde, deneysel talaş kaldırma çalışmaların, sonlu elemanlar metoduna dayalı çözümlere yapan programlarla kıyaslandıkları görülmektedir. Sonlu elemanlar yönteminin uygulandığı birçok çalışmada, çoğunlukla tornalama işlemi ve özellikle talaş oluşturma işlemi sıklıkla 2B olarak incelenmiş ve çoğunlukla iş parçası ele alınmıştır (Xiong ve ark., 2018; Borsos ve ark., 2017; Kherraf ve ark., 2019). Ancak, bu çalışmaların hiçbirinde takım ve talaş ara yüzeyinde oluşan sürtünmeye katsayısına odaklanılmamıştır. Sürtünmeye katsayısı takım-talaş ara yüzeyinde kesme kuvvetleri, sıcaklık, kesici takım gerilmeleri ve takım aşınması gibi karakteristikleri

belirleyen en önemli unsurlardan biridir. Bu çalışmada, AISI 1050 çeliğinin tornalanması sırasında oluşan kesme kuvvetleri deneysel olarak belirlenmiş ve kullanılan kesme parametreleri, simülasyon işlemlerinde de referans alınarak, takım-talaş ara yüzeyinde oluşan sürtünmenin kesme kuvvetleri, sıcaklık ve kesici takım gerilmeleri üzerine etkisi 5 farklı sürtünme katsayısı seçilerek nümerik olarak analiz edilmiştir.

MATERYAL VE METOT

Deneysel Metot

Deneylerde iş parçası malzemesi olarak makine imalat sanayinde geniş bir alanda kullanılan AISI 1050 çeliği kullanılmıştır. Kesme hızı, takım ömrünü belirlemede önemli bir faktördür. Kesme parametrelerinin belirlenmesinde en önemli faktör, iş parçası ve kesici takım malzeme çiftinin özellikleridir. Kesme parametrelerinin seçiminde ISO 3685 ve takım üreticilerinin kesici takım için önerdiği değerler dikkate alınarak, üç farklı kesme hızı (300, 350 ve 400 m/dk), iki farklı ilerleme oranı (0.2 ve 0.4 mm/dev) ve iki farklı kesme derinliği (1 ve 2 mm) seçilmiştir. Deneylerde, Sandvik marka SNMG formundaki TiCN+Al₂O₃+TiN kaplamalı (4225 grade) sementit karbür kesici takım kullanılmıştır. Kesici takım uç burun yarıçapı (r) 1.2 mm ve QM talaş kırıcı geometrisine sahiptir. Takım tutucu olarak yanaşma açısı (χ) 75° olan PSBNR 2525M12 kullanılmıştır. Kesici takıma ait talaş kırıcı geometrisi Şekil 1’de verilmiştir.



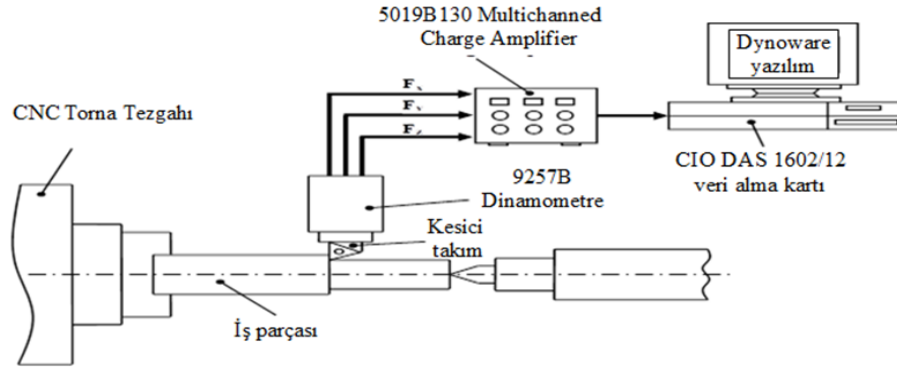
Şekil 1. Kesici takımın talaş kırıcı geometrisi

Deney numuneleri olarak 45 mm çapında AISI 1050 çeliği kullanılmıştır. Deneylere başlanmadan önce numunelerin dış yüzeylerinden üretim metodundan kaynaklı paslanma, yüzey sertleşmesi ve haddeleme gibi etkileri minimize etmek amacıyla CNC torna tezgâhında 1 mm kesme derinliğinde talaş kaldırılmıştır. Kesme deneyleri, Çizelge 1’de verilen kesme parametrelerine göre JOHNFORD T35 CNC torna tezgâhında yapılmış ve tornalama boyu 25 mm olarak seçilmiştir.

Çizelge 1. Deneysel parametreler

Takım tutucu	: PSBNR, 2525M12
Kesici takım	: SNMG 1204...
Uç yarıçapı, (r , mm)	: 1.2
Talaş kırıcı açısı, (γ)	: QM, 13°
Kesme hızı (V), m/dk	: 300-350-400
İlerleme oranı (f), mm/dev	: 0.2-0.4
Kesme derinliği (a), mm	: 1-2

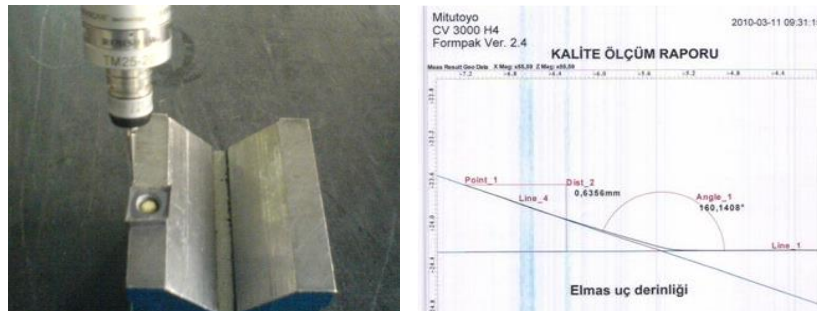
Deneysel kesme kuvvetleri *Kistler 9257B* tipi dinamometre kullanılarak ölçülmüştür. Deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 2’de verilmiştir. Dinamometrede dört adet kuvvet sensörü vardır. Her bir sensör, x, y ve z eksenleri doğrultusunda basınca duyarlı üç parçalı kuartz plaklardan oluşmaktadır. Dinamometre tarafından hissedilen gerilim değerleri amplifikatör yardımıyla bilgisayar ortamına aktarılmakta ve Dynoware yazılımı ile kesme kuvveti değerleri tespit edilebilmektedir. Dinamometrenin kalibrasyonu, imalatçı firmanın dinamometre ile birlikte verdiği kalibrasyon değerlerini (data sheet) bilgisayar programına girdikten sonra program otomatik olarak kalibrasyon ayarlarını gerçekleştirmektedir. Dinamometre CNC torna tezgâhında taretine bağlanmıştır.



Şekil 2. Kesme deneyleri için hazırlanan deney düzeneği (Kurt, 2006)

Nümerik Analiz

Sonlu elemanlar yöntemiyle analizlerde talaş kaldırma süreci simülasyon zamanına, eleman sayısına, büyüklüğüne ve tipine bağlı olarak zaman alan bir süreçtir. Bu nedenle, daha önce yapılan çalışmalar ve simülasyon programı dikkate alınarak simülasyon süreci optimize edilmeye çalışılmıştır. Tornalama simülasyonu Deform-3D Machining modülü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Machining modülü *Pre* (ön işlemci), *Simulate* (simülatör) ve *Post* (son işlemci) olarak üç bölümden oluşmaktadır. *Pre* bölümü simülasyon için kesme parametrelerinin girildiği, *Simulate* bölümü girilen parametrelere göre simülasyon işleminin yapıldığı, *Post* bölümü ise analiz sonuçları simülasyon ekranından görüntülenebildiği bölümdür. Literatürde simülasyon çalışmalarında genellikle sürtünme katsayısı 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 veya 0.7 olarak seçilmiştir. Bu çalışmada, optimum sürtünme katsayısını belirlemek için yukarıda belirlenen 5 farklı sürtünme katsayısı programa girilerek analizler yapılmıştır. Kesici takım ölçülerini elde etmek için üretici firma katalog bilgileri ve Mitutoyo CV Hexagon 3 boyutlu koordinat ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil 3). SolidWorks yazılımı kullanılarak kesici takımın üç boyutlu katı modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan katı model daha sonra STL dosya uzantısı kullanılarak *Deform-3D Pre* modülüne aktarılmıştır. Ardından kesici takım $\chi=75^\circ$ yanaşma açısına göre x , y , z koordinatlarında konumlandırılmıştır.



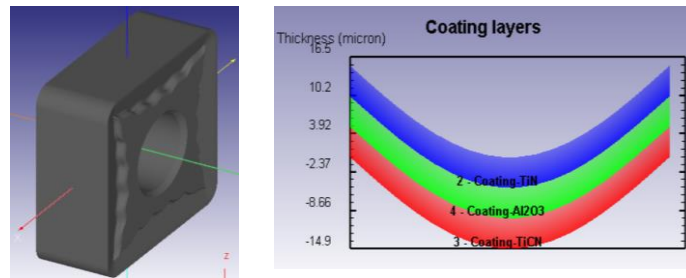
Şekil 3. Ölçüm cihazı ve ölçüm raporu

Programın malzeme kütüphanesine AISI 1050 çeliği için Johnson-Cook malzeme parametreleri girilmiştir. İş parçası malzemesi, izotropik sertleşmeye sahip elasto-plastik olarak modellenmiş olup akma gerilmesi, Johnson-Cook yapısal modeline (JC modeli) dayalı olarak gerinim, gerinim hızı ve sıcaklığın fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Metal kesme işleminde büyük plastik deformasyonların oluşması nedeniyle iş parçası malzemesi gerinim sertleşmesine maruz kalır. Metal kesmeyi simüle etmek için yaygın olarak kullanılan JC modeli, yüksek gerinim ve gerinim oranları içeren mekanik prosesleri modellemek için çok kullanışlıdır. JC modeli, iş parçası malzemelerinin akış gerilim davranışını gerinim, gerinim hızı ve sıcaklığın çarpımsal etkileri olarak ele alan bir modeldir. Johnson-Cook yapısal modeline dayalı akış gerilim denklemi, Eşitlik 1'de verilmiştir (Özel, 2009).

$$\sigma = (A + B \cdot \bar{\epsilon}^n) \cdot [1 + C \cdot \ln(\dot{\epsilon} / \dot{\epsilon}_0)] \cdot [1 - \{(T - T_r) / (T_m - T_r)\}^m] \quad (1)$$

Eşitlik 1'deki A , malzemesinin akma gerilmesi ve B gerinme sertleşmesi katsayısı olup n , C , $\dot{\epsilon}_0$ ve $\dot{\epsilon}$ sırasıyla gerinme sertleşmesi üssü, gerinme hızı sertleşme üssü, plastik gerinme oranı ve referans gerinme hızıdır. $\bar{\epsilon}$, eşdeğer plastik gerinim, T , mutlak sıcaklık, T_m malzemenin ergime sıcaklığını, T_r ortam sıcaklığı ve m ise termal yumuşama katsayısıdır.

AISI 1050 iş parçası için JC akma gerilmesi modeli kullanılmıştır. AISI 1050 için Johnson-Cook parametreleri simülasyon programına, A : 880 MPa, B : 500 MPa, n : 0.234, C : 0.0134, m : 1 ve T_m : 1733°K olarak girilmiştir (Aslan, 2014). Kesici takım malzeme bilgileri ve kaplama bilgileri için programın malzeme kütüphanesindeki veriler kullanılmıştır. Kesici takım için sementit karbür (WC) malzemesi tanımlanmıştır. Simülasyon programında kesici takım kaplamaları olarak her biri için 5 µm kalınlığında sırasıyla TiCN, Al2O3 ve TiN kaplama katmanları oluşturulmuştur (Şekil 4).



Şekil 4. Modellenen kesici takım ve kaplamaları

Deform-3D simülasyon programına girilen kesici takım ve iş parçası malzeme özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Kesici takım ve iş parçası malzeme özellikleri

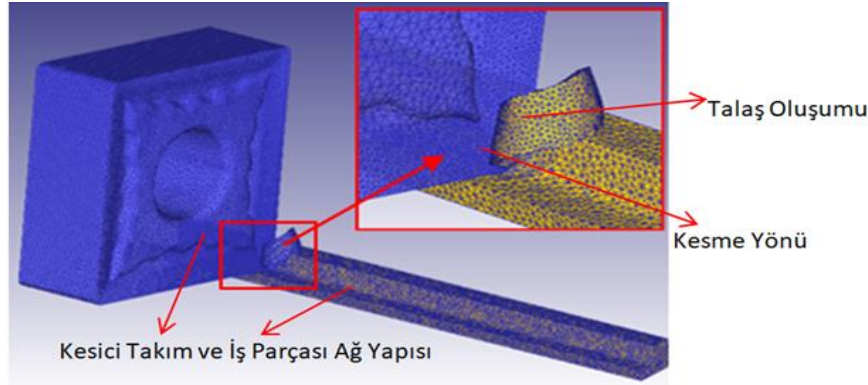
Malzeme	AISI 1050 (Tang, 2006)	WC
Elastikiyet modülü, GPa	208	650
Yoğunluk, kg/m ³	7860	11 900
Poisson oranı	0.297	0.25
Isıl iletkenlik, W/m ^o K	49.5	100
Isıl genleşme, 10 ⁻⁶ /°C	11.65×10 ⁻⁶	5×10 ⁻⁶
Özgül ısı, J/kg ^o K	477	334

Sonlu eleman modellemesinde çözümlene doğruluğu için problem geometrisini uygun boyutta elemanlara bölmek (meshing) çok önemlidir (Soldani ve ark., 2008). Ağ oluşturma işlemi sırasında dikkate alınması gereken birçok konu vardır, ancak bunlar daha fazla iş yükü gerektirir. Ağ elemanların boyutu veya sayısı, elde edilecek sonuç dosyasının boyutu, hesaplama doğruluğu ve simülasyonun süresi üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Bu nedenle, elemanların sayısı veya boyutu, her açıdan tartılarak doğru bir şekilde belirlenmelidir. Ağ oluşturma işlemi kesici takımın iş parçasıyla temas ettiği burun yuvarlatma yarıçapı çevresinde daha yoğun eleman olacak şekilde oluşturulmuştur. Programdaki talaş ayırma kriteri, temas halindeki herhangi bir düğüm 0.1'den büyük bir çekme kuvvetine veya basınca maruz kaldığında normal ayrılma meydana gelir. Literatürde belirtilen öneriler dikkate alınarak (Soldani ve ark., 2008; Küçüktürk, 2013), simülasyon tipi olarak Lagrange artımlı simülasyon kullanılmıştır.

Analiz Prosedürü

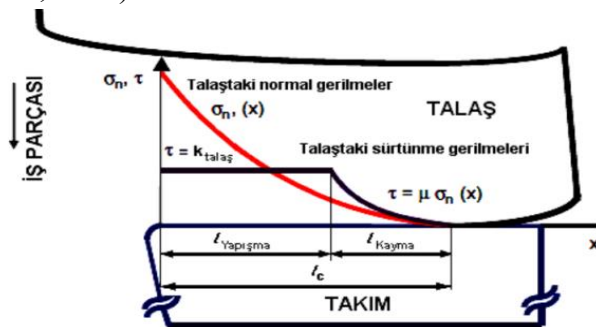
Program tarafından “.db” uzantılı olarak kaydedilen simülasyon veri tabanı dosyası, simülasyon tamamlandıktan sonra ön işlemler panelindeki “Die Stress Analysis” modülünde açılmış ve analiz

edilecek adım seçilmiştir. Kesici takıma etki eden kesme kuvvetleri programda interpolasyon ile belirlenir. İlk olarak simülasyondaki kesme kuvveti F_c değeri için deneysel değere en yakın kesme konumunu gösteren adım veya süre belirlenmiş ve daha sonra gerilme analizi için seçilmiştir. Seçilen bu adım/zaman için sadece kesici takım gerilmeleri incelenmiştir. AISI 1050 çeliğinin simülasyonunda, ısı transfer sabiti $45 \text{ N/s/mm/}^\circ\text{C}$ ve oda sıcaklığı 20°C olarak seçilmiştir (Yanda ve ark., 2009). Simülasyonlarda talaş oluşum süreci seçilen mesh boyutu ve elman sayısına bağlı olarak oldukça uzundur. Simülasyonların temel amacı, gerçek çözüme mümkün olduğunca yaklaşımdır. Simülasyonlarda kesme uzunluğu bu sebeple 15 mm , iş parçası geometrisi ise sadeleştirilmiş model olarak belirlenmiştir. Simülasyonlarda ısı transferinin etkisi dikkate alınarak daha doğru sonuçlar elde edilebilir. Deform-3D simülasyonlarında, kesici takım uç kısmında yoğun olacak şekilde takım için minimum eleman boyutu 0.1 mm alınarak yaklaşık 367000 eleman ve iş parçası ise yaklaşık 130000 eleman olarak seçilmiştir. Simülasyonlar sırasında bazı adımlardan elde edilen tipik bir talaş oluşturma süreci ve ağ oluşumu Şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 5. Deform-3D programında talaş oluşumu

Takım-talaş ara yüzeyinde oluşan sürtünme kesme kuvvetleri, sıcaklık, takım-talaş temas uzunluğu gibi pek çok veriyi birinci dereceden etkilemektedir. Zorev tarafından ortaya konulan sürtünme modeli takım-talaş arasındaki ilişkiyi tanımlayan modellerden birisidir. Zorev modelinde, takım-talaş ara yüzeyini yapışma bölgesi ve kayma bölgesi olarak ikiye ayırmıştır, Şekil 6. Yapışma bölgesini çok yüksek gerilmelerin plastik deformasyona sebep olduğu ve takım ucuna yakın bölge olarak, kayma bölgesini ise, yapışma bölgesinden başlayarak takım-talaş temasının kesildiği yere kadar olan mesafe olarak tanımlamıştır. Sürtünme modelinin her iki bölge için farklı olması gerektiği ifade etmişlerdir (Ucun ve ark., 2010).



Şekil 6. Zorev sürtünme modeli (Ucun ve ark., 2010)

Kayma sürtünme modeli takım-talaş ara yüzeyindeki, yapışma uzunluğu boyunca kayma gerilmesinin sabit olduğu ve iş parçasının kayma akma gerilmesi ($k_{talaş}$) ile ilişkili olduğu şeklindedir. Eşitlik 2'de verilen modelde kayma gerilmesi ve kayma akma gerilmesi arasındaki ilişki;

$$\tau = m \cdot k_{talaş} \quad (2)$$

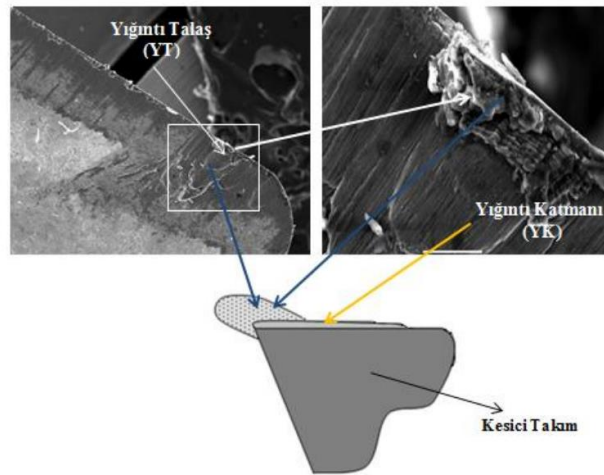
olarak tanımlanır. Buradaki τ , m , $k_{talaş}$ sırasıyla kayma gerilmesi, kayma sürtünme katsayısı ve iş parçası malzemesinin kayma akma gerilmesidir (Ucun ve ark., 2010).

Simülasyonlarda ise Eşitlik 3’de verilen Coulomb sürtünme modeli kullanılmıştır. Coulomb sürtünme modeli ise kayma bölgesinin parabolik olarak değiştiği varsayımına dayanmaktadır ve kayma gerilmesi, sürtünme katsayısı ve normal erilmeye bağlı olarak değişmektedir. Bu modelde kayma bölgesinde oluşan kayma gerilmesi;

$$\tau = \mu \sigma_n \quad (3)$$

şeklinde tanımlanır. Formüldeki τ , μ ve σ_n sırasıyla takım yüzeyindeki kayma gerilmesi, sürtünme katsayısı ve normal gerilmedir (Ucun ve ark., 2010).

Talaş kaldırma işleminde önemli bir diğer faktör ise kesici takım aşınma mekanizmalarıdır. Yapışma aşınma mekanizması özellikle sünek malzemelerin işlenmesinde meydana gelmekte ve talaşın kesici takım yüzeyine eklenmesi şeklinde gerçekleşir (Kendall, 1995). İş parçası malzemesinin Şekil 7’de görüldüğü gibi, takımın talaş yüzeyine fazlaca yapışmasına yığıntı talaş (YT), geniş alana yapışarak oluşturduğu ince katmana ise yığıntı katmanı (YK) denir. Özellikle kesme hızına bağlı olarak kesici takım yüzeyinde oluşan sıcaklık ve gerilmeler takım üzerinde YK ve YT oluşmasına neden olur. Kesici takım üzerindeki bu oluşumların bir nedeni de iş parçasının kimyasal yapısıdır (Gökçe ve Biberici, 2022; Özbek ve Saruhan, 2020).

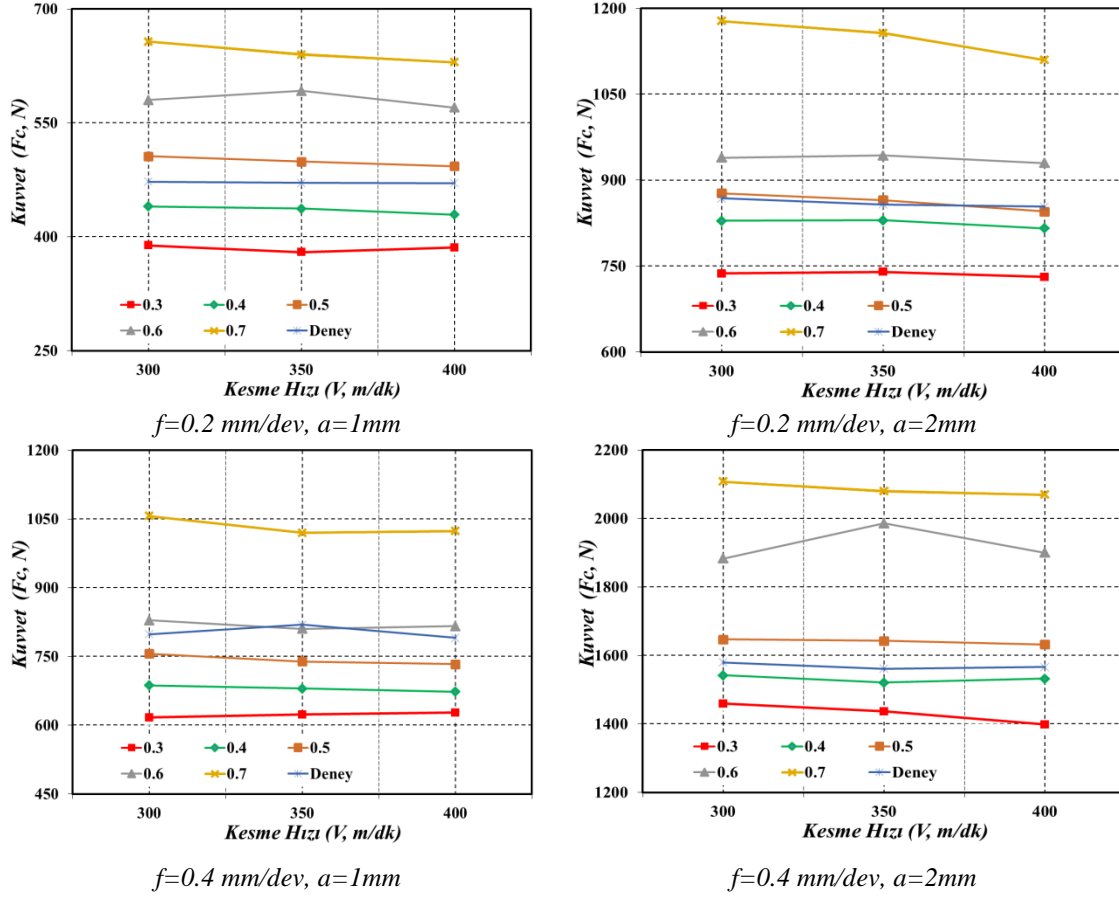


Şekil 7. Takım üzerindeki YT ve YK oluşumu (Sekmen ve ark., 2015)

BULGULAR VE TARTIŞMA

Kesme hızına göre esas keme kuvveti (F_c) değişimleri Şekil 8’de gösterilmektedir. Grafiklerde dinamometre ile ölçülen ve kesme simülasyonları ile elde edilen kesme kuvvetleri verilmiştir. Beş farklı sürtünme katsayısı, iki farklı ilerleme oranı ve kesme derinliğinde elde edilen sonuçlara göre genel olarak 0.6 ve 0.7 sürtünme katsayılarında elde kesme kuvvetleri deneysel sonuçlardan yüksek 0.3 ve 0.4 sürtünme katsayılarında ise düşüktür. Deneysel sonuçlara en yakın sonuçlar 0.5 sürtünme katsayısında elde edilmiştir. Analizler sürtünme katsayısının artmasıyla kesme kuvvetlerinin yükseldiği ve düşmesiyle de azaldığı görülmüştür (Özel, 2009). Deneysel sonuçlara en yakın analiz sonuçları sürtünme katsayısının 0.4 ve 0.5 olarak seçildiği değerlerdir. Sürtünme katsayısının 0.4 seçildiği analizlerde kesme kuvvetleri deneysel sonuçlardan %11 daha küçük, sürtünme katsayısının 0.5 seçildiği analizlerde ise deneysel sonuçlardan %4 daha büyük çıktığı görülmüştür. Sürtünme katsayısının 0.3 olduğu analizlerde deneysel sonuçlardan %18 daha küçük, sürtünme katsayısının en yüksek seçildiği 0.7’de ise deneysel sonuçlardan %26 daha büyük değerler çıkmıştır. Sürtünme katsayısının 0.6 ve 0.7 seçildiği değerlerde deneysel sonuçlardan uzaklaşıldığı görülmüştür.

Simülasyon sonuçlarında görüleceği gibi kesme parametreleri değiştirilmediği halde sürtünme katsayısının 0.3'ten 0.7'ye çıkmasıyla kesme kuvvetlerinde yaklaşık %58'lik bir artış meydana gelmektedir. Bu sonuçlar talaş kaldırma işleminin karakteristiğini belirleyen en önemli unsurlardan birinin sürtünme koşulları olduğunu göstermektedir.

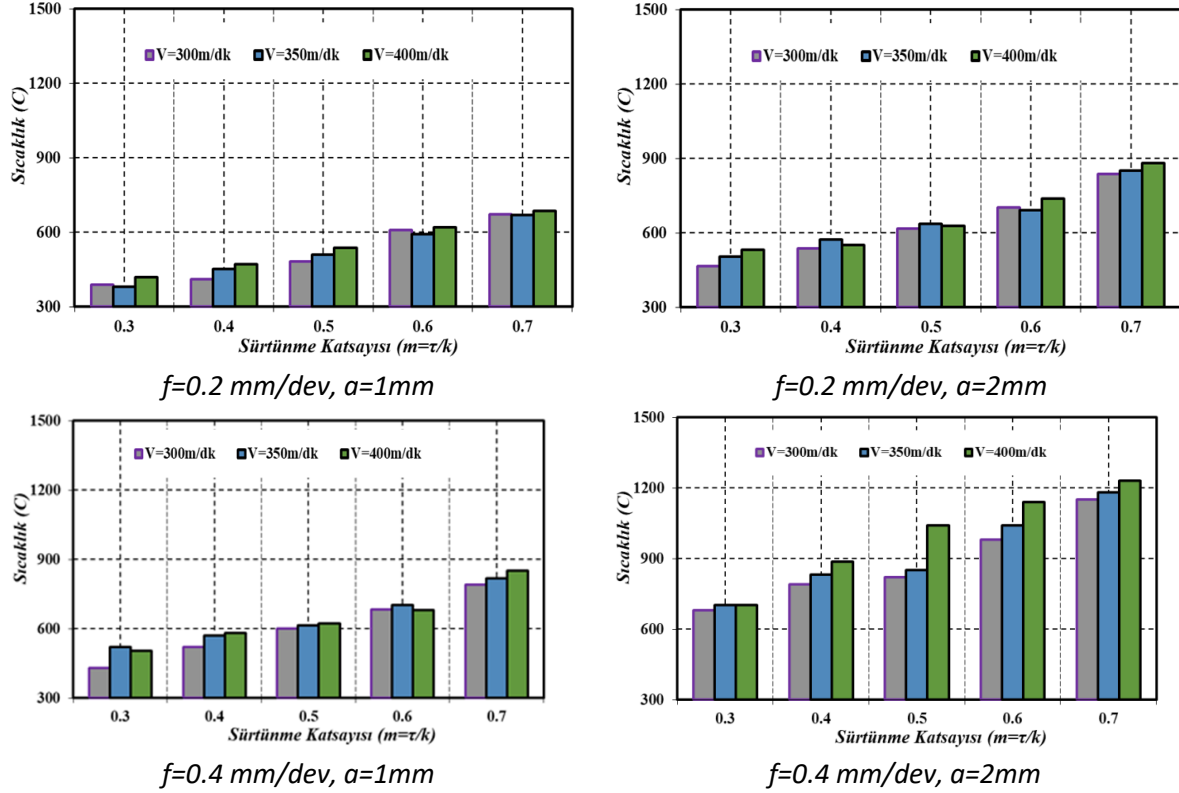


Şekil 8. Sürtünme katsayısı-kesme hızının kesme kuvvetlerine etkisi

Kesme derinliği ve ilerlemenin artmasıyla kesme kuvvetleri de artmıştır. Talaş kesit alanı, ilerleme ve kesme derinliğinin artmasıyla genişler ve genişleyen talaş kesit alanı, talaşı çıkarmak için gereken enerjiyi artırır. Bu nedenle, kesme kuvvetlerinde artışlar görülmüştür. Deneysel sonuçlara göre 0.2 mm/dev ilerleme oranında, kesme derinliğinin 1 mm'den 2 mm'ye çıkmasıyla kesme kuvvetlerinde %82, 0.4mm/dev ilerleme değerinde ise %95 artış olmuştur. Kesme derinliği 1 mm ve ilerleme oranının 0.2 mm/dev'den 0.4 mm/dev'e çıktığında kesme kuvvetlerinde %70, 2 mm kesme derinliğinde ise bu artış %71 olarak gerçekleşmiştir. Kesme derinliği ve ilerleme oranının kesme kuvveti üzerindeki etkileri simülasyon sonuçlarında da benzer şekilde görülmüştür. Kesme hızının kesme kuvvetleri ve farklı sürtünme katsayıları üzerine etkisi Şekil 8'de, deneysel ve analiz sonuçlarında kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetlerinde bir miktar azalma olduğu gözlenmiştir. Kesme hızının kesme kuvvetleri üzerine etkisi, sürtünme katsayısı ve ilerleme oranı ile kıyaslandığında oldukça düşük olduğu görülmektedir.

Şekil 9'da deneysel parametreler referans alınarak Deform-3D simülasyon programında farklı sürtünme katsayılarında elde edilen kesici takım sıcaklıkları verilmiştir. Sürtünme katsayısı arttıkça kesici takım sıcaklığının da arttığı gözlenmiştir. 1 mm kesme derinliğinde sürtünme katsayısı 0.3'ten 0.4'e çıktığında kesici takım sıcaklığı, 0.2 ve 0.4 mm/dev ilerleme oranında sırasıyla %12 ve %14, 0.4'ten 0.5'e çıktığında %14 ve %9, 0.5'den 0.6'ya çıktığında %18 ve %12, 0.6'dan 0.7'e çıktığında ise %11 ve %18'lik bir artış gerçekleşmiştir. 2 mm kesme derinliğinde de yine aynı şekilde benzer bir

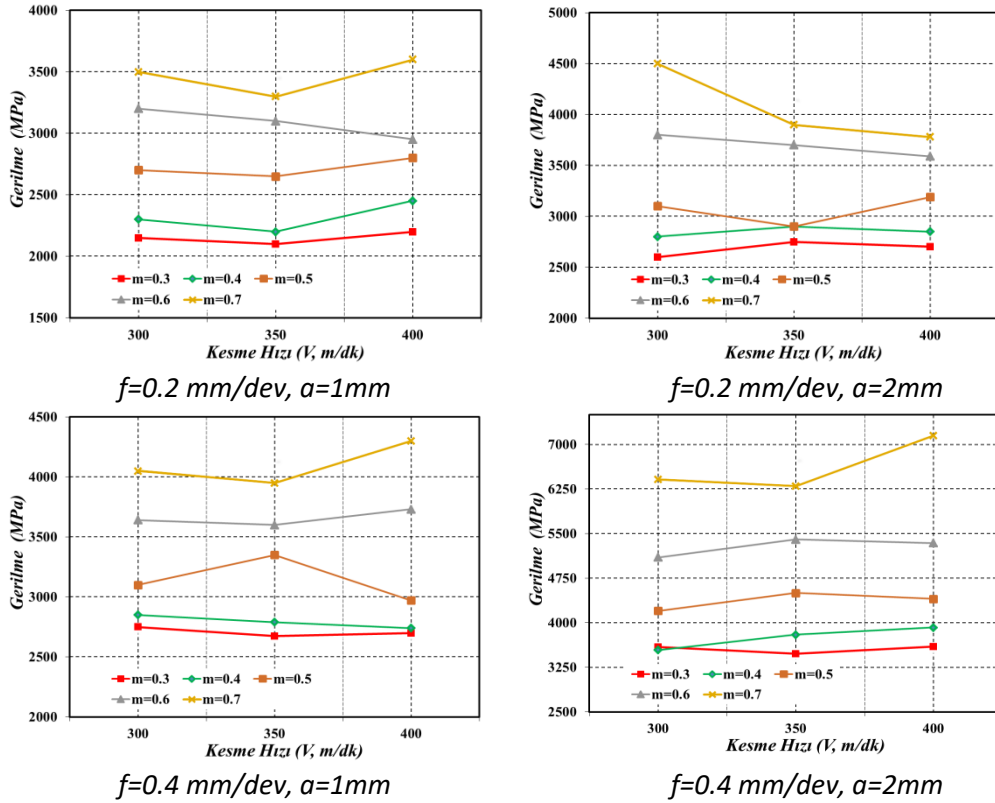
artış eğilimi gözlenmiştir. En yüksek kesici takım sıcaklığı sürtünme katsayısının 0.7 seçildiği 400 m/dk kesme hızı ve 2 mm kesme derinliğinde 1290°C olarak gerçekleşirken, en düşük kesici takım sıcaklığı sürtünme katsayısının 0.3 seçildiği 350 m/dk kesme hızı ve 1 mm kesme derinliğinde 380°C olarak gerçekleşmiştir.



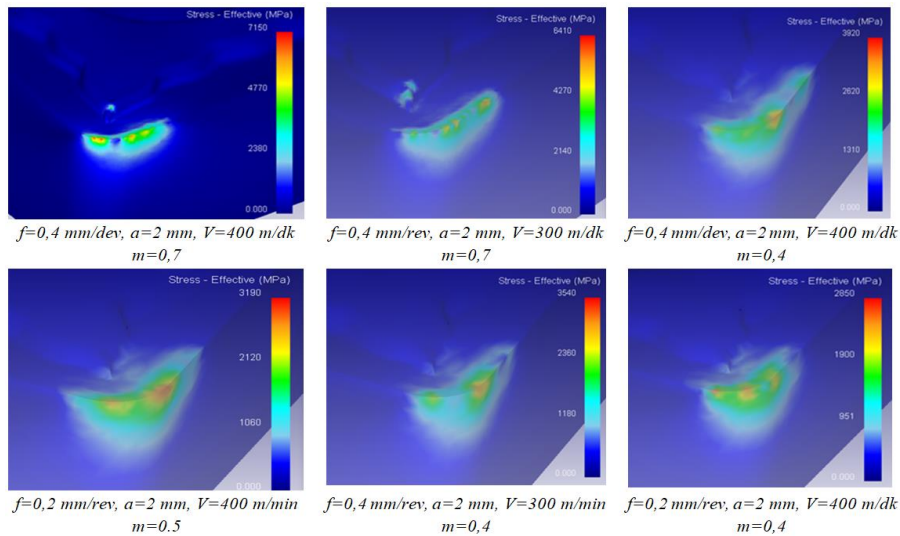
Şekil 9. Sürtünme katsayısının kesici takım sıcaklığı üzerine etkisi

Kesme hızının kesici takım uç sıcaklığı üzerine etkisi incelendiğinde kesme hızının artmasıyla genel olarak sıcaklığında arttığı görülmüştür. Bu artış sürtünme katsayısı kadar etkili değildir. Simülasyon sonuçları kesme işleminde seçilmiş bir bölgenin ortalamasıdır yani kısmen karardır. Kesme simülasyonları tüm deneyler için aynı prosedür kullanılarak yapılmasına rağmen, bazı deneyler için simülasyon sonuçları ve deneysel sonuçlar birbirine çok yakındır. Ancak seçilen bölgenin konumu nedeniyle bazı deneyler için farklı sonuçlar elde edilmiştir. Simülasyon sonuçları ile deneysel sonuçlar arasındaki farkın bir başka nedeni de iş parçası malzemesi için seçilen malzeme modelinin etkisi olarak düşünülebilir. Ancak simülasyonlarla 0.4 ve 0.5 sürtünme katsayılarında elde edilen F_c esas kesme kuvveti sonuçları ile kesme deneylerinde ölçülen deneysel sonuçlarının genellikle birbirine paralel olduğu söylenebilir.

Sürtünme katsayısının efektif gerilmeye (von Mises gerilmesi, SE_{QV}) etkisi Şekil 10'da verilmiştir. SE_{QV} , kesici takım kesme performansını değerlendirmek, olası aşınma ve hasar durumlarının yerlerini tahmin etmek için kullanılmaktadır. En yüksek SE_{QV} gerilimi sürtünme katsayısının 0.7 olduğu 400 m/dk, 0.4 mm/dev ilerleme ve 2 mm kesme derinliğinde 7150 MPa olarak gerçekleşmiştir. Kesme kuvvetlerinde deneysel sonuçlara en yakın sonuçların elde edildiği, sürtünme katsayısının 0.4 ve 0.5 olduğu değerlerde SE_{QV} gerilmeleri 2200 MPa ile 4500 MPa aralığında oluşmuştur. Gerilmelerin sürtünme katsayısı, genişleyen talaş kesit alanı nedeniyle ilerleme ve kesme derinliğinin artmasıyla arttığı görülmüştür. Kesme hızı değişiminin ise gerilmeler üzerinde bir etkisinin olmadığı söylenebilir.

Şekil 10. Sürtünme katsayısının S_{EQV} gerilmelerine etkisi

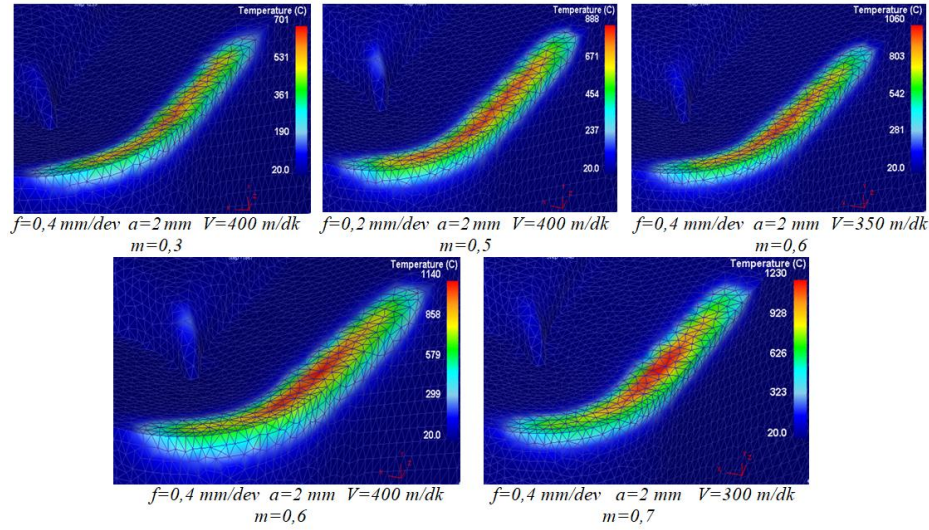
Şekil 11'e göre efektif gerilmeler genellikle kesici takım ucunda kesici kenar çevresinde, kesme yüzeyi veya talaş yüzeyi üzerinde yoğunlaşmakta ve kesme derinliği boyunca da etkisini göstermektedir. Kesici takım üzerindeki gerilmeler, özellikle olası takım aşınması veya hasarının kesici takım burun yarıçapı boyunca keskin kenarlarda aşınma veya keskinliğini yitirmesi şeklinde olabileceği düşünülmektedir. Kesici takım üzerinde oluşabilecek bu körleşme kesme işlemini ve iş parçası yüzey kalitesini olumsuz etkileyecektir. Kesici takım ucunda YK veya YT oluşmasının nedeni, kesme hızı ve iş parçasının kimyasal yapısına bağlı olarak talaş kaldırma esnasında takım-talaş arasındaki sürtünmenin etkisiyle oluşan kesici takımdaki sıcaklık ve gerilmelerdir.



Şekil 11. Kesici takım gerilmeleri

Simülasyonlarda kesici takımın kesme performansını değerlendirmek ve olası aşınma yerlerini belirtmek açısından takım sıcaklık oluşum noktaları üzerinde durulmuştur. Kesici takım üzerindeki

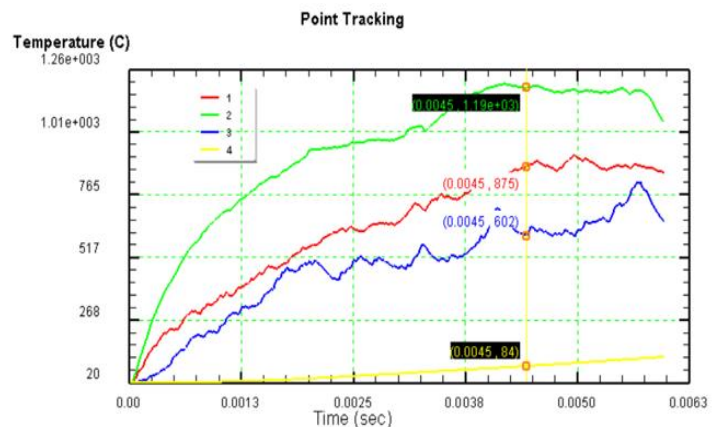
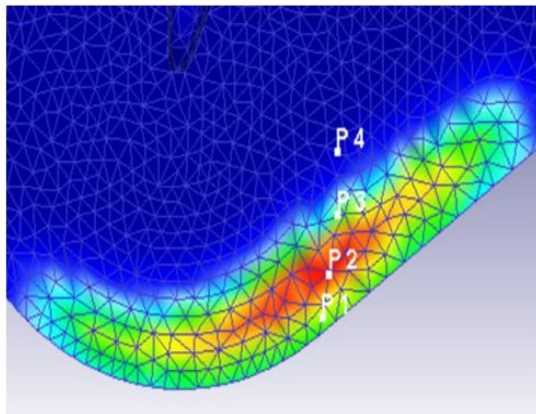
sıcaklık dağılımları Şekil 12’de verilmiştir. Bilindiği gibi kesici takım üzerinde oluşan sıcaklık dağılımları aynı zamanda takımda meydana gelebilecek olası hasar durumlarını tahmin etmek için kullanılmaktadır.



Şekil 12. Kesici takım sıcaklık dağılımları

Sürtünme katsayısı ve kesme hızı sıcaklık dağılımı üzerinde önemli etkiye sahiptir. Sıcaklıklar kesici takım burun yarıçapı boyunca ve hemen altında olduğu, talaş yüzeyi ve esas kesme kenarında, kesme derinliği mesafesine de etkili olduğu gözlenmektedir. Sürtünme katsayısının artmasıyla maksimum sıcaklık bölgelerinin talaş yüzeyi ve esas kesme kenarı boyunca arttığı gözlenmiştir. En yüksek takım sıcaklığı takım-talaş temas alanının uzamasına bağlı olarak takım uç burun yarıçapı ve esas kesme kenarı boyunca uzanarak 0.2 ve 1 mm derinlikte talaş akışının ve sürtünmenin olduğu bölgelerde maksimum düzeye ulaştığı görülmektedir. Takım aşınması yönüyle ele alındığında sıcaklığın maksimum olduğu talaş yüzeylerinde krater aşınmasının oluşabileceğini sürtünme katsayısının yüksek olduğu (0.6 ve 0.7) analizlerden tahmin edilebilmektedir.

Şekil 13’te sürtünme katsayısı 0.7 ve 300 m/dk kesme hızı, 0.4 mm/dev ilerleme ve 2 mm kesme derinliğinde yapılan analizde kesici takımın talaş yüzeyi ve uç yarıçapının farklı noktalarında oluşan 1230°C’lik sıcaklık dağılımı verilmiştir. P1 noktası takım ucuna daha yakın olmasına rağmen maksimum sıcaklık P2 noktası bölgesinde oluşmuş ve sıcaklık bu bölgede kesme süresince diğer tanımlanan noktalara göre daha hızlı bir şekilde yükselmiştir. Diğer noktadaki sıcaklık yükselmesi ise daha hafif eğimli seyrettiği görülmektedir.



Şekil 13. Kesici takımın farklı noktalarındaki sıcaklık dağılımları

SONUÇ

Bu çalışmada, AISI 1050 çeliğinin işlenmesinde sürtünme katsayısı, kesme hızı, ilerleme oranı ve kesme derinliği gibi kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Deform-3D programı ile çeşitli kesme simülasyonları yapılarak sürtünme katsayısının kesme kuvvetleri, sıcaklık, kesici takım gerilmeleri ve takım aşınmasına etkileri analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir:

- Simülasyon çalışmalarında sürtünme katsayısının 0.4 ve 0.5 olarak seçildiği değerlerde deneysel kesme kuvveti sonuçlarına daha yakın sonuçlar elde edilmiştir.
- Kesici takım gerilmelerinin genellikle takım uç yarıçapı boyunca, talaş yüzeyi ve yan yüzeyde yoğunlaştığı görülmüştür.
- Kesici takım sıcaklıkları sürtünme katsayısının yüksek seçildiği değerlerde yaklaşık 1230°C'ye kadar çıkmıştır. Sıcaklıkların kesici takım uç yarıçapı ve esas kesme kenarında kesme derinliği boyunca etkili olduğu, kesme kenarından 0.2 mm ila 1 mm uzaklıkta talaş yüzeyinde maksimum düzeye ulaştığı görülmektedir.
- Olası takım aşınma noktalarının takım uç yarıçapı, esas kesme kenarı ve talaş yüzeyi olduğu, aşınma tiplerinin ise talaş yüzeyinde krater aşınması, yan yüzey aşınması ve çentik aşınma şeklinde olabileceği değerlendirilmiştir.

Çalışmada uygulanan simülasyon analizleri delme, frezeleme gibi diğer talaşlı imalat işlemlerinde, mühendislik malzemelerine uygulanabilmektedir. Ayrıca kesici takım tasarımı, kesme performansının iyileştirilmesi ve optimum kesme parametrelerinin seçimine ilişkin değerlendirmeler kolaylıkla yapılabilmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Birimi (Proje Kodu: 07/2010-56) ve Deform yazılım lisansı sağlayan Türkiye distribütörü FİGES'e teşekkür ederim.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

- Aslan D, Budak E, 2014. Semi analytical force model for grinding operations. 6th CIRP International Conference on High Performance Cutting, Procedia CIRP, 14: 7-12.
- Attanasio A, Ceretti E, Rizzuti S, Umbrello D, Micari F, 2008. 3D finite element analysis of tool wear in machining. CIRP Annals -Manufacturing Technology, 57: 61-64.
- Attanasio A, Faini F, Outeiro JC, 2017. FEM simulation of tool wear in drilling. Procedia Cirp, 58: 440-444.
- Binder M, Klocke F, Doebbeler B, 2017. An advanced numerical approach on tool wear simulation for tool and process design in metal cutting. Simulation Modelling Practice and Theory, 70: 65-82.
- Borsos B, Csörgö A, Hidas A, Kotnyek B, Szabo A, Kossa A, Stepan G, 2017. Two-Dimensional Finite Element Analysis of Turning Processes Periodica Polytech. Mech. Eng., 61: 44-54.
- Budak E, Ozlu E, 2008. Development of a thermomechanical cutting process model for machining process simulations. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 57 (1): 97-100.
- Ezilarasan C, Velayudham A, 2017. Theoretical predictions and experimental validations on machining the Nimonic C-263 super alloy. Simulation Modelling Practice and Theory, 40: 192-207.

- Gök K., 2015. Development of three-dimensional finite element model to calculate the turning processing parameters in turning operations. *Measurement*, 75: 57-68.
- Gökçe H, Biberçi M. A, 2022. Investigation of thrust force, drill bit temperature and burr height in the drilling of aluminum alloy used in ammunition wing drive systems. *Experimental Techniques*, 46(4), 691-705.
- Kendall LA, 1995. Friction and Wear of Cutting Tools and Cutting Tool Material. *ASM Metal Handbook, Friction, Lubrication and Wear vol. 18*, ASM International, Ohio.
- Kherraf A, Tamerabet Y, Brioua M, Benbouta R, 2019. Chip formation process using finite element simulation “influence of cutting speed variation” *J. Solid Mech.* 4: pp. 854-861.
- Küçüktürk G, 2013. Modeling and analyzing the effects of experimentally determined torque and thrust force on cutting tool according to drilling parameters. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manuf.*, 227: 84-95.
- Kurt A, 2009. Modelling of the cutting tool stresses in machining of Inconel 718 using artificial neural networks. *Expert Systems with Applications*, 36 (6): 9645-9657.
- Kurt, A, 2006 . Talaş Kaldırma Sırasında Oluşan Kesme Kuvvetleri ve Mekanik Gerilmelerin Deneysel Olarak İncelenmesi ve Matematiksel Modellerin Oluşturulması. *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 4: 25-30, 44-53, 108-112.
- Maranhao C, Davim J P, 2012. The role of flow stress and friction coefficient in fem analysis of machining. *Rev. Adv . Mater. Sci.*, 30: 184-188.
- Özbek O, Saruhan H, 2020. The effect of vibration and cutting zone temperature on surface roughness and tool wear in eco-friendly MQL turning of AISI D2. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(3), 2762-2772.
- Özel T, 2009. Computational modelling of 3D turning: Influence of edge micro-geometry on forces, stresses, friction and tool wear in PcBN tooling. *J. Mater. Pro. Techno*, 209 (11): 5167-5177.
- Sekmen M, Günay M, Şeker U, 2015. Alüminyum alaşımlarının işlenmesinde kesme hızı ve talaş açısının yüzey pürüzlülüğü, yığıntı talaş ve yığıntı katmanı oluşumu üzerine etkisi. *Politeknik dergisi*, 18(3): 141-148.
- Soldani X, Moufki A, Molinari A, Budak E, Özlü E, 2008. High speed machining of AISI 1050 Steel: modelling and experimental. *Int. J. Mater. Form.*, 1: 1439-1441.
- Tang SH, Kong YM, Sapuan SM, Samin R, Sulaiman S, 2006. Design and thermal analysis of plastic injection mould. *J. Mater. Pro. Techno*, 171(2): 259-267.
- Ucun İ, Aslantas K, 2011. Numerical simulation of orthogonal machining process using multilayer and single-layer coated tools. *Int J Adv Manuf Technol*, 54: 899-910.
- Ucun İ, Aslantaş K, Apaydın D, 2010. Çok Kaplamalı Kesici Takımla Tornalama İşleminin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Modellenmesi. *Electronic Journal of Machine Technologies*, 7(1): 69-82.
- Xiong Y, Wang W, Jiang R, Lin K, Shao M, 2018. Mechanisms and FEM simulation of chip formation in orthogonal cutting in-situ TiB₂/7050Al MMC. *Materials*, 11(4); 606.
- Yanda H, Ghani JA, Hassan C, 2009. Effect of rake and clearance angles on the wear of carbide cutting tool. *Department of Mechanical and Materials Engineering*, 4: 7-13.
- Yıldız A, Kurt A, Yağmur S, 2020. Finite element simulation of drilling operation and theoretical analysis of drill stresses with the deform-3D. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 104: 102153.

Atf İçin: Cüreoğlu, A., Şap, E. ve Uzun, M. (2023). PVD Yöntemi Kullanılarak Kaplanan PEEK Numunelerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 1189-1198.

To Cite: Cüreoğlu, A., Şap, E. & Uzun, M. (2023). Mechanical Analysis of PEEK Samples Coated Using PVD Method Examining the Features. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 1189-1198.

PVD Yöntemi Kullanılarak Kaplanan PEEK Numunelerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Arif CÜREOĞLU^{1*}, Emine ŞAP², Mahir UZUN¹

Öne Çıkanlar:

- PEEK
- PVD
- Seramik kaplama

Anahtar Kelimeler:

- PEEK
- Fiziksel Buhar biriktirme
- Seramik kaplama
- Mekanik özellikler

ÖZET:

Polimer malzemeler endüstride özellikle farklı makine elemanları olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar. Kullanıldıkları ortamlarda, metal malzemelere kıyasla aşınma dayanımları özellikle kimyasal ortamlar da söz konusu olduğunda oldukça düşüktür. Dolayısı ile polimer malzemeler, bu ortamlara daha dayanıklı elementler ile kaplanabilirlerse dayanımları çok daha yüksek olacaktır. Bu çalışmada, dayanımı artırabilmek amacıyla literatürde rastlanılmayan PEEK (polieter eter keton)'un PVD yöntemlerinden biri olan manyetik alan sıçratma yöntemi ile kaplaması gerçekleştirilmiştir. Altlık malzeme olarak 30x30 mm² boyutlarında kare kesitli, 3 mm kalınlığında 3 adet saf PEEK numuneler kullanılmıştır. Numunelerin yüzeyi, kalın taneliden ince taneliye doğru sırası ile 400, 600 ve 1200 numara kum zımparası ile yüzey pürüzlülük değeri ortalama Ra=0.248 olana kadar parlatılmıştır. Daha sonra PEEK numuneler PVD (Fiziksel Buhar Biriktirme) kaplama yöntemlerinden olan manyetik alanda sıçratma yöntemi kullanılarak biri VN diğeri ise CrY(V)N ile kaplanmıştır. Kaplama işleminden sonra numunelere sertlik ve aşınma testi uygulanmıştır. Sonuç olarak, saf haldeki PEEK numuneye göre VN kaplanmış PEEK numunenin sertlik değerinin %34 arttığı, CrY(V)N kaplanmış PEEK numunede ise sertlik değerinin yaklaşık %40 arttığı görülmüştür. Aşınma deneyi ile ilgili olarak yükteki artış sonucunda, numunelerde aşınma kayıpları da artmıştır. En yüksek kütle kaybının CrY(V)N ve VN kaplı numunede olduğu görülmüştür.

Mechanical Analysis of PEEK Samples Coated Using PVD Method Examining the Features

Highlights:

- PEEK
- PVD
- Ceramic Coating

Keywords:

- PEEK
- Physical Vapor Deposition Method
- Ceramic Coating
- Mechanical Properties

ABSTRACT:

Polymer materials are widely used in industry, especially as different machine elements. In the environments in which they are used, their abrasion resistance is very low compared to metal materials, especially when it comes to chemical environments. Therefore, if polymer materials can be coated with elements that are more resistant to these environments, their strength will be much higher. In this study, coating of PEEK (polyether ether ketone), which is not encountered in the literature, with magnetic field sputtering method, which is one of the PVD methods, was carried out in order to increase the strength. Three pure PEEK samples with a square section of 30x30 mm² and a thickness of 3 mm were used as the base material. The surface of the samples was polished with 400, 600 and 1200 grit sandpapers, from coarse to fine grain, respectively, until the surface roughness value was Ra = 0.248. Then, PEEK samples were coated with one VN and the other with CrY(V)N using the magnetic field sputtering method, which is one of the PVD (Physical Vapor Deposition) coating methods. After the coating process, hardness and abrasion tests were applied to the samples. As a result, it was observed that the hardness value of the VN-coated PEEK sample increased by 34% compared to the pure PEEK sample, while the hardness value of the CrY(V)N-coated PEEK sample increased by approximately 40%. As a result of the increase in the load related to the wear test, the wear losses in the samples also increased. The highest mass loss was observed in the CrY(V)N and VN coated samples.

¹ Arif CÜREOĞLU ([Orcid ID: 0000-0002-7256-8792](https://orcid.org/0000-0002-7256-8792)), Mahir UZUN ([Orcid ID: 0000-0002-0907-6875](https://orcid.org/0000-0002-0907-6875)), İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye

² Emine ŞAP ([Orcid ID: 0000-0002-7739-0655](https://orcid.org/0000-0002-7739-0655)), Bingöl Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Bingöl, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Arif CÜREOĞLU, e-mail: a.cureoglu@hotmail.com

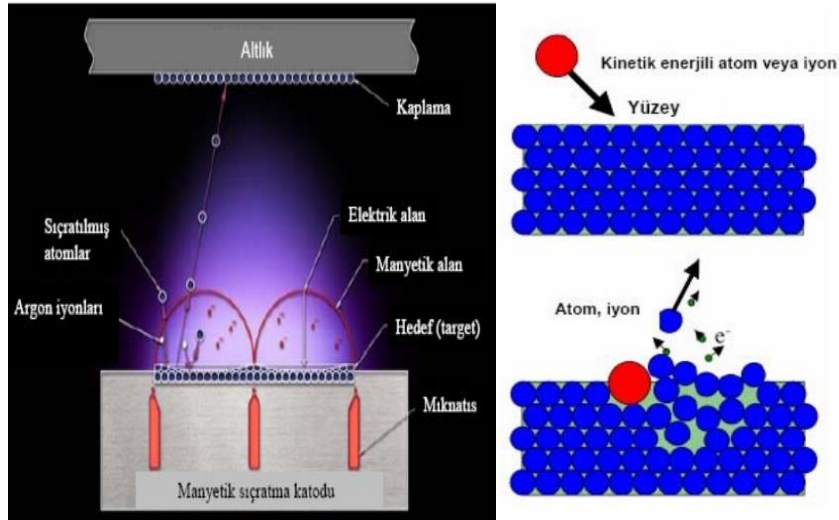
GİRİŞ

Günümüzde teknolojinin hızlı bir şekilde ilerlemesi sebebiyle özellikle mühendislikte kullanılan malzemelerin, ağır çalışma şartlarından en az şekilde etkilenecek dayanıklılıkta olması istenir. Bu çalışma şartlarındaki olumsuzlukların etkisini azaltmak ve altlık malzemenin sahip olmadığı yeni özellikler kazandırmak için altlık malzemenin yüzeyine ince kaplama işlemleri uygulanmaktadır.

Malzeme yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla yapılan birçok yüzey kaplama yöntemi kullanılmaktadır. Bu çalışmada PEEK numunelerin çalışma koşullarındaki olumsuzlukların etkisini en aza indirmek amacıyla PVD yöntemlerinden biri olan manyetik alan sıçratma yöntemi kullanılmıştır.

PEEK malzeme, çok yüksek sıcaklık aralıklarında üstün mekanik özellikler gösteren yüksek performanslı bir plastiktir. Yüksek mekanik ve yorulma mukavemeti, 260 °C dereceye kadar yüksek kararlılık, düşük yanıcılık gibi özelliklere sahiptir. PEEK malzemeler motor parçaları, kablo üretimi, yatak ve dişliler gibi kullanım alanlarına sahiptir.

Manyetik alanda sıçratma yönteminde, kaplama için kullanılacak hedef malzeme yüzeyinin iyon tabancısı ile hızlandırılmış genellikle kullanılan argon gazı iyonlarına maruz bırakılarak yüzeyden atomlar sıçratılır. Manyetik alanda sıçratma yöntemi hedef malzeme yüzeyinden kopan atomlar gaz fazına dönüşerek altlık malzeme yüzeyinde biriktirme esasına dayanan fiziksel buhar biriktirme yöntemidir. Manyetik alanda sıçratma yönteminde kaplama malzemesinin önünde mıknatıslar ve elektrik enerjisi kullanılarak plazma oluşturulur (Şekil1). Mıknatısların etkisiyle oluşan manyetik alan, hedef malzeme yüzeyine yakın bölgede elektronların toplanmasını sağlayarak sıçratma hızında artışa sebep olmaktadır (Oktay, 2007).



Şekil 1. Sıçratma yönteminin şematik gösterilişi (Oktay, 2007)

Rozario ve ark., (2019), yaptıkları çalışmada PVD kaplama yöntemi ile çok katlı CrN-TiN kaplı ve elektroliz kaplama yöntemi ile Cr kaplı segmanların aşınma dayanımlarını incelemiştir. Testler yağ sıcaklığının 200 °C olduğu ortamında gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak PVD kaplamanın elektroliz kaplamadan daha iyi aşınma direncine sahip olduğu, CrN ve TiN bazlı bir kaplamanın, piston segmanının motor ayarlarında daha iyi performans göstermesini sağladığı sonucuna varılmıştır.

Baptista ve ark., (2021), polimer altlıklar üzerinde PVD yöntemi ile yapılan Cr kaplamaların aşınma direnci incelendiği bu çalışmada alümina aşındırıcı kullanılmış ve kaplamalarda gözlenen aşınma mekanizmaları incelenmiştir. Aşınma ve çizilme testleri, en kararlı filmin 10 katmanlı olana sahip olduğunu, alt tabakaya daha fazla yapışma ve gerçekleştirilen testlerde daha az kohezyon hatası olduğunu göstermiştir. Alt tabakanın ve kaplamanın doğası göz önüne alındığında, elde edilen sonuçlar çok umut vericidir. Cr ince kaplamaların motorlu taşıtlardaki arkadan aydınlatmalı bileşenlere

uygulandığında imalat, montaj ve onarım işlemleri sırasında her türlü dikkatsiz işlemin üstesinden gelebileceğini göstermektedir.

Paulitscha ve ark., (2008), gerçekleştirdikleri çalışmada hedef malzemesi olarak kullanılan CrN ve TiN mükemmel sertlik değeri ve iyi aşınma direnci gibi yüksek mekanik özelliklere sahip olması nedeni ile birçok sanayi dalında kullanıldığı belirtilmiştir. Bu hedef malzemeler kullanılarak üretilen kaplamaların mekanik özelliklerini iyileştirebilmek için (high power impulse magnetron sputtering) HiPIMS yöntemin de iyileştirme yapılabileceği üzerine çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalar, hedef malzemesi olarak kullanılan CrN ve TiN kaplamalarda HiPIMS yöntemi ile üretilen kaplamaların mekanik özelliklerinde gelişme meydana geldiği saptanmıştır.

Zhang ve ark., (2020), ABS için yüzey kaplama yöntemi olarak HiPIMS kullanılarak CrN kaplama ve DCMS yöntemiyle karşılaştırmalı olarak araştırmışlardır. Bu iki çeşit magnetron püskürtme deşarjının elektriksel ve spektroskopik özellikleri ve kaplanan numunelerin korozyon direnci, mekanik özellikleri incelenmiştir. Sonuçlar olarak, HiPIMS kaplamanın, DCMS CrN kaplamanın gevşek amorf/nanokristal kompozit yapısından ziyade yoğun bir nanokristal CrN (200) faz yapısına sahip olduğunu ortaya konulmuştur. HiPIMS CrN kaplama üstün korozyon direnci ve mekanik özellikler göstermiştir. Son olarak, polimerler üzerindeki galvanik Cr kaplamanın yerini almak amacıyla koruyucu kaplama olarak HiPIMS tarafından yeni bir CrN kaplama geliştirilmiştir.

Evrensel, (2021), dökme demirden üretilen piston segmanlar bu çalışmada altlık malzeme olarak kullanmıştır. PVD yöntemi kullanılarak segmanlar TiAlCN, AlCrN, tek ve çok katlı TiAlN ile kaplanmıştır. Numunelere uygulanan sertlik test sonuçlarına göre Çok katlı TiAlN kaplamada artan katman sayısına bağlı olarak sertliğin arttığı, aşınma kayıplarının ve sürtünme katsayısının azaldığı gözlenmiştir.

Savaş, (2010), TiAl hedef malzeme ile sertleştirilmiş ve nitrürlenmiş AISI H13 altlık malzeme kullanmıştır. Değişken azot basınçları, taban malzemesine uygulanan 0, -100, -200 V bias voltajları ve hedef malzeme ile altık malzeme arasındaki mesafeler ise 6, 11, 16, 21 cm olacak şekilde üretilen kaplamaların mekanik özellikleri değerlendirilmiş ve en uygun sonucu veren kaplama parametreleri tespit edilmiştir. Sonuç olarak, yüksek voltaj ve düşük azot basıncı uygulandığında mekanik özelliklerinin yükseldiği tespit edilmiştir.

Bülbül, (2006), bu çalışmada CFUBMS (kapalı alan manyetik alanda sıçratma) ince film yüzeyi oluşturma işlemi ile AISI D2, M2 ve 52100 çelik altlık malzemeler üzerine TiB2 filmler ve AISI M2 altlık malzeme üzerine ise Me-DLC ince yüzey film kaplamalar yapılmış ve bu kaplamaların mekanik özelliklerini değerlendirmiştir. Uygulanan kapla işlemleri ile TiB2 ve Me-DLC filmlerde mekanik ve adezyon özelliklerinin iyileştiği sonucuna varılmıştır.

Lin ve ark., (2016), piston segmanlarının sürtünme kayıplarını ve aşınmasını en aza indirmek için AISI 304 paslanmaz çelik piston segmanlarının yüzeylerini TiSiN' e C ekleyerek geliştirdikleri TiSiCN kuaterner (dört bileşenli) kaplamalar üzerine çalışmıştır. Kaplamaların aşınma dayanımları 120 saatlik motor testleri ile incelenmiş ve kaplanmamış numune ile karşılaştırıldığında, kaplanmış tepe ve kompresyon segmanları için sırasıyla % 29 ve % 40 daha düşük ağırlık kaybı gösterdikleri tespit edilmiştir.

Baragetti, (2007), yaptığı çalışmada hedef malzeme olarak CrN kullanılan bu çalışmada, PVD yöntemi ile üretilen dişli çarkın yorulma direncinin iyileştirilmesi amaçlamıştır. Çalışmalar sonucunda, araçların güç aktarma sistemlerinde CrN hedef malzemesi kullanılarak kaplanan düz dişli çarkların yorulma ömrü numerik bir modelleme ile tahmin edilebilmektedir. Ayrıca PVD kaplamanın yarı arabalarında kullanılan düz dişli çarkların yorulma dirençlerine olan etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak, hedef malzeme olarak TiN kullanılarak PVD yöntemi ile 5µm kalınlığında film tabakası oluşturulduğunda düz dişli çarkın diş dibi yorulma direncini olumsuz etkilediği görülmüştür

Janoss, (2003), altlık malzemeye uygulanan kaplama yöntemi ve hedef malzemenin, yüzeyin mekanik ve fiziksel özelliklerine etkisi incelenerek karşılaştırmıştır. En iyi sertlik değeri PVD kaplama yöntemi kullanıldığı ve hedef malzeme olarak ise TiAlN kullanıldığında elde edilmiştir. 4500 HV sertlik değeri TiAlN kullanıldığında elde edilirken en yüksek korozyon direnci ise hedef malzeme

olarak CrN kullanıldığında görülmüştür. Sürtünme katsayısında ise en düşük değerin hedef malzemesi olarak TiAlN kullanıldığı kaplamada görülmüştür.

Özgür, (2008), altlık malzemesi olarak kullanılan M41 yüksek hız çeliğine PVD kaplama yöntemi ile TiN, AlTiN, TiCN, TiAlN ve CrN hedef malzemeleri kullanılarak kaplamıştır. Daha sonra pin-on ring test cihazında aşınma değerleri incelenmiştir. Hedef malzemesi olarak TiAlN ve AlTiN kullanıldığı kaplamalarda en iyi aşınma değerleri görülmüştür. Diğer numunelerde ise birbirlerine yakın aşınma değerleri görülmüştür. Yüzey filmi oluşturulan numunelerin sertlik değerinin artışına paralel olarak aşınma miktarında azalma görülmüştür

Arslan ve ark., (2009), malzemelerin yüksek çalışma sıcaklıklarında daha iyi aşınma direncine ulaşabilmek için bu çalışmada alüminyum altlık malzemeye Al₂O₃ hedef malzeme kullanılarak seramik kaplama yapmıştır. Daha sonra pin-on disk cihazı kullanılarak aşınma deneyi uygulanmıştır. Söz konusu kaplama mikro ark oksidasyon yöntemi uygulanarak elde edilmiştir. Aşınma değeri azaldıkça, aşınma test sıcaklığı artmıştır. Aşınma değerinin 200 °C’de en düşük olduğu görülmüştür.

Özkara ve ark., (2009), mikro ark oksidasyon kaplama yöntemi kullanılarak altlık malzeme olarak Al2024 alaşımı üzerine sabit voltaj, değişken kaplama süresi parametrelerinde uygulanan bu kaplama işleminde uygulama esnasındaki voltaj süresinin, mekanik özelliklere olan etkisi araştırmıştır. Çalışma sonucunda, kaplama yüzeyinde oksit tabakası oluştuğu görülmüştür. Oluşan bu tabakanın kalınlığı, yüzey pürüzlülüğü ve aşınma direncinin ise voltaj uygulama süresine göre değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir.

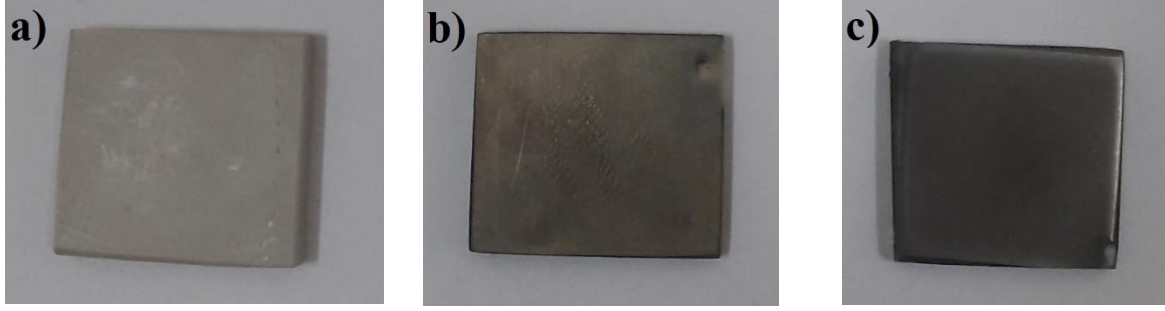
Miao ve ark., (2007), bu çalışmada magnezyum alaşımli AZ91 altlık malzemeye CrN ve TiN hedef malzemeler kullanılarak çoklu kaplamanın aşınma özelliklerini iyileştirmeyi amaçlamıştır. Yüzey film tabakasının toplam kalınlığı yaklaşık olarak 2 µm ile 12 µm kalınlığı aralığında uygulanmıştır. Kaplamalar arasındaki ve alt parçanın yapışma direnci için çizik testi uygulanmıştır. Daha sonra AZ91 numunesine korozyon testi uygulanmıştır. Sonuç olarak, altlık olarak kullanılan magnezyum alaşımli AZ91 malzemenin üzerine yapılan CrN ve TiN hedef malzemeleri ile uygulanan kaplamanın korozyon ve aşınma direncine pozitif katkı sağladığı görülmüştür.

Reichelt ve ark., (1990), ise altlık malzeme yüzeylerinin CVD ve PVD kaplama yöntemleri uygulanarak kaplanmasıyla yüzey özelliklerinin iyileştirildiğini tespit etmiştir. Kaplanan malzemenin sertlik, aşınma direnci, korozyon direnci gibi özelliklerinde önemli derecede artış olduğu görülmüştür.

Literatür taraması, PEEK malzemelerin PVD yöntemi ile kaplanması ve aşınma davranışlarıyla ilgili bilgi olmadığını göstermektedir. Bu çalışmada, uygulamada kullanılan PEEK malzemelerin çalışma ortamlarının olumsuzluklarından en az şekilde etkilenmesi amacıyla PVD kaplama yöntemi ile kaplanarak yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi ve mekanik özelliklerin incelenmesi hedeflenmiştir.

MATERYAL VE METOT

Mükemmel yüzey aşınma ve kayma özelliği, çok iyi boyutsal kararlılık, yüksek kimyasal ve radyasyon direnci, yüksek saflık, düşük gaz salınımı gibi pozitif özellikleri ile endüstride yaygın kullanım alanı bulan PEEK malzemenin mekanik özelliklerini daha da arttırmak amacı ile metal malzemelere başarı ile uygulanan PVD yöntemi uygulanmıştır. Bu amaçla 30x30 mm² boyutlarında kare kesitli, 3 mm kalınlığında 3 adet saf PEEK numune temin edilmiştir. Kaplama öncesi numunelerin yüzeyi, kalın taneliden ince taneliye doğru sırası ile 400, 600 ve 1200 numara kum zımparası ile yüzey pürüzlülük değeri ortalama Ra=0,248 olana kadar parlatılmıştır. Daha sonra PEEK numunelerin yüzeyleri 1 µm kalınlığında PVD kaplama yöntemlerinden olan manyetik alanda sıçratma yöntemi kullanılarak biri VN diğeri ise CrY(V)N ile kaplanmıştır (Şekil 2). Kaplama işleminden sonra numunelere sertlik ve aşınma testi uygulanmıştır. Kaplama işleminin ardından, saf haldeki PEEK, VN kaplanmış PEEK ve CrY(V)N kaplanmış numunelerin sertlikleri HV 0,5 (4,903N) yük ile 10 sn boyunca Shimadzu HMV-G marka mikro- sertlik test cihazı kullanılarak vickers yöntemiyle ölçülmüştür.

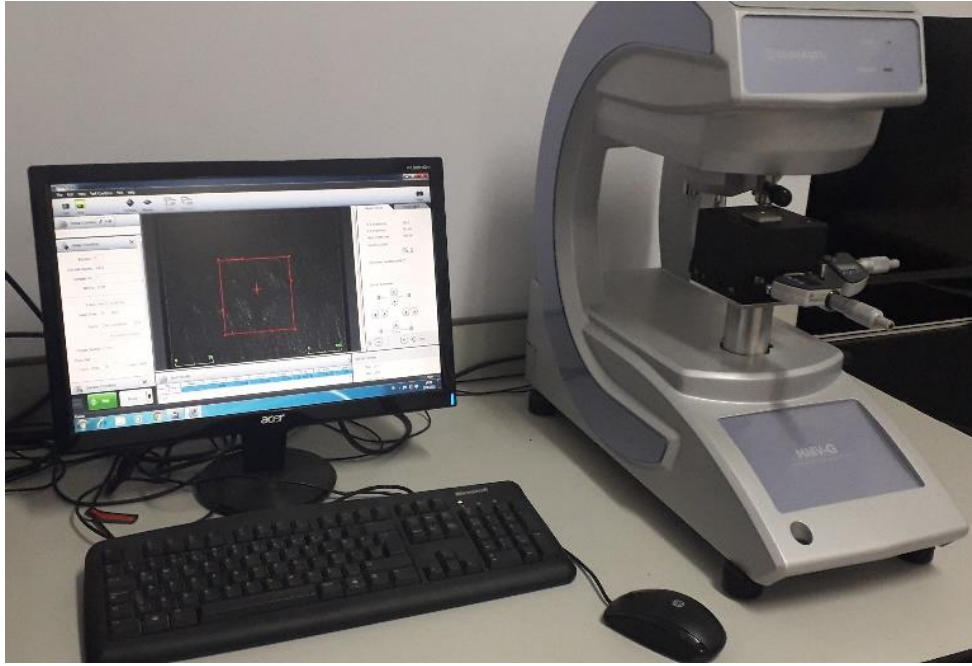


Şekil 2.a) Saf haldeki PEEK

b) VN kaplanmış PEEK

c) CrY(V)N kaplanmış PEEK

Sertlik test düzeneği Şekil 3’te gösterilmiştir. Ölçümler dört farklı noktadan yapılarak ortalama değerler alınmıştır. Sertlik testi sonrası çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır.



Şekil 3. Sertlik test düzeneği

Sertlik deneyi tamamlandıktan sonra aşınma deneyine geçilmiştir. Aşınma deneyi için mevcut saf haldeki PEEK, VN kaplanmış PEEK, CrY(V)N kaplanmış PEEK numunelerin her birinden üçer adet 12 mm çapında 3 mm kalınlığında toplam dokuz adet daire şeklinde deney numunesi üretilmiştir (Şekil 4). Elde edilen her numune için aşağıda belirtilen parametrelerle aşınma deneyi uygulanmıştır.



Şekil 4.a) Kaplamasız PEEK

b) VN kaplanmış PEEK

c) CrY(V)N kaplanmış PEEK

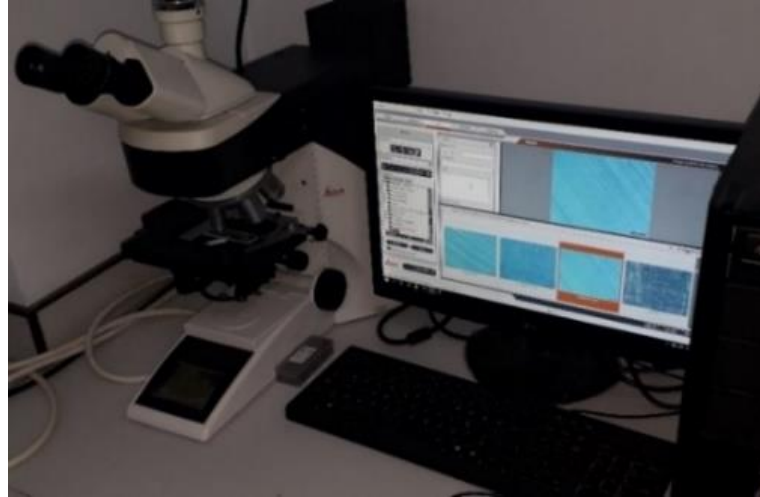
Deneye tabi tutulan numuneler TURKYUS marka pin-on disk aşınma test cihazı kullanılarak test edilmiştir. Deneyler kuru ortamda, oda sıcaklığında ve literatürde yapılan çalışmalar doğrultusunda

tespit edilen 5N, 10N, 15N, 20N, 25N yükler altında, sabit 900 m yol, 80 mm iz çapı ve 450 rpm parametreleri ile test edilmiştir (Uzun vd., 2018, 2021). Aşınma yüzeyi olarak 400, 600 ve 800 numaralı zımparaların aşındırma özellikleri dikkate alınarak yapılan değerlendirme sonucunda, 600 numaralı kum zımparasının karşı yüzey olarak kullanılmasına karar verilmiştir (Şekil 5). Her bir çevrim sonucunda kütle kaybı Necklife FA2004 marka hassas terazi ile tartılıp ortalama değerler alınmıştır ve çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

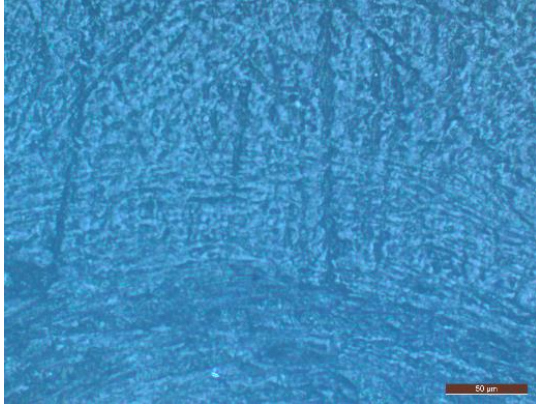


Şekil 5. Aşınma test düzeneği

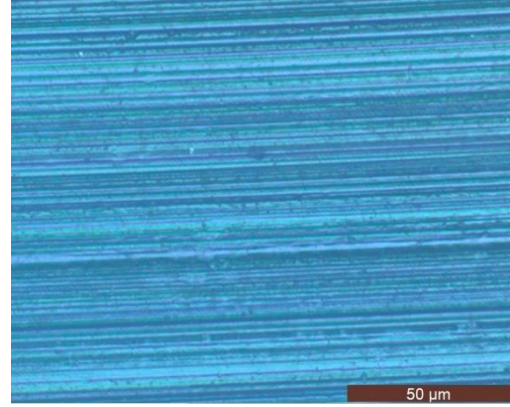
Aşınma deneyi uygulanacak olan numunelerinin aşınma yüzeyleri, aşınma deneyi öncesinde ve uygulama yüklerinin tamamlanması sonrasında LEİCA marka optik mikroskop yardımı ile görüntülenmiştir (Şekil 6).



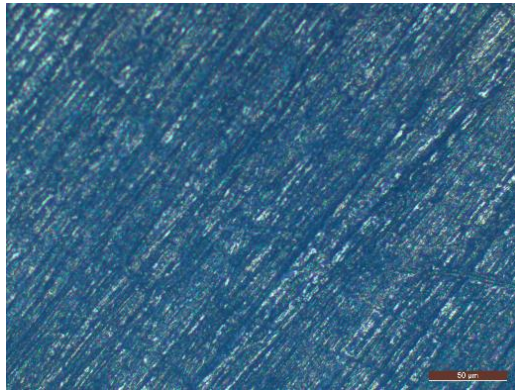
Şekil 6. Optik mikroskop düzeneği



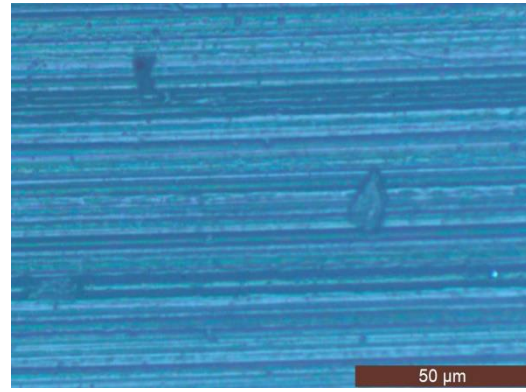
Kaplamasız PEEK aşınma testi öncesi



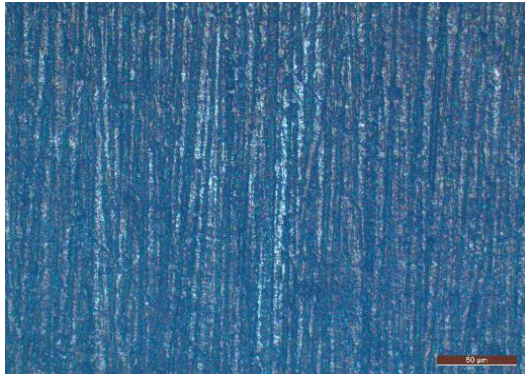
Kaplamasız PEEK aşınma testi sonrası



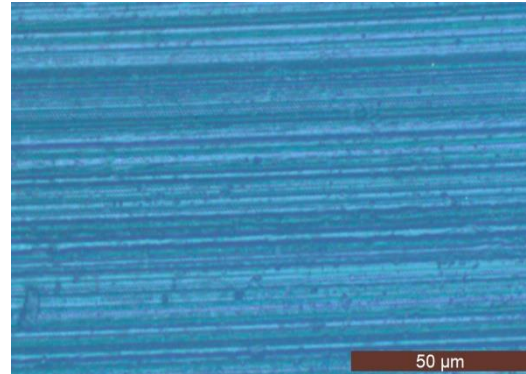
VN Kaplanmış PEEK aşınma testi öncesi



VN Kaplanmış PEEK aşınma testi sonrası



Cry(V)N Kaplanmış PEEK aşınma testi öncesi

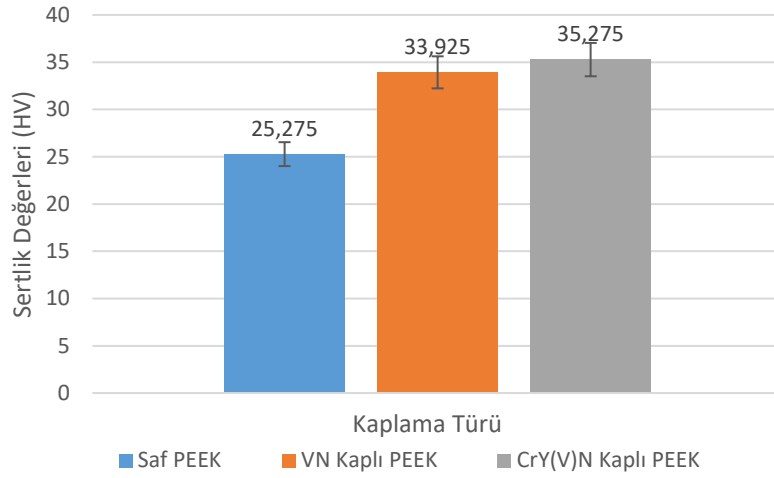


Cry(V)N Kaplanmış PEEK aşınma testi sonrası

Şekil 7. Numunelerin optik mikroskop görüntüleri

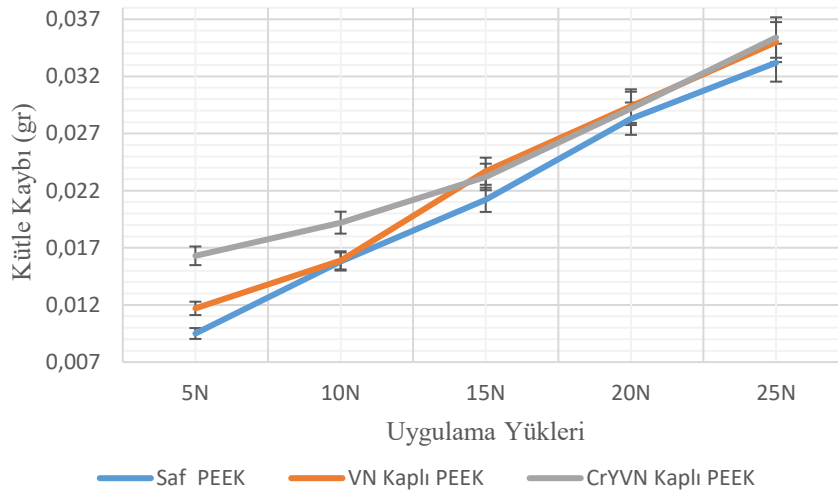
BULGULAR VE TARTIŞMA

Sertlik testi için saf haldeki PEEK, VN kaplanmış PEEK ve CrY(V)N kaplanmış numuneler kullanılmış ve deneye tabi tutulmuştur. Her bir numunenin üzerinden 4 farklı noktadan sertlik değeri ölçülmüş ve sonuçların ortalama değerleri alınmıştır. Kaplanmamış saf haldeki PEEK numuneye göre VN kaplanmış ve CrY(V)N kaplanmış PEEK numunelerin sertlik değerinin ciddi bir şekilde arttığı görülmüştür (Şekil 8).



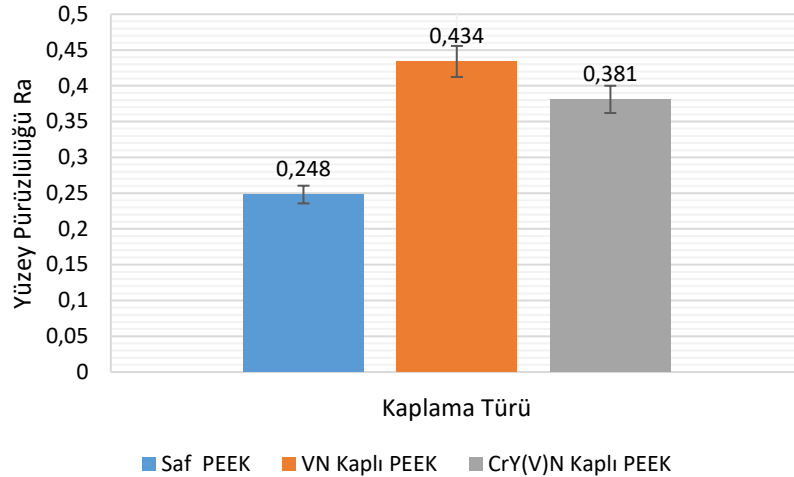
Şekil 8. Sertlik test sonuçları grafiği

Sertlik deneyi için hazırlanan her bir PEEK numuneye sırasıyla 5N, 10N, 15N, 20N ve 25N yükler altında aşınma deneyi uygulanmıştır. Daha sonra her bir yük için elde edilen üç farklı kütle kaybının ortalaması alınarak uygulama yükü ve kütle-kayıbı grafiği oluşturulmuştur (Şekil 9). Deneysel çalışma sonucunda 5N uygulama yükü altında en yüksek kütle kaybının CrY(V)N kaplı numunede olduğu ve daha sonra sırasıyla VN kaplı, saf PEEK numunelerin geldiği görülmektedir. 10N uygulama yükü altında da en yüksek kütle kaybının CrY(V)N kaplı numunede görülmektedir. VN kaplı ve saf PEEK numunelerde ise kütle kayıpları aynı seviyelere ulaşmıştır. Diğer uygulama yüklerinde ise VN kaplı ve CrY(V)N kaplı numunelerin kütle kayıpları aynı seviyelere gelmiş ve saf PEEK numunenin kütle kaybı ise diğer numunelere göre daha düşük seviyelerde kalmıştır.



Şekil 9. Aşınma test sonuçlarına ait yük ve kütle kaybı grafiği

Sertlik deneyi için hazırlanan saf PEEK, VN kaplanmış PEEK ve CrY(V)N kaplanmış PEEK numunelerin pürüzlülük değerleri TİME 3200 marka pürüzlülük test cihazı ile ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerin ortalaması alınarak yüzey pürüzlülük grafiği oluşturulmuştur. Grafik incelendiğinde en yüksek pürüzlülük değerinin VN kaplı numunede olduğu ve daha sonra sırasıyla CrY(V)N kaplı, saf PEEK numunelerin geldiği görülmektedir (Şekil 10).



Şekil 10. Numunelerin pürüzlülük değerlerine ait grafik

SONUÇ

Bu çalışma kapsamında PVD kaplama yöntemlerinden biri olan manyetik alanda sıçratma tekniği kullanılarak VN kaplanmış PEEK, CrY(V)N kaplanmış PEEK ve saf PEEK numunelerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- PEEK numunenin literatürden farklı olarak PVD yöntemiyle kaplanabilirliği ispatlanmıştır.

-Yapılan kaplamalar saf numuneye göre sertlik değerlerini ciddi şekilde arttırdığı görülmüştür.

-Saf haldeki PEEK numuneye göre VN kaplanmış PEEK numunenin sertlik değerinin %34 arttığı, CrY(V)N kaplanmış PEEK numunede ise sertlik değerinin yaklaşık %40 arttığı görülmüştür.

-Aşınma deneyi ile ilgili olarak yükteki artış sonucunda, numunelerde aşınma kayıpları da artmıştır. En yüksek kütle kaybının CrY(V)N ve VN kaplı numunede olduğu ve daha sonra saf PEEK numunenin geldiği görülmektedir. Kaplanmış numunelerde kütle kaybının yüksek olmasında, kaplanmış olan numunelerin yüzey pürüzlülüğünün artmış olması ciddi bir etken oluşturmakla beraber, ilk 900 m'lik yolda kaplama malzemelerinin yüzeyden kopmalar şeklinde ayrışması ve bu kopan malzemelerin ekstra aşındırıcı olarak davranması da etkili olmuştur.

Kaplama parametreleri olan basınç, akım ve gaz akış hızı değiştirilerek kaplama malzemelerinin altlık malzemeye daha iyi difüze olması sağlanabilir. Böylelikle sertlik artışına paralel olarak, malzemenin aşınma dayanımının da daha fazla artacağı öngörülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde ID-2991 numaralı proje ile maddi imkân sağlayan İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) birimine katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

Arslan E., Totik Y., Demirci E., Vangölü Y., Alsaran A., Efeoğlu İ., 2009. High Temperature Wear Behavior of Aluminum Oxide Layers Produced by AC Micro Arc Oxidation. Surface and Coatings Technology,204,829-833

- Baptista A, Pinto G, Silva F.J.G, Ferreira A.A., Pinto A.G., Sousa F.C., 2021. Wear Characterization of Chromium PVD Coatings on Polymeric Substrate for Automotive Optical Components. *Coatings*, 11, 555
- Baragetti S, 2007. Fatigue Resistance of Steel and Titanium PVD Coated Spur Gears. *International Journal of Fatigue*, 1893–1903
- Bülbül F, 2006. Darbeli-DC Manyetik Alanda Sıçratma Yöntemi ile Kaplanan TiB₂ ve Me-DLC Filmlerinin Mekanik, Yapısal ve Tribolojik Özelliklerinin Araştırılması, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (Basılmış).
- Evrensel D, 2021. PVD Tekniği Kullanılarak Farklı Seramik Malzemelerle Kaplanmış Segmanların Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, O.M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Janoss B., 2003. PVD/CVD Coatings Enhance Stamping and Forming of Stainless Steels, *Multi Arc inc NJ*, 42: 1-9.
- Lin J., Wei R., Bitsis D. C., Lee P. M., 2016. Development and Evaluation of Low Friction TiSiCN Nanocomposite Coatings for Piston Ring Applications. *Surface and Coatings Technology*, 298, 121-131.
- Miao Q., Cui C.E., Pan J.D., 2007. CrN–TiN Multilayer Coating on Magnesium Alloy AZ91 by Arc-Glow Plasma Depositing Process, *Surface and Coatings Technology*, 201 5077–5080.
- Oktay G, 2007. Katodik Ark FBB Yöntemi ile Ti6Al4v Altlık Malzemesi Üzerine Kaplanmış Magnezyumun Morfolojisine Bias Geriliminin Etkisi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Özgür A.E., Yalçın B., Kuru M. 2008. Investigation of the Wear Performance and Thermal Diffusivity Properties of M41 Tools Steel Coated with Various Film Coatings, *Materials and Design*, Online
- Özkara İ., Baydoğan M., 2009. Mikro Ark Oksidasyon İşleminde Voltaj Uygulama Süresinin 2024 Kalite Alüminyum Alaşımının Morfolojik Özelliklerine ve Aşınma Direncine Etkisi. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, 13-15 Mayıs 2009, Karabük, Türkiye.
- Paulitscha P.H. Mayrhofer W.D., Münz M., 2008. Structure and Mechanical Properties of CrN/TiN Multilayer Coatings Prepared by a Combined HIPIMS/UBMS Deposition Technique. *Thin Solid Films*, online.
- Reichelt K. and Jiang X., 1990. The Preparation of TiN Films by Physical Vapour Deposition Methods, *Thin Solid Films*, s 91-92, 110-125, 191.
- Rozario A., Baumann C., Shah R., 2019. The Influence of Piston Ring Coating on the Wear and Friction Generated During Linear Oscillation. *Lubricants*, 7(1), 8.
- Savaş S, 2010. Manyetik Alanda Sıçratma Metodu ile Üretilen TiAlN Kaplamaların Yapısal, Mekanik ve Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (Basılmış).
- Uzun M., Usca Ü., Munis M., 2018. Different Ratios Crc Particle-Reinforced Cu Matrix Composite Materials And Investigation of Wear Performance. *Journal of Engineering Research and Application*.
- Uzun M., Usca Ü., Kuntoğlu M., Şap E., Giasin K., Pimenow D., 2021. Tribological Aspects, Optimization And Analysis Of Cu-B-Crc Composites Fabricated by Powder Metallurgy. *Materials* 2021,
- Zhang D, Zuo, X. Wang Z, Li Hao, Chen R, 2020. Wang A. Ke P., 2020. Comparative Study on Protective Properties of CrN Coatings on the ABS Substrate by DCMS and HiPIMS Techniques. *Surface and Coatings Technology*, 394 ,125890

Atf İçin: Coşkun, N. Y., Atalay, H. ve Çoban, M. T. (2023). Biyogaz Enerjisi Destekli Süt Soğutma Sistemi Performansının Simülasyon ve Deneysel Olarak İncelenmesi. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2): 1199-1211.

To Cite: Coşkun, N. Y., Atalay, H. & Çoban, M. T. (2023). Simulation and Experimental Investigation of Biogas Energy Supported Milk Cooling System Performance. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2): 1199-1211.

Biyogaz Enerjisi Destekli Süt Soğutma Sistemi Performansının Simülasyon ve Deneysel Olarak İncelenmesi

Nevfel Yunus COŞKUN^{1*}, Halil ATALAY², M. Turhan ÇOBAN³

Öne Çıkanlar:

- Deneysel
- Enerji
- Simülasyon

Anahtar Kelimeler:

- Biyogaz
- Çiftlik
- Gaz Motoru
- Soğutma

ÖZET:

Alternatif enerji kaynakları hem temiz enerji üretimi hem de geniş kullanım alanına sahip olmasıyla, tercih edilir bir enerji üretim kaynağı haline gelmiştir. Ayrıca alternatif enerji kaynaklarının yenilebilir olması da enerji devamlılığı konusunda güven vermektedir. Süt üretim çiftlikleri, alternatif enerji kaynaklarından biokütleyle dayalı enerji üretiminde büyük bir potansiyel taşımaktadır. Süt üretim çiftliklerinde hayvan atıklarının değerlendirilerek biyogaz enerji elde edilmesi ve bu enerjinin çiftliğin en önemli giderini oluşturan soğutma sistemlerinde kullanılması mümkündür. Bu çalışmada, bir süt üretim çiftliğinin hayvan atıklardan elde edilen biyogaz enerjisinin kullanımıyla, buhar sıkıştırılmalı süt soğutma sisteminin sayısal hesaplamaları ve deneysel çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Sayısal hesaplamalarda Java programlama dili kullanılarak, matematiksel model oluşturulmuştur. Sayısal hesaplamalardan elde edilen verilerle, 2.5 m³ kapasiteye sahip fermentör, filtreleme, depolama ve otomasyon deney sistemi kurulmuştur. Sistemden elde edilen biyogazın içerisinde bulunan karbondioksit, hidrojen sülfür vd. gazlarının filtreleme işlemleri gerçekleştirilmiş ve 10 m³'lük membranda depolanmıştır. Depolanan biyogaz ile çalışan içten yanmalı gaz motoru, 300 litre soğutma kapasitesine sahip buhar sıkıştırılmalı süt soğutma tankı kompresörünü tahrik etmiştir. Biyogaz yakıtlı süt soğutma sistemi, konvansiyonel süt soğutma sistemine göre %54.37 enerji tasarruf sağlamıştır. Deneysel çalışmada, TS EN 13732 numaralı Türk Standardı ve EN 13732 standardına göre her sağımdaki 32 °C' deki çiğ sütü, en fazla 2.5 saat içerisinde +4 °C' ye soğutabilme şartı sağlanmıştır. +4 °C' ye soğutulan süttten alınan numuneye, koloni sayımı yapılmış ve 2.1 x 10⁴ koloni/ml (log₁₀ 4.32) tespit edilmiştir.

Simulation and Experimental Investigation of Biogas Energy Supported Milk Cooling System Performance

Highlights:

- Experimental
- Energy
- Simulation

Keywords:

- Biogas
- Farm
- Gas Engine
- Refrigeration

ABSTRACT:

Alternative energy sources have become a preferred energy production source with both clean energy production and wide usage area. In addition, the fact that alternative energy consumption is renewable gives confidence in the continuity of energy. Dairy farms have a great potential to use energy based on biomass from alternative energy sources. It is possible to obtain biogas energy by evaluating animal wastes in dairy farms and to use cooling, which includes the most important expense of the farm. In this example, numerical calculations and usage studies of a vapor compression milk cooling system were carried out using biogas energy obtained from animal wastes of a dairy farm. It maintains the model in hand, which uses the Java programming language for numerical calculations. With the measurements obtained from numerical calculations, a fermentor, consumption, storage and automation test system with a capacity of 2.5 m³ was established. Carbon dioxide, hydrogen sulfide, etc. in the biogas obtained from the system. The filtering processes of the gases were carried out and stored in a 10 m³ membrane. An internal combustion gas engine powered by stored biogas drove a 300-liter vapor-compression milk tank compressor with cooling. The biogas fueled milk cooling system provided 54.37% energy savings compared to the conventional milk cooling system. According to the experimental situation, TS EN 13732 limitation Turkish Standard and EN 13732 standard, raw feeding at 32 °C in each milking has the ability to cool down to +4 °C in a maximum of 2.5 hours. Colony count was made on the sample taken from the milk cooled to +4 °C and 2.1 x 10⁴ colonies/ml log₁₀ 4.32 were determined.

¹Nevfel Yunus COŞKUN ([Orcid ID: 0000-0002-0464-3818](https://orcid.org/0000-0002-0464-3818)), Yozgat Bozok Üniversitesi, Sorgun Meslek Yüksekokulu, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, Yozgat, Türkiye

² Halil ATALAY ([Orcid ID: 0000-0002-4549-584X](https://orcid.org/0000-0002-4549-584X)), Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Yalova, Türkiye

³ Mustafa Turhan ÇOBAN ([Orcid ID: 0000-0003-1873-2640](https://orcid.org/0000-0003-1873-2640)), Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Nevfel Yunus COŞKUN, e-mail: nevfelyunus.coskun@yobu.edu.tr

Bu çalışma Nevfel Yunus COŞKUN'un Doktora tezinden üretilmiştir.

GİRİŞ

Türkiye nüfusunun sürekli artmasıyla birlikte, insanların ihtiyaçlarının karşılanmasında gerekli olan enerji tüketimi de artış göstermektedir. Ayrıca Türkiye'nin gelişmekte olan ülkeler statüsünde bulunması sanayisinin gelişmesinde de enerji ihtiyacını ortaya çıkartmaktadır. Enerjide dışa bağımlılığın azaltılmasında kullanılacak alternatif enerji kaynakları Türkiye'nin ekonomisine de önemli katkılar sağlayacaktır. Alternatif enerji kaynaklarından, biyogaz enerjisi son zamanlarda Türkiye'de yaygınlaşan bir enerji kaynağı olarak görülmektedir. Bu enerji kaynağı, özellikle kent merkezlerinde çöp gazı ve biyogaz tesisleriyle, kırsal alanlarda ise çiftlik tipi biyogaz üretim sistemleri şeklinde kullanılmaktadır.

Biyogaz, organik maddelerin kompleks biyokimyasal ayrışmasının ürünü olup, esas olarak %60-70 metan (CH₄), %30-40 karbon dioksit (CO₂) ve diğer gazlarla birlikte, yani nitrojen (N₂), hidrojenden (H₂), hidrojen sülfür (H₂S), amonyak (NH₃) ve ayrıca su buharından oluşmaktadır. Bakteri ve arke birlikteliğiyle anaerobik sindirim (AS) işlemi ile üretilir. Başka bir deyişle, oksijensiz ortamlarda doğal olarak meydana gelen karmaşık bir mikrobiyal süreçtir ve biyokütlenin CH₄e dönüştürülmesi için en etkili yöntemlerden biri olarak kabul edilmektedir. Organik maddelerin oksijensiz ortamda fermantasyonu sonucunda elde edilen biyogazın 1 m³'ü 4.70 kWh enerjiye eşdeğerdir. Tarımsal atıklar, gıda atıkları, endüstriyel atıklar ve atık suların yanı sıra mahsuller de dahil olmak üzere çok çeşitli materyaller AS süreci için hammadde olarak kabul edilebilir. Biyogaz bütün organik maddelerden elde edilebildiği gibi hayvan gübrelerinin fermantasyonundan da üretilebilmektedir (Ekici ve ark., 2010; Devi ve ark., 2022; Jesus ve ark., 2022).

Yukarıdaki malzemelerin her birinin biyogaz veya daha spesifik olarak biyometan üretimi için kendi potansiyelleri vardır. Uçucu katılar içeriği, biyolojik (biyokimyasal) oksijen ihtiyacı, kimyasal oksijen ihtiyacı, C/N oranı ve inhibitör maddelerin varlığı, dikkate alınması gereken en önemli hammadde parametreleri arasındadır. Besleme stokuna ait özellikler yalnızca AS proseslerinin performansını etkilemekle kalmaz, aynı zamanda proses geliştirme veya engelleme yoluyla reaktör tasarımı ve operasyonel koşullar dahil olmak üzere birçok faktörü de etkilemektedir (Thiangchanta ve ark., 2022).

Bu çalışmada biyogaz üretimi ve süt soğutma işlemi üzerine durulmuştur. Biyogaz üretimi üzerine çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları aşağıdaki şekilde özetlenmiştir.

(Adekunle ve Okolie, 2015) anaerobik sindirimin biyokimyasal sürecini ele almışlardır. Anaerobik sindirim sürecinde proste kullanılan farklı aşamalar, substrat ve mikroorganizmalar arasındaki ilişki, pH, sıcaklık ve yükleme hızı gibi işletme parametrelerinin önemli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

(Tufaner ve Avşar, 2016) sığır gübresinden biyogaz üretilmesi üzerine bir derleme çalışması yapmışlardır. Çalışma sıcaklığı, organik yükleme hızı, hidrolik alıkonma süresi, kimyasal oksijen ihtiyacı ve uçucu katı uzaklaştırma verimliliği metan üretiminde dikkat edilmesi gereken koşullar olduğunu vurgulamışlardır. Anaerobik çalışmaların genellikle 30 °C ve 37 °C arasında tutulan mezofilik koşullar altında gerçekleştirilmiş ve organik atık yükleme oranı genellikle 1 kg ile 6 kg arasında değiştiğini belirtmişlerdir.

Konvansiyonel ve alternatif yakıtlarla çalışan, süt soğutma sistemleri üzerine yapılan çalışmalar kısaca aşağıda özetlenmiştir.

(Bhurat ve ark., 2022) buhar absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin süt soğutma üniteleri için getirdiği fayda ve zorlukları araştırmışlardır. Buhar absorpsiyonlu soğutma sistemleri, ısıyla çalışan bir teknolojidir ve uzun yıllar boyunca kullanıma uygun sistemlerdir. Bu teknoloji 21. yüzyılda elektriğin bulunmadığı uzak yerlerde kullanılmakta ve soğuk hava deposu, süt soğutma ünitesi ve bölgesel soğutma gibi çeşitli uygulamalara sahiptir. Bu araştırma çalışması, süt üretiminin fazla olduğu, ancak

güç kaynağının kesintili veya düşük olduğu bölgeler için faydalı olacağını vurgulamışlardır. Yenilenebilir enerji sistemleri, geleneksel enerji kaynaklarından daha devamlı olmasından dolayı, uzak bölgeler için bir süt soğutma ünitesinin çalıştırılmasının daha uygun olacağı sonucuna ulaşmışlardır.

(Kasera ve ark., 2021) R290 soğutucu akışkanını kullanan güneş enerjisi destekli süt soğutma sisteminin enerji verimliliği ve performans analizlerini incelemişlerdir. Deney düzeneği 500 W kapasiteye sahip güneş paneli ve bu panelden elde edilen enerjiyi depolamada kullanılan bataryalar, değişken devirli kompresör ve güneş fotovoltaiik modülleri içeren süt soğutucu ünitelerinden oluşmuştur. Süt soğutma sistemi, fotovoltaiik paneller tarafından üretilen enerjiyle tahrik edilmiştir. Çalışmada farklı oda sıcaklıkları için değişken kompresör devirlerinde soğutma sisteminin performans katsayısı, güneş enerjisi performans katsayısı, soğutma kapasitesi ve enerji tüketimi gibi çeşitli performans parametreleri incelenmiştir. Sıcaklığın artması ile soğutma kapasitesinin düştüğü, güç tüketiminin arttığı ve COP değerinin azalarak 0.61 ile 0.23 arasında değiştiği tespit edilmiştir.

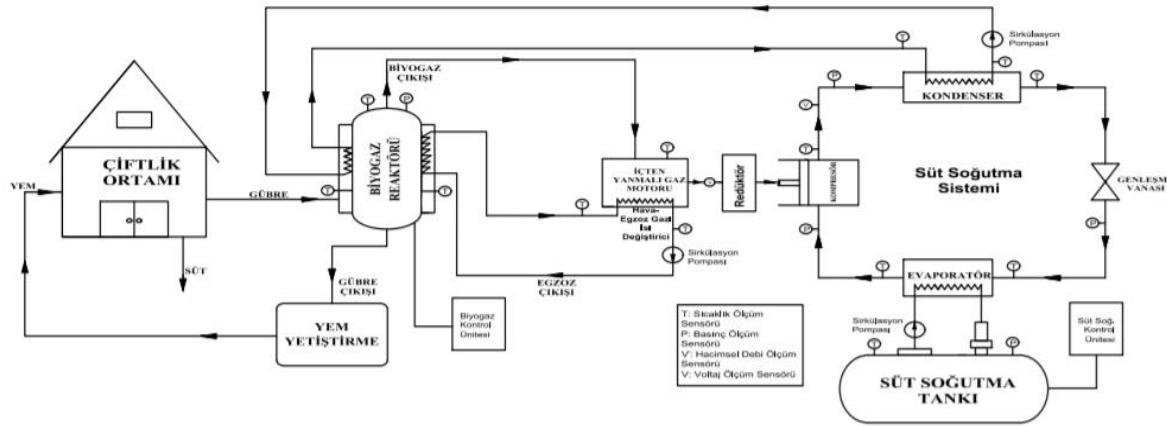
(Sur ve ark., 2020) kırsal bölgelerde güneşin ısıl enerjisiyle çalışan süt depolama sisteminin absorpsiyonlu soğutma sistemiyle soğutulmasını ele almışlardır. 150 litre sütü 15 °C – 20 °C' de 10-12 saat saklamak için, güneş enerjili absorpsiyonlu soğutma sistemi tasarlamışlardır. Absorpsiyonlu soğutma için absorpsiyon çifti olarak aktif karbon ve metanol kullanılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda, 90 °C'de sağlanan sıcak su, 35 °C kondenser sıcaklığı ve 5 °C evaporatör sıcaklığı için sistemin özgül soğutma gücünün 5.4 kW / kg ile 5.7 kW / kg arasında değiştiğini gözlemlenmiştir.

Yapılan araştırmalar sonucunda alternatif enerji kaynakları kullanılarak gerçekleştirilen süt soğutma işlemlerinin bilimsel açıdan buhar sıkıştırımalı soğutma sistemlerine kıyasla yaklaşık %14.5 oranında enerji tasarrufu sağladığı tespit edilmiştir. Fakat güneş enerjisi destekli olduğu için hibrit yöntemle soğutma süresinin güneşlenme süresinden dolayı yetersiz kalabildiği ve bu nedenden dolayı da şebekeden ek enerji takviyesinin yapıldığı görülmüştür (Vilar ve ark., 2012; Torres ve ark., 2015; Breen ve ark., 2015; Romaniuk ve ark., 2021). Ayrıca, güneş enerjisinin mevsim değişikliği nedeniyle dört mevsim boyunca aynı performansta kullanılması da söz konusu olmamaktadır. Bu sebeple, güneş enerjili soğutma sistemlerinin yerine, çevre ve iklim koşullarından en az oranda etkilenen diğer alternatif enerjilere kaynaklarına yönelmenin daha doğru olacağını söylemek mümkündür.

Hem biyogaz üretimi hem de süt soğutma sistemleri için farklı tekniklerin kullanıldığı literatürde, biyogaz enerjisi destekli buhar sıkıştırımalı süt soğutma çalışmasına rastlanılmamıştır. Biyogaz ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı hibrit süt soğutma sistemleri için simülasyon ve deneysel çalışmalar da tespit edilmemiştir. Bu çalışmanın temel amacı, biyogaz enerjisi destekli süt soğutma sisteminin uygulanabilirliğini hem simülasyon hem de deneysel olarak net bir şekilde ortaya koymak ve süt soğutma prosesi ile ilgili yüksek enerji verimliliğine sahip bir teknolojiyi literatüre kazandırmaktır. Böylece ciddi bir maliyet gerektiren süt soğutma işlemi için gerekli olan elektrik enerjisinin tamamının biyogaz enerjisinden karşılanabileceği deneysel olarak net bir şekilde ortaya konmuştur.

MATERYAL VE METOT

Bu çalışma kapsamında geliştirilen, sistemin akış şeması şekil 1'de gösterilmiştir. Akış şemasına göre, biyogaz destekli süt soğutma sisteminin ana elemanları, biyogaz reaktörü, içten yanmalı gaz motoru ve süt soğutma tankından oluşmuştur. Sistemin yardımcı ekipmanları ise, gübre sıyırıcı, gübre çukuru, gübre aktarım pompası ve gaz depolama membranından oluşmaktadır.



Şekil 1. Biyogaz enerjisi destekli buhar sıkıştırımlı süt soğutma sistemi akış şeması

Biyogaz reaktörünü oluşturan elamanlar, cam fiber takviyeli polyester malzemeden yapılmış 3 m³’lük bir tank, reaktör ısıtma ve karıştırma boruları, reaktör izolasyonu ve reaktörün; sıcaklığı, basıncı ve gaz miktarını ölçen otomasyon sisteminden oluşmuştur. Buhar sıkıştırımlı klasik süt soğutma sistemi; kompresör, kondenser, genleşme vanası ve evaporatörden meydana gelmiştir. İçten yanmalı gaz motoru tek fazlı, 5 kW güç çıkışına sahip, dört zamanlı hava soğutmalı bir motor kullanılmıştır.

Çalışmanın, simülasyon modellemesi java programlama dili kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar ise, 120 büyükbaş simental süt hayvanına sahip T.C. Gıda ve Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı ve Avrupa Birliği desteğiyle kurulmuş, Yılmaz süt üretim çiftliğinde gerçekleştirilmiştir.

Simülasyon Modellemesi

Simülasyon modellemesi, sistem kurulumundan önce yapılması, karşılaşılabilecek sistemsel vd. problemlere karşı önlem alınmasında ve ciddi maliyet kayıplarının önlenmesi hususunda önemli bir etkidir. Biyogaz üretim sisteminin kurulumunda karşılaşılabilecek problemlerin önüne geçilebilmesi için sistem şartlarına uygun modelleme çalışması yapılmıştır. Reaktörün kurulacağı bölgenin iklim şartları incelendiğinde, mezofilik reaktörün kullanılmasının uygun olacağı düşünülmüştür. Reaktöre alınacak substratın kırk gün fermente edileceği ve reaktör 35 °C sıcaklığında sabit kalacağı planlanmıştır. Biyogaz anaerobik fermantasyon prosesinin bir bilgisayar modeli oluşturularak (ısı + kütle transferi + biyokimyasal proses) çıkan gazın ve gübrenin karakterizasyonu belirlenmiştir. Bu doğrultuda biyogaz reaktörü ve içten yanmalı gaz motoru için Java dili kullanılarak geliştirilen simülasyon yazılımı ile bu sistemlerin verimliliği ile ilgili bir öngöründe bulunulmuştur. Minimal ve maksimal metan verimi için girdi değerleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Simülasyon çalışması için kullanılan biyogaz kompozisyonları (Kaya ve Öztürk, 2012)

Yanma Gazları	Minimal Kompozisyon (kmol)	Maksimal Kompozisyon (kmol)
CH ₄	0.4	0.637
CO ₂	0.48	0.3
H ₂	0.1	0.05
N ₂	0.017	0.01

Çizelge 1’de verilen sistem akış şemasına göre oluşturulan simülasyon modellemesinin, biyogaz verileriyle, süt soğutma sisteminin enerji potansiyeli incelenmiştir. Buna göre ilk olarak süt soğutma sistemine yönelik parametrelerin tespiti için eşitlik [1- 6]’da verilen genel enerji denklemleri kullanılarak ayrı bir simülasyon yazılımı geliştirilmiş ve soğutma sistemi ve süt soğutma tankının kapasitesi belirlenmiştir (Çengel ve Boles, 2013). Enerji analizi için sistemi oluşturan her bir bileşene ait sıcaklık

ve basınç değerleri tespit edilmiştir. Yapılan analizlerde, soğutma sisteminin buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminden oluştuğu ve bu çevrimde R404A soğutucu akışkanı kullanıldığı kabul edilerek gerekli hesaplamalar yapılmıştır.

$$\dot{W}_{komp.} = \frac{\dot{m}(h_{2a} - h_1)}{\eta_c} \quad (1)$$

$$\eta_c = \frac{h_{2s} - h_1}{h_{2a} - h_1} \quad (2)$$

$$\dot{Q}_{kond.} = \dot{m}(h_{2a} - h_3) \quad (3)$$

$$\dot{Q}_{eva.} = \dot{m}(h_1 - h_4) \quad (4)$$

$$COP_{kond.} = \frac{\dot{Q}_{kond.}}{\dot{W}_{komp.}} \quad (5)$$

$$COP_{eva.} = \frac{\dot{Q}_{eva.}}{\dot{W}_{komp.}} \quad (6)$$

Çizelge 2. R404A soğutucu akışkan ile çalışan buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminin girdi verileri (Atalay, 2011; Çoban, 2012)

Soğutma Çevrim Girdi Özellikleri	Değer	Birim
Soğutucu akışkan sıcaklığı	4.5	kW
Q Buharlaştırıcı ısı akışı	2.0	°C
dP Buharlaştırıcı basınç düşümü	2.0	kPa
dT Buharlaştırıcı kızgınlık derecesi	2.0	°C
T Yoğuşturucu doyma sıcaklığı	38.0	°C
dP Yoğuşturucu basınç düşümü	2.0	kPa
dT Yoğuşturucu soğuma derecesi	2.0	°C
Genleşme vanası entalpi değişimi	2.0	kJ/kg
Kompresör çıkış sıcaklığı	42.5	°C
Kompresör mekanik verimi	0.75	

R404A soğutucu akışkan ile çalışan buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminin girdi değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Deneysel Sistem Kurulumu

Deneysel çalışmalarda Yozgat'ın Sorgun ilçesinde bulunan Yılmaz süt üretim çiftliğindeki Çizelge 3'te özellikleri verilen süt sığırlarından toplanan gübre kullanılmıştır. Çiftlikte bulunan hayvanların gübresi taze alınarak, pH ve sıcaklık kontrolü yapıldıktan sonra reaktöre aktarılmıştır.

Çizelge 3. Hayvan cinsi ve özellikleri

Hayvan Türü	Vücut Ağırlığı (kg)	Tükettiği Su (L/gün)	Tükettiği Yem (kg/gün)	Atık Verisi (kg/hayvan.gün)
Süt Sığırı	200-850	60	60	43

Reaktöre alınan gübrenin fiziksel özelliklerinin tespitinde alınan numune Yozgat Bozok Üniversitesi, Araştırma Laboratuvarında yapılan ölçümler sonucunda Çizelge 4'te verilen özellikler tespit edilmiştir. Bu özelliklere göre gübrenin sahip olduğu, karbon/azot oranı fermantasyonun gerçekleşmesi için 23/1 düzeyinden fazla ve 10/1 oranından az olmaması şartını sağlamıştır. Ayrıca fermantöre alınacak gübre-su karışımının pH değerinin 7.68 olduğu ve bu değerlerin olması gereken 6.5-8 değerler arasında olduğu tespit edilmiştir.

Deneysel çalışmada, biyogaz oluşumunun gerçekleştiği, fermantör (reaktör) çeşitli sistem ve donanımların bir araya gelmesinden oluşmuştur. Reaktörün iç kısmının alt tarafına yerleştirilmiş borular vasıtasıyla karıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Reaktörün dış kısmı ısıtıcı borularla kaplanmıştır.

Çizelge 4. Hayvansal gübrenin fiziksel özellikleri

Gübre İçerisinde Bulunan Bileşenler	Süt Sığırı Gübresi
C (%)	44.51
N (%)	2.12
C/N	20.99
Toplam katı madde, TKM (%)	23.75
Uçucu katı madde, UKM (%)	86.72
Uçucu yağ asitleri, UYA (mg/L)	58300
Toplam azot (mg/L)	13300
Kimyasal oksijen ihtiyacı, KOİ (mg/L)	45310

Isıtıcı boruların üzerine 10 cm kalınlığında K3 taş yünü ile kaplanmıştır. Tüm reaktörün, iklim şartlarından etkilenmemesi için 2 mm kalınlığında trapez saca kaplanmıştır. Şekil 2’de görüldüğü üzere, trapez sac üzerinde reaktörün ısıtma, karıştırma sistemi ve sıcaklık, basınç, gaz analizi gibi verilerin alındığı otomasyon panoları kurulmuştur. Yapılan ölçümlerde biyogaz üretimi ile ilgili pH değeri, reaktörün dış ve iç sıcaklıkları, reaktör iç basıncı, çevre sıcaklığı, üretilen metan miktarı, CO₂ ve H₂S oluşum miktarları gibi sayısal verilere ulaşılmıştır.



Şekil 2. Biyogaz enerjisi destekli süt soğutma sisteminin montaj resmi

Çalışma kapsamında deneysel çalışmaların yürütülmesinde kullanılan ölçüm cihazları ve bu cihazların hassasiyet değerleri Çizelge 5’te verilmiştir. Sıcaklık ölçümleri için reaktörün giriş-çıkış noktaları, reaktör ceket bölgesi ile reaktör iç kısmına SHT10 Arduino sıcaklık sensörü yerleştirilmiştir. İçten yanmalı motorun egzoz çıkışına ve soğutma tankı iç kısmı ile soğutma sistemini oluşturan ekipmanların (kompresör, kondenser, evaporatör ve genişleme vanası) giriş- çıkış noktalarına ise PT 1000 sıcaklık sensörleri konulmuştur.

Reaktörün basıncı ve atmosfer basıncının ölçümünde DN10-basınç sensörü, elde edilen metanın miktarının ölçümünde G4 gaz sayacı ve debimetre, metanın ve CO₂’nin oranlarının belirlenmesinde metan ve CO₂ sensörleri kullanılmıştır. Tüm sensörlerin verileri datalogger ile veri tabanına aktarılmıştır. İçten yanmalı gaz motorunun süt soğutma tankına sağladığı tahrik haricinde, diğer sistemler için ürettiği elektrik enerjisi Wattmetre ile ölçülmüştür.

Biyogaz reaktörünün otomasyonu sayesinde biyogaz reaktörünün mekanik ve elektronik aygıtları arabirimlerle birbirine bağlanarak işletme fonksiyonlarıyla reaktör ceket bölgesine ait sıcaklık ve basınç kontrol, işlemleri gerçekleştirilmiştir. Süt soğutma tankı üzerinde yapılan otomasyon sistemiyle de tankın otomatik olarak çalıştırılması, süt sıcaklığının kontrolü, soğutma işlemi sonunda süt sıcaklığının istenilen sıcaklık değerine ulaştıktan sonra karıştırma sisteminin devreye alınması söz konusu olmuş ve bu sayede soğutma sisteminin çalışma aralıkları ayarlanmıştır. Ayrıca, sütün tank içerisinde beklemesi durumunda tankın içerisindeki sıcaklık artışının minimum seviyede tutulması, tank kapağının açılması durumunda, sistemin otomatik olarak devre dışı bırakılması gibi kontrollerin de yapılması sağlanmıştır.

Çizelge 5. Ölçüm cihazlarının hassasiyet değerleri

Ölçüm Cihazı	Ölçüm Türü	Hassasiyet
Datalogger	Veri aktarımı ekipmanları	-
PT 1000 Sıcaklık Sensörü	Sıcaklık (°C)	±0.1 °C
Thermokon TF25 Daldırma Tip Sıcaklık Sensörü	Sıcaklık (°C)	±0.1 °C
SHT 10 Arduino Sıcaklık Sensörü	Sıcaklık (°C)	±0.5 °C
PCE-pH 18	pH	±%1
Basınç Sensörü	Basınç (bar)	±%1.5
G4 gaz sayacı	Metan (CH ₄) (m ³)	±%1
Wattmetre	Enerji tüketimi (kWh)	±%2
Debimetre	Gaz miktarı (L/min)	±%3
CH ₄ sensör	Metan Miktarı (m ³ h)	±%1
CO ₂ sensör	Karbondioksit miktarı (ppm)	±%1

3 m³ kapasiteli, pilot ölçekli biyogaz sistemindeki deneme günlük besleme şeklinde gerçekleştirilmiştir. Sisteme organik yüklenmesinde, 2500 L sığır atığı ve su atığının bire bir oranında karışımıyla doldurulmuştur. Deneysel çalışmalar süresince, her gün üretilen biyogaz miktarı belirlenmiştir. Ayrıca üretilen gazın içeriğindeki gazların oranlarında tespit edilmiştir. Haziran-Eylül aylarındaki sıcaklık değerlerinin diğer aylara göre yüksek olmasına rağmen reaktör için gerekli olan 35 °C sıcaklıkta olmamasından dolayı, reaktörün ısıtılmasında üretilen biyogazın kullanıldığı bir ısıtma sistemi kullanılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bir büyükbaş hayvanın günlük 45 kg atık ürettiği varsayılmıştır. Standartlara göre 1 kg gübre başına gaz veriminin 18 m³ olduğu göz önüne alındığında hayvan başına bu değer 810 m³ /gün olacağı sonucu ortaya çıkmıştır (Romaniuk ve ark., 2021). Simülasyon hesaplamaları, bu doğrultuda gerçekleştirilmiştir. Minimum ve maksimum metan verimi çıktı değerleri Şekil 3'te verilmiştir.

```

1 kmol yakıt için ısı enerjisi çıktısı Q=-317515.30881343636 KJ/kmol yakıt
Yakıtın ısı değeri Q_maksimum=-322002.18053713004 KJ/kmol yakıt
kazan verimi Q/Qmaksimum= 0.9860657101259093
Yakıt giriş sıcaklığı = 298.0 derece K
Hava giriş sıcaklığı = 298.0 derece K
Baca çıkış sıcaklığı = 460.5 derece K
hava fazlalık katsayısı = 1.08
İstenilen ısı çıktısı = 2.5 kW = 2149.51038925kCal/saat
hacimsel yakıt debisi = 0.6353288401066481 Nm3/h
kütlesel yakıt debisi = 0.8014122656035912 kg/h
yakıtın molekül ağırlığı= 28.273407kg/kmol
hacimsel tam hava yanma hava debisi = 2.6715691147173856Nm3/h
oransal tam yanma oksijen katsayısı = 0.8500000000000002kmol/kmol yakıt
hacimsel gerçek yanma hava debisi = 2.7772846438947765 Nm3/h
oransal gerçek yanma oksijen katsayısı = 0.9180000000000001kmol/kmol yakıt
hava /yakıt oranı = 4.460638599799345 kg hava/kg yakıt
hava /yakıt oranı = 4.371428571428572kmol air/kmol fuel
Adyabatik alev sıcaklığı= 2000.2885183481428 derece K Su yoğuşma sıcaklığı= 329.98307028948983 derece K = 56.833070289489854 derece C
Yakıt :
ch4 0.4 0.4
co2 0.48 0.48
h2 0.1 0.1
n2 0.017 0.017
h2o 0.003 0.003
Hava :
o2 0.9180000000000001 0.21000000000000002
n2 3.4534285714285717 0.79
Baca gazı :
Baca gazı su yoğuşma sıcaklığı : 329.98307028948983derece K =56.833070289489854derece C
Baca gazı su kısmi basıncı : 0.1719396845637584 bar
co2 0.88 0.16536912751677854
h2o 0.903 0.16969127516778526
so2 0.0 0.0
n2 3.4704285714285716 0.6521610738255035
o2 0.06800000000000006 0.012778523489932898
Kuru Baca gazı :
co2 0.88 0.1991658314203498
so2 0.0 0.0
n2 3.4704285714285716 0.7854440816062593
o2 0.06800000000000006 0.01539008697339068
Yanma denklemi :
0.4*ch4 + 0.48*co2 + 0.1*h2 + 0.017*n2 + 0.003*h2o + 0.9180000000000001*( o2 + 3.7619047619047614*n2 ) ---->
0.88*co2 + 0.903*h2o + 3.4704285714285716*n2 + 0.06800000000000006*o2

```

(a)

Şekil 3. Minimum (a) ve maksimum (b) metan verimi değerleri

```

1 kmol yakıt için ısı enerjisi çıktısı Q=-484047.6817186794 KJ/kmol yakıt
Yakıtın ısı değeri Q_maksimum =-489210.6573086913 KJ/kmol yakıt
kazan verimi Q/Qmaksimum= 0.9894463141534668
Yakıt giriş sıcaklığı = 298.0 derece K
Hava giriş sıcaklığı = 298.0 derece K
Baca çıkış sıcaklığı = 460.5 derece K
hava fazlalık katsayısı = 1.08
istenilen ısı çıktı = 2.5 kW = 2149.51038926kCal/saat
hacimsel yakıt debisi = 0.41674950729706206 Nm^3/h
kütesel yakıt debisi = 0.44357581504705357 kg/h
yakıtın molekül ağırlığı= 23.85687166kg/kmol
hacimsel tam hava yanma hava debisi = 2.5778933808518265Nm^3/h
oransal tam yanma oksijen katsayısı = 1.289kmol/kmol yakıt
hacimsel gerçek yanma hava debisi = 2.784124851319973 Nm^3/h
oransal gerçek yanma oksijen katsayısı = 1.40292kmol/kmol yakıt
hava /yakıt oranı = 8.07889408066913 kg hava/kg yakıt
hava /yakıt oranı = 6.680571428571429kmol air/kmol fuel
Adyabatik alev sıcaklığı= 2118.552966811353 derece K Su yoğuşma sıcaklığı = 330.4333420761839 derece K = 57.28334207618394 derece C =
Yakıt :
ch4 0.637 0.637
co2 0.3 0.3
h2 0.05 0.05
n2 0.01 0.01
h2o 0.003 0.003
Hava :
o2 1.40292 0.21
n2 5.277651428571429 0.79
Baca gazı :
Baca gazı su yoğuşma sıcaklığı : 330.4333420761839derece K =57.28334207618394derece C
Baca gazı su kısmi basıncı : 0.1756345378715781 bar
co2 0.937 0.12239452126369217
h2o 1.327 0.17333781186437514
so2 0.0 0.0
n2 5.2876514285714284 0.6906932392841814
o2 0.10392000000000001 0.013574427587751218
Kuru Baca gazı :
co2 0.937 0.14805869074492098
so2 0.0 0.0
n2 5.2876514285714284 0.8355205417607222
o2 0.10392000000000001 0.01642076749435666
Yanma denklemi :
0.637*ch4 + 0.3*co2 + 0.05*h2 + 0.01*n2 + 0.003*h2o + 1.40292*(o2 + 3.7619047619047623*n2) ---->
0.937*co2 + 1.327*h2o + 5.2876514285714284*n2 + 0.10392000000000001*o2

```

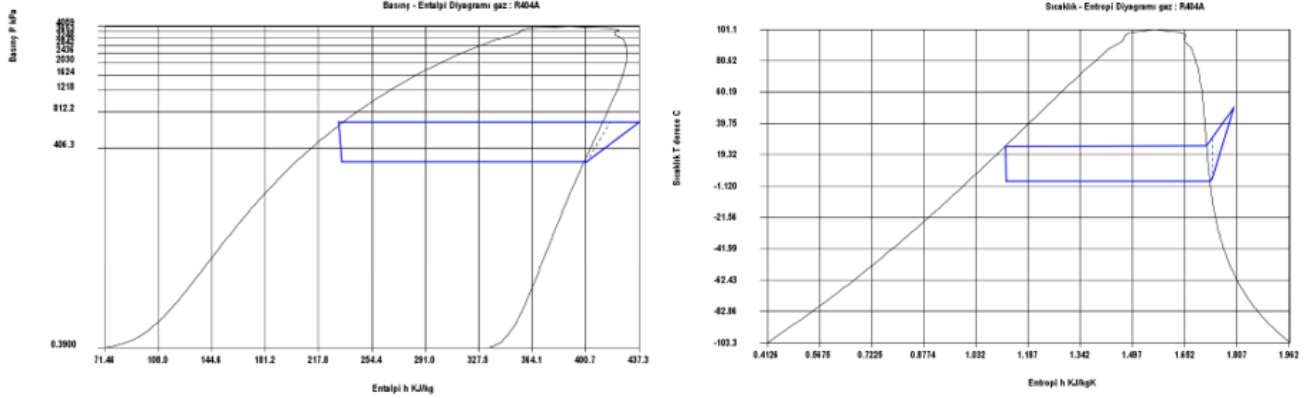
(b)

Şekil 3. Minimum (a) ve maksimum (b) metan verimi değerleri (Devamı)

Çizelge 6. R404A soğutucu akışkan ile çalışan buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminin çıktı değerleri

Özellik	Değer	Birim
Gaz İsmi	R-125/R143/R134a(44/52/4)	
m	0.03730201183650847	kg/s
W kompresör	1.2863904190946467	kW
Q buharlaştırma	4.5	kW
Q yoğuşma	5.539396837994001	kW
COP buharlaşma	3.498160382107845	
COP yoğuşma	4.306155235432018	
Buharlaştırıcı çıkışı T1	4.401433614361965	°C
Buharlaştırıcı çıkışı P1	647.5954656191897	kPa
Buharlaştırıcı çıkışı h1	375.59084552404903	kJ/kg
Kompresör çıkışı T2	42.5	°C
Kompresör çıkışı P2	1728.3462358315612	kPa
Kompresör çıkışı h1	401.4552095843466	kJ/kg
Yoğuşturucu çıkışı T3	35.60460370896007	°C
Yoğuşturucu çıkışı P3	1726.3462358315612	kPa
Yoğuşturucu çıkışı h3	252.95392063851966	kJ/kg
Genleşme vanası çıkışı T4	2.1275332343189803	°C
Genleşme vanası çıkışı P4	648.9600767042795	kPa
Genleşme vanası çıkışı h4	254.95392063851966	kJ/kg
İzentropik kompresör çıkışı T5	37.61640620819014	°C
İzentropik kompresör çıkışı P5	1726.3462358315612	kPa
İzentropik kompresör çıkışı h5	396.3899024799734	kJ/kg
Yoğuşturucu doyma buhar x=1 T	38.0	°C
Yoğuşturucu doyma buhar x=1 P	1728.3462358315612	kPa
Yoğuşturucu doyma buhar x=1 h	380.21010178282364	kJ/kg

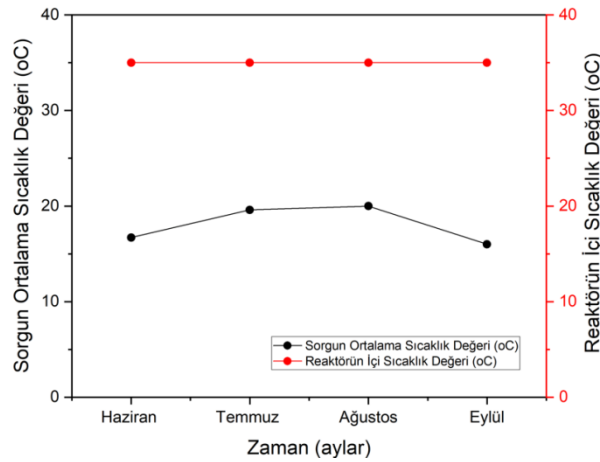
Gerçekleştirilen simülasyon analizlerinde, buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi için R404A soğutucu akışkanı kullanıldığı kabul edilerek gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Soğutma çevrimi analizi sonuçlarına göre Çizelge 6'da görüldüğü üzere, kompresör gücünün yaklaşık 1.28 kW ve kompresör veriminin %80 olacağı sonucu ortaya çıkmıştır. Ayrıca, yoğuşturucu ve buharlaştırıcı için gerekli güç değerleri sırasıyla 5.5 kW ve 4.5 kW olarak tespit edilmiştir. Buhar sıkıştırımlı soğutma sisteminin simülasyon modellemesi çalışmasından elde edilen soğutma çevriminin T-s ve log P-h diyagramları Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Soğutma çevriminin T-S ve log P-h diyagramı

Deneysel Çalışma Bulguları

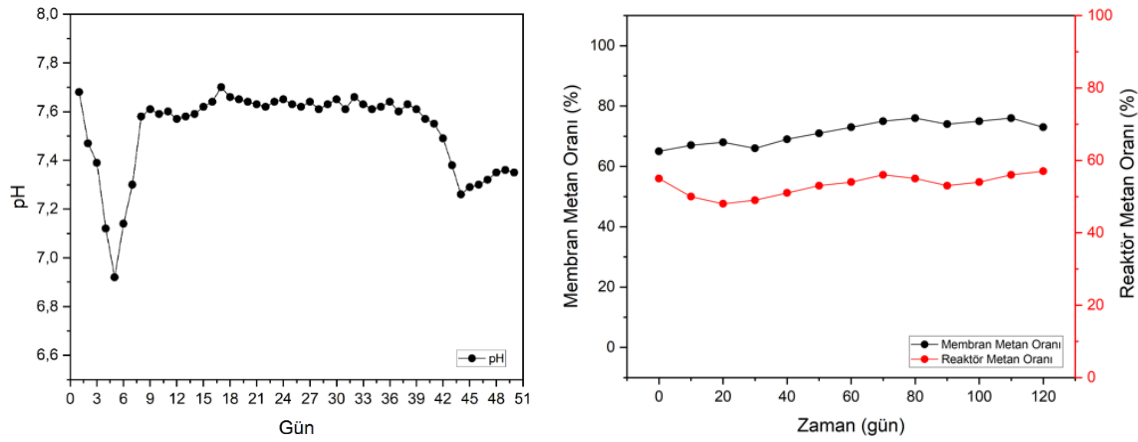
Biyogaz üretiminde sıcaklık, pH, basınç ve gübre özellikleri gibi etmenler önemli bir rol oynamaktadır. Ancak bu etkilere sıcaklık etmeni metan bakterilerinin yaşam döngüsünü ciddi derecede etkilemektedir. Bu sebeple mezofilik sıcaklık aralığında çalışması planlanan fermantörün sıcaklığı 35 °C' de sabit tutulmuştur. Şekil 5'te verilen, Sorgun'un ve reaktörün sıcaklık değerlerine bakıldığında, çevre sıcaklığının değişken olması ve istenile sıcaklık değerinin altında bir sıcaklık görülmesinden dolayı reaktöre eklenen ısıtma sistemiyle ve otomasyonla reaktör sıcaklığı sabit kalmıştır.



Şekil 5. Sorgun'un ve reaktörün sıcaklık değerleri

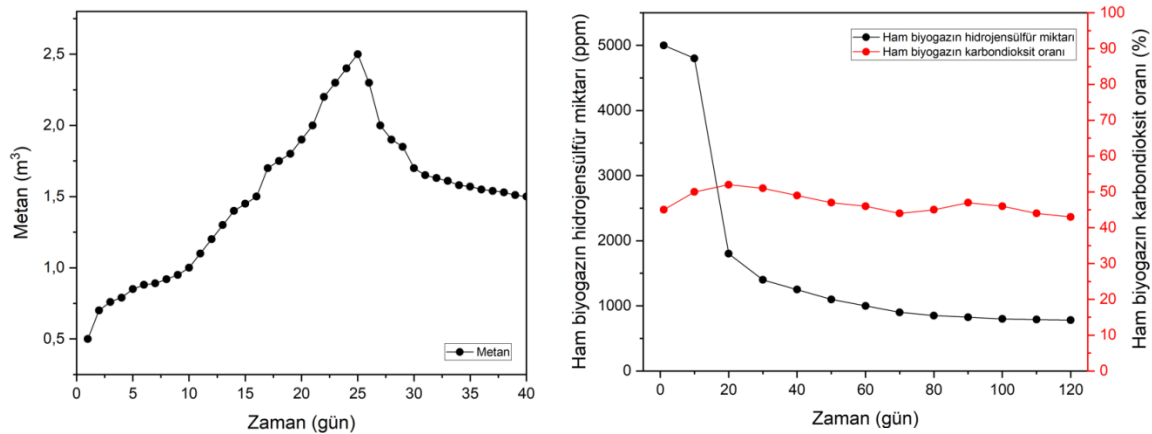
Reaktör içerisindeki bulamacın günlük pH ölçümü şekil 6'da verilmiştir. Hayvan gübresinin su ile karışımının ilk pH değeri 6.69 olarak ölçülmüştür. Reaktöre yüklenen bulamaca, kırk gün boyunca yükleme yapılmamış ve kırk birinci gün günlük 200 L atık beslemesi yapılmıştır. Fermantöre yüklemenin yapılmasından sonraki ilk bir haftalık süreçte pH seviyesi düşerek asidik bölgeye gelmiştir. Bu durumun sebebi sindirimin ilk olduğu zamanlarda mikroorganizmaların substratı hızlı parçalamasıyla organik asit oluşturmasıdır. Daha sonraki günlerde reaktörün içerisindeki sindirim

devam etikçe ve amonyak konsantrasyonunun artmasıyla, azotun sindirimi nedeniyle pH artış göstermiştir. PH'nın 7.6 seviyelerine kadar artış göstermesinden sonra, reaksiyonlar daha stabil bir seviyede devam etmiştir.



Şekil 6. Substratın pH değişim grafiği ve biyogazın metan oranı

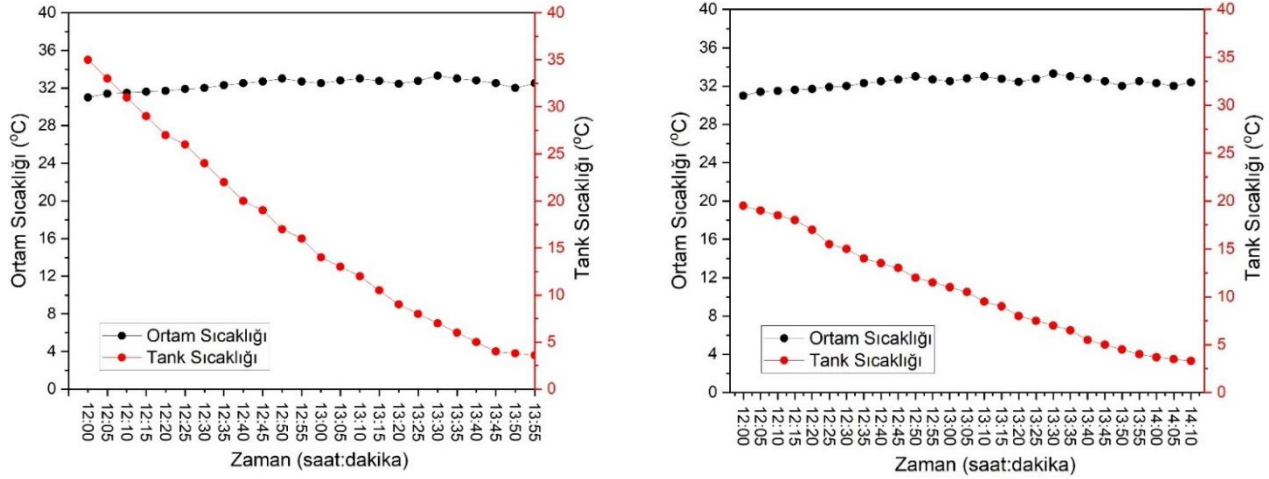
Ham biyogaz; metan (CH_4), karbondioksit (CO_2), azot (N_2), H_2S ve O_2 gibi gazlardan oluşmaktadır. Fermantasyon sonucu verimli kullanılacak biyogaz; yaklaşık %40-75 CH_4 , %25-60 CO_2 ve %2 kadarı hidrojen sülfür ve diğer gazlardan oluşmuş olmalıdır (Khanal, 2011). Şekil 6'da verilen reaktör ve membran içerisindeki biyogazın metan oranlarına bakıldığında ilk üretilen biyogazın metan oranı %55-58 seviyelerinden, filtrasyon işlemleriyle %65-68 seviyelerine çıkarılmıştır. Fermantöre alınan organik atık kırk günlük fermantasyonu sonucunda Şekil 7'de görüldüğü üzere toplamda 18.55 m^3 'lük bir gaz üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu değer, simülasyon verilerinde elde edilen değerden %20 daha az olmuştur. Buna sebep olarak, fermantasyon sürecinde reaktördeki kaçaklar, antibiyotik kullanımı veya hasta olan hayvanların dışkılarında bulunan yabancı maddelerin ve kimyasalların etkili olduğu düşünülmüştür. Bu olumsuz etkilerin kontrol altına alınmasıyla verimin daha da artırabileceğine inanılmaktadır.



Şekil 7. Günlük olarak üretilen metan miktarı ve H_2S - CO_2 miktarı

Deneylerde elde edilen biyogazın içerisindeki CO_2 , su hazneli bir depodan geçirilerek serbest haldeki CO_2 'nin bir kısmı tutulmuştur. Karbondioksit oranlarının Şekil 7'de görüldüğü üzere %45-42 seviyelerinde olduğu tespit edilmiştir. Biyogazın depolanmasından önce bu değerler %10 oranında filtrelenerek, CO_2 oranı %35-32 seviyelerine indirgenmiştir. H_2S 'nin arındırılması işlemi aktif karbon yöntemi kullanılmıştır. Biyogaz içindeki arındırılan H_2S bileşiği 1000 ppm seviyelerine kadar düşürülmüştür. İlk sağım soğutma deneyinde hayvanlardan alınan süt soğutma tankına alınmıştır. Soğutma tankı TS EN 13732 +A2 numaralı Türk Standardına göre her sağımdaki sütü $32 \text{ }^\circ\text{C}$ ortam sıcaklığı koşullarında en çok 2.5 saat içerisinde başlangıç sıcaklığından $+4 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye soğutabilmelidir. Süt

soğutma makinesi ilk sağımda +35 °C’ deki 150 L sütü, tank içerisinde bulunan sıcaklık algılayıcısı ile tankın enerji tüketim verilerini kayıt altına alan wattmetre ile tank içerisindeki sütün +4 °C’ ye ulaşma süresi belirlenmiştir. Şekil 8 incelendiğinde +35 °C’ deki sütün, +4 °C’ ye düşmesi bir saat elli dakika sürmüştür ve bu değere ulaşmasından sonra beş dakika sonra ise termostat soğutmayı kapatmıştır.



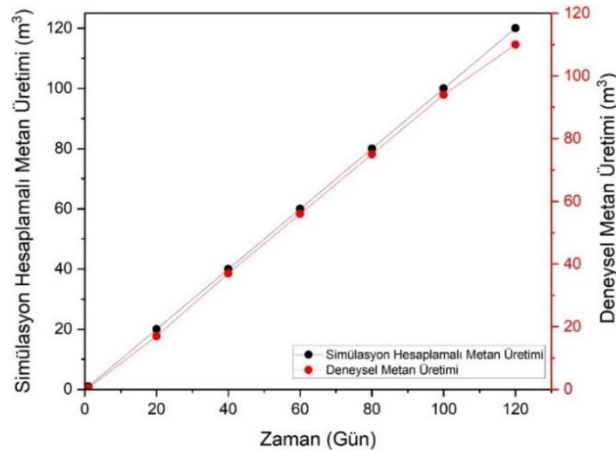
Şekil 8. Süt soğutma tankının 15.06.2022 tarihinde, ilk ve son sağımdaki sütün sıcaklık değişimi ve soğutma süresi

Süt soğutma tankının son sağımda denemesinde tank içerisindeki 19.5 °C’ deki 300 L sütün +4 °C’ ye ulaşması iki saat beş dakika sürmüştür ve beş dakika sonrasında da termostat soğutmayı kapatmıştır. Soğutmanın kesildiği bu sürede tank içerisindeki sütün sıcaklığı Şekil 8’de görüldüğü üzere 3.3 °C ölçülmüştür. Soğutma tankı deney süresince deneyin başlamasından itibaren otomatik çalışma konumunda on iki saat süresince bırakılarak bu süre sonundaki enerji tüketim değeri kaydedilmiştir. İlk ve son sağımda soğutma deneyinde sisteminin performansına ait sonuçlar Çizelge 7’de verilmiştir.

Çizelge 7. Buhar sıkıştırımlı soğutma yöntemiyle süt soğutma performans ölçümleri

Performans Özellikleri	Birim	İlk Sağımda	Son Sağımda
4 °C’ye soğutma süresi	(saat, dakika)	1 saat 50 dakika	2 saat 5 dakika
Termostat kapatma süresi	(saat, dakika)	1 saat 55 dakika	2 saat
Enerji tüketimi	(kWh)	4.3	4.45
Maksimum güç tüketimi	(kW)	2.6	2.35
Ortalama güç tüketimi	(kW)	2.25	2.20
Özgül enerji ihtiyacı	(Wh/L)	29.16	

Simülasyon Çalışmasından Elde Edilen Veriler ile Deneysel Verilerin Karşılaştırılması



Şekil 9. İkinci deneysel çalışmaların metan üretiminin simülasyon ve deneysel karşılaştırması

Yaz ve sonbahar aylarında sıcaklıkların yüksek olması ve sistemdeki kaçak vs. eksiklerin giderilmesiyle elde edilen biyogaz miktarı, şekil 9’da görüldüğü üzere simülasyon verilerine yakın çıkmıştır. Ancak deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen biyogaz miktarının, matematiksel modelleme sonucunda hesaplanan biyogaz miktarına göre düşük çıkmasının sebepleri arasında, çevre şartlarındaki ani değişimlerde sistemin tepki süresi, fermantasyon sürecindeki etkenler ve hayvanların tedavi sürecinde aldıkları antibiyotik gibi sorunlar sayılabilir. Fakat geliştirilen otomasyon sistemi ile değişken çevre koşulları kontrol altında tutularak sistem üzerinde meydana gelebilecek aksaklıklar minimize edilmeye çalışılmıştır.

SONUÇ

Bu çalışmada biyogaz enerjisi destekli buhar sıkıştırırmalı süt soğutma sistemi tasarımı ve performans değerlendirmesi, sayısal ve deneysel olarak araştırılmıştır. Simülasyon çalışmasından elde edilen veriler, deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen verilerle karşılaştırılmış ve deneysel çalışmalardan elde edilen metan üretimi verilerinin, simülasyon çalışmasından ortaya çıkan sonuçlarla uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmada ortaya çıkan sonuçlar:

- I. Biyogaz enerjisi ile süt soğutma prosesi, ilk sağımda 38 °C’ deki 150 litre sütü +4 °C’ ye 1 saat 55 dakika süresinde soğutabilmiştir. Son sağımda ise 300 litre sütün ortalama 19.5 °C’ den 4 °C sıcaklığa ise 2 saat 5 dakika içerisinde ulaştığı gözlemlenmiştir. Bu soğutma süresi, çiğ sütün uygun şekilde soğutma ve muhafazasını sağlayacak teknik ve işlevsel özellikler konusunda ulusal ve uluslararası platformlarda kabul edilmiş ve yayınlanmış olan TS EN 13732 numaralı Türk Standardı ve EN 13732 standardına göre her sağımdaki 32 °C ortam sıcaklığı koşullarında en çok 2.5 saat içerisinde başlangıç sıcaklığından +4 °C’ ye soğutabilme şartını sağlamıştır.
- II. +4 °C’ ye soğutulan süttten alınan numuneye, koloni sayımı yapılmış ve 2.1×10^4 koloni/ml ($\log_{10} 4,32$) tespit edilmiştir. Bu değer Gıda ve Hayvancılık Bakanlığının, hayvansal gıdalar için özel hijyen kuralları yönetmeliğinin çiğ süt hijyen şartlarına göre 30 °C’ de her mililitrede 300.000’den az koloni sayısına sahip olması şartını sağlamıştır.
- III. Reaktörün sıcaklığının sabit tutulması, metan üretimini sağlayan bakterilerin sıcaklık değişimlerine maruz kalması önlenmiş ve günlük metan üretimindeki dalgalanmaların önüne geçilmiştir.
- IV. Biyogaz yakıtlı süt soğutma sistemi, konvansiyonel süt soğutma sistemine kıyasla %54.37 oranında enerji tasarrufu sağlamıştır. Biyogaz üretim süreci için reaktörün enerji verimliliği ise yaklaşık %42.5 olarak bulunmuştur. Buhar sıkıştırırmalı süt soğutma sistemi için genel COP değeri ise 3.47 olarak hesaplanmıştır. Buna ek olarak geliştirilen buhar sıkıştırırmalı süt soğutma sistemi için elde edilen deneysel verilerin simülasyon verileriyle önemli ölçüde uyum sağladığı gözlemlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 3501 Kariyer Geliştirme Programı kapsamında, 120M772 proje numarasıyla desteklenmiştir. Katkılarından dolayı TÜBİTAK’a teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

- Adekunle, K. F. & Okolie, J. A. (2015). A review of biochemical process of anaerobic digestion, *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 6(3), 205. <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>
- Atalay, H. (2011). *Soğutucu Akışkan ve Çevrimlerin Termodinamik ve Termofiziksel Modellenmesi* (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir).
- Bhurat, S. S., Pasupuleti, S. R., Kunwer, R., Gugulothu, S. K., & Joshi, A. (2022). Technical challenges and opportunities for milk chilling unit based on vapor absorption refrigeration systems, *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.09.155>
- Breen, M., Murphy, M. D., & Upton, J. (2015). Development and validation of photovoltaic and wind turbine models to assess the impacts of renewable generation on dairy farm electricity consumption Paper presented at the 2015 ASABE Annual International Meeting. <https://doi.org/10.13031/aim.20152189379>
- Çengel, Y. A. ve Boles, M. A. (2013). Kapalı sistemlerin enerji analizi. A. Pınarbaşı, (Ed.), *Termodinamik mühendislik yaklaşımıyla* (s. 150-180) içinde. Yer:Ankara PalmeYayıncılık.
- Çoban, M. T. (2012). Biyogaz yakıtlı motor ile tahrik edilen süt soğutma sisteminin teorik modellenmesi. In: 1. Ulusal İklimlendirme Soğutma Eğitimi Sempozyumu, (s. 601-609). Balıkesir, Türkiye. Erişim adresi: <http://ikses12.balikesir.edu.tr/>
- De Jesús Vargas-Soplín, A., Prochnow, A., Herrmann, C., Tscheuschner, B., & Kreidenweis, U. (2022). The potential for biogas production from autumn tree leaves to supply energy and reduce greenhouse gas emissions—A case study from the city of Berlin, *Resources, Conservation and Recycling*, 187, 106598. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106598>
- Devi, M. K., Manikandan, S., Oviyapriya, M., Selvaraj, M., Assiri, M. A., Vickram, S., ... & Awasthi, M. K. (2022). Recent Advances in Biogas Production Using Agro-Industrial Waste: A Comprehensive Review Outlook of Techno-Economic Analysis, *Bioresource Technology*, 127871. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127871>
- Ekinci, K., Kulcu, R., Kaya, D., Yaldiz, O., Ertekin, C., & Öztürk, H.H., (2010). The prospective of potential biogas plants that can utilize animal manure in Turkey *Energy Exploration & Exploitation*, Vol. 28, no. 3, pp. 187-206. <https://doi.org/10.1260/0144-5987.28.3.187>
- Kasera, S., Nayak, R., & Bhaduri, S. C. (2021). Performance analysis of solar milk refrigerator using energy efficient R290, *Case Studies in Thermal Engineering*, 24, 100855. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.100855>
- Kaya, D., ve Öztürk, H. H. (2012). Biyogaz teknolojisi: üretim-kullanım-projeleme (s. 20-50) içinde. İstanbul: Umuttepe Yayıncılık.
- Khanal, S. K. (2011). *Anaerobic biotechnology for bioenergy production: principles and applications*: John Wiley & Sons.
- Romaniuk, W., Mazur, K., Borek, K., Borusiewicz, A., Wardal, W. J., Tabor, S., & Kuboń, M. (2021). Biomass energy technologies from innovative dairy farming systems. *Processes*, 9(2), 335. <https://doi.org/10.3390/pr9020335>
- Sur, A., Sah, R. P., and Pandya, S. (2020). Milk storage system for remote areas using solar thermal energy and adsorption cooling, *Materials Today: Proceedings*, 28, 1764-1770. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.170>
- Thiangchanta, S., Khiewwijit, R., & Mona, Y. (2022). Environmental impact of the biogas production from dairy cows, *Energy Reports*, 8, 290-295. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.10.204>
- Torres-Toledo, V., Meissner, K., Coronas, A., & Müller, J. (2015). Performance characterisation of a small milk cooling system with ice storage for PV applications, *international journal of refrigeration*, 60, 81-91. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2015.06.025>
- Tufaner, F. ve Avşar, Y. (2016). Effects of co-substrate on biogas production from cattle manure: a review, *International journal of environmental science and technology*, 13(9), 2303-2312. <https://doi.org/10.1007/s13762-016-1069-1>
- Vilar, M., Rodriguez-Otero, J., Sanjuán, M., Diéguez, F., Varela, M., & Yus, E. (2012). Implementation of HACCP to control the influence of milking equipment and cooling tank on the milk quality, *Trends in Food Science & Technology*, 23(1), 4-12. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.08.002>

Atf İçin: Sezer, İ. (2023). Dizel Motorlarda Dimetil Eter Kullanımının Partikül Madde Emisyonlarına Etkileri Üzerine Bir Derleme. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 1212–1229.

To Cite: Sezer, İ. (2023). A Review on the Effects of Using Dimethyl Ether on Particulate Matter Emissions in Diesel Engines. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 1212–1229.

Dizel Motorlarda Dimetil Eter Kullanımının Partikül Madde Emisyonlarına Etkileri Üzerine Bir Derleme

İsmet SEZER^{1*}

Öne Çıkanlar:

- Dizel yakıtı–DME karışımlarının dizel motorlarda kullanımı
- Dizel yakıtı–DME karışımlarının PM emisyonlarına etkileri
- Çeşitli alternatif yakıtlar ile DME karışımlarının PM emisyonlarına etkileri

Anahtar Kelimeler:

- Dizel motor
- Dimetil eter
- Motor performansı
- Yakıt katkıları
- PM emisyonları

ÖZET: Bu çalışma, dizel motorlarda dimetil eter (DME)'in saf veya yakıt katkısı olarak kullanımı üzerine yapılmış çeşitli çalışmaların sonuçlarından yararlanılarak derlenmiştir. Dizel motorlarda zararlı egzoz emisyonlarını azaltmanın birkaç yöntemi vardır. Bunlardan ilki motor tasarımında ve yakıt enjeksiyon sisteminde modifikasyonlar yaparak yanmanın iyileştirilmesidir, ancak bu pahalı ve zaman alıcı bir yöntemdir. İkinci yöntem ise katalitik konvertör ve partikül fitresi gibi donanımlar kullanmaktır, ancak bu donanımlar motor performansını olumsuz yönde etkiler. Hem egzoz emisyonlarını azaltmak hem de motor performansını artırmak için uygulanan son yöntem çeşitli alternatif yakıtların veya yakıt katkılarının kullanılmasıdır. Dizel motorlardaki en önemli emisyonlar azot oksitler (NO_x) ve partikül madde (PM) emisyonlarıdır. Çoğu araştırmacı emisyonları azaltmanın en iyi yolunun doğalgaz, biyogaz, biyodizel gibi alternatif yakıtların veya konvansiyonel veya alternatif yakıtlarla birlikte çeşitli yakıt katkılarının kullanılması olduğunu bildirmektedir. Bu nedenle, alternatif yakıtlar ve yakıt katkıları üzerine yapılan çalışmaların sonuçlarının birlikte değerlendirilmesi pratik uygulamalar için oldukça önemlidir. Bu çalışma, dimetil eterin dizel motorlarda yakıt veya yakıt katkısı olarak kullanılmasının PM emisyonları üzerindeki etkilerinin incelenmesine odaklanmıştır. Yapılan derleme çalışması sonucunda; DME saf olarak kullanıldığında yüksek oksijen içeriği, kimyasal yapısında direkt bağlı karbon bulunmaması, hızlı buharlaşma, yüksek setan sayısı ve düşük tutuşma sıcaklığı gibi özellikleri sayesinde sifıra yakın PM emisyonu elde edilmesini sağladığı belirlenmiştir. Saf DME'nin dizel yakıtına kıyasla PM emisyonunu %13–228 ve biyodizel yakıtına kıyasla %88.6–227.6 azalttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, farklı oranlarda DME içeren dizel–DME karışımlarının dizel yakıtına kıyasla PM emisyonunu %4.7–509 azalttığı ve farklı oranlarda DME içeren biyodizel–DME karışımlarının PM emisyonunu biyodizel yakıtına kıyasla %38.2 azalttığı tespit edilmiştir. Diğer taraftan, LPG–DME karışımının dizel yakıtına kıyasla PM emisyonunu %269–493 azalttığı ve farklı oranlarda DME içeren DME–NH₃ karışımlarının saf DME'ye kıyasla PM emisyonunu %40.7–96.7 artırdığı tespit edilmiştir. Öte yandan, egzoz gazı resirkülasyonu (EGR) oranının %10–50 aralığında değiştirilmesinin PM emisyonunu %13.1–48.4 artırdığı tespit edilmiştir.

A Review on the Effects of Using Dimethyl Ether on Particulate Matter Emissions in Diesel Engines

Highlights:

- The use of diesel fuel–DME blends in diesel engines
- Effects of diesel fuel–DME blends on PM emissions
- Effects of various alternative fuels and DME blends on PM emissions

Keywords:

- Diesel engine
- Dimethyl ether
- Engine performance
- Fuel additive
- PM emissions

ABSTRACT: This review study was created from the various studies which were completed on the use of dimethyl ether (DME) in diesel engines as a fuel or fuel additive. The several methods are available for the decreasing of the harmful emissions in diesel engines. The first method for the reduction of harmful emissions is improved the combustion by modification of engine design and fuel injection system, but this process is expensive and time consuming. The second method is the using various exhaust gas devices like catalytic converter and diesel particulate filter. However, the use of such devices affects negatively diesel engine performance. The last method to reduce emissions and also improve diesel engine performance is the use of various alternative fuels or fuel additives. The major pollutants of diesel engines are oxides of nitrogen (NO_x) and particulate matter (PM). It is very difficult to reduce NO_x and PM simultaneously in practice. The most researches declare that the best way to reduce these emissions is the use of various alternative fuels i.e. natural gas, biogas, biodiesel or using some additives with the alternative fuels or conventional diesel fuel. Therefore, it is very important that the results of various studies on alternative fuels or fuel additives are evaluated together to practice applications. Especially, this study focuses on the usage of dimethyl ether in diesel engines as fuel or fuel additive. This review study investigates the effects of using dimethyl ether on particulate matter (PM) emissions. As a result of this review study; it was determined that when DME is used in pure form, it provides nearly zero PM emission due to its features such as high oxygen content, the absence of directly bonded carbon in its chemical structure, rapid evaporation, high cetane number and low ignition temperature. It was determined that pure DME was found to reduce the PM emissions by 13–228% compared to diesel fuel and 88.6–227.6% compared to biodiesel fuel. It was also determined that diesel–DME blends containing different ratios of DME reduced the PM emissions by 4.7–509% compared to diesel fuel, and biodiesel–DME blends containing different ratios of DME reduced the PM emissions by 38.2% compared to biodiesel fuel. On the other hand, it was determined that the LPG–DME blend decreased the PM emissions by 269–493% compared to diesel fuel, and the DME–NH₃ blends containing different amounts of DME increased the PM emissions by 40.7–96.7% compared to pure DME. Moreover, it was determined that changing the exhaust gas recirculation (EGR) ratio between 10–50% increased PM emissions by 13.1–48.4%.

¹ İsmet SEZER (Orcid ID: 0000-0001-7342-9172), Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane, Türkiye

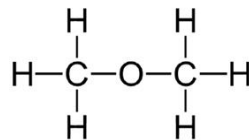
*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: İsmet SEZER, e-mail: isezer@gumushane.edu.tr

GİRİŞ

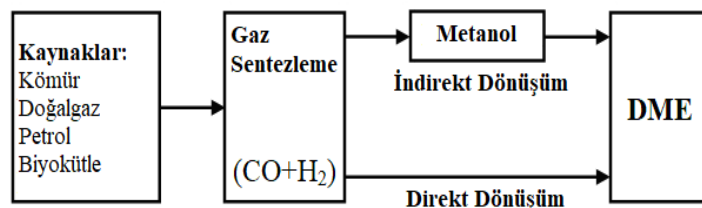
Dizel motorların yüksek tork, düşük yakıt tüketimi ve benzin motorlarına kıyasla daha düşük hidrokarbon (HC), karbon monoksit (CO) ve karbondioksit (CO₂) emisyonu seviyeleri sayesinde daha tercih edilebilir olduğu söylenebilir (Yoon ve ark., 2010). Ancak, dizel motorları atmosfere benzin motorlarından daha yüksek seviyede partikül madde (PM) ve azot oksit (NO_x) emisyonu yaymaktadırlar. Bu nedenle, birçok araştırmacı daha düşük emisyon değerlerine sahip dizel motorlar geliştirmeye yönelik alternatif yakıtlar üzerine araştırmalar yapmaktadır (Youn ve ark., 2011). Çeşitli alternatif yakıtlar arasında, dimetil eter (DME) kömürden, doğalgazdan ve farklı biyokütle kaynaklarından üretilmesi sayesinde oldukça umut verici bir alternatif yakıt olarak görülmektedir (Alam ve Kajitani, 2001). Ancak, DME'nin düşük viskozite, yetersiz yağlayıcılık, düşük yanma entalpisi ve düşük kaynama noktası gibi fiziksel özellikleri dizel motorların temel yapısında ve yardımcı donanımlarında modifikasyonlar yapılmasını gerektirmektedir. DME'nin saf olarak kullanılabilmesi dizel motorlu taşıtlar hala geliştirme aşamasındadır. Bununla birlikte, DME dizel yakıtı veya diğer alternatif yakıtlarla birlikte kullanılabilir (Maji ve ark., 2014). Bu nedenle, DME'nin kullanımı üzerine yapılmış çalışmaların sonuçlarının birlikte değerlendirilmesi pratik uygulamalar açısından oldukça önemlidir. Bu derleme çalışması DME kullanımının PM emisyonları üzerindeki etkilerinin incelenmesini amaçlamaktadır.

Dimetil Eterin Karakteristikleri

DME, Şekil 1'de kimyasal yapısından da görüleceği gibi CH₃-O-CH₃ (C₃H₆O) kimyasal formülüne sahip basit eterlerden birisidir. Genel olarak, DME'nin fiziksel özellikleri sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG)'nin özelliklerine çok benzerdir. Bu nedenle, DME'nin depolanması, nakliyesi ve yakıt istasyonlarında taşıtların deposuna aktarılması ilgili gereklilik ve şartlar LPG ile aynıdır (Alam ve Kajitani, 2001). Şekil 2'de gösterildiği gibi, DME direkt veya indirekt sentetik metotlarla üretilmektedir. Direkt üretim yönteminde DME doğrudan doğalgazdan üretilirken, indirekt üretim yönteminde metanolün sentetik dehidrasyonu ile üretilmektedir (Park ve Lee 2014). Enerji eşdeğeri değerlendirildiğinde DME'nin üretimi benzin veya dizel yakıtından daha ucuza mal olmaktadır. Büyük çapta üretim tesisleri dikkate alındığında DME'nin üretim maliyeti sıkıştırılmış doğalgaz (CNG) veya sıvılaştırılmış doğalgaz (LNG) üretim maliyetine benzerdir (Wattanavichien, 2009). DME oda sıcaklığında ve atmosferik basınçta gaz fazında olup zehirsizdir. Bu nedenle, DME'nin 0.5 MPa üzerindeki bir basınçta sıvılaştırılması gerekir. DME'nin taşıt üzerinde yakıt tankından motora sevk edilebilmesi sırasında buhar tıkaçı oluşumunu engellemek için yakıt enjeksiyon sisteminde basıncın 1.7–2 MPa aralığına yükseltilmesi gerekir (Duan ve ark., 2012; Kowalewicz ve Wojtyniak, 2005).



Şekil 1. DME'nin kimyasal yapısı (Park ve Lee 2014)



Şekil 2. DME'nin üretim yöntemleri (Azizi ve ark., 2014)

Dizel yakıtı ve DME'nin yakıt özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi DME'in yakıt özellikleri dizel yakıtından oldukça farklıdır. Yüksek buharlaşma basıncı ve düşük kaynama noktası değerlerine sahip olduğundan DME atmosferik basınç ve oda sıcaklığında gaz fazındadır. Diğer taraftan, DME'nin ısı değeri dizel yakıtının yarısı kadardır. Bu nedenle, yakıt besleme sistemi, yakıt püskürtme sistemi ve yanma odasının yeniden tasarlanması gerekmektedir (Huang ve ark., 2009). DME'nin setan sayısı dizel yakıtından daha yüksek olması nedeniyle daha iyi tutuşma özelliklerine sahiptir. DME'nin buharlaşma gizli ısı dizel yakıtına kıyasla oldukça yüksek olduğundan yakıt-hava karışımının sıcaklığının düşürülmesine yardımcı olur.

Çizelge 1. DME ve dizel yakıtının özellikleri (Huang ve ark., 2009)

Özellik	DME	Dizel
Kimyasal formülü	CH ₃ -O-CH ₃	C _x H _y
Moleküler ağırlığı, g/mol	46.07	170
Kaynama noktası, °C	-24.9	180-360
Sıvı fazdaki yoğunluğu, kg/m ³	668	840
Sıvı fazdaki viskozitesi, cP	0.15	4.4-5.4
Alt ısı değeri, kJ/kg	28430	42500
Tutuşma sıcaklığı, °C	235	250
Setan sayısı	55-60	40-55
Stokiyometrik hava/yakıt oranı	9	14.6
Elastisite modülü, N/m ²	6.37x10 ⁸	1.486x10 ⁹
Kütlesel karbon oranı	52.2	86
Kütlesel hidrojen oranı	13	14
Kütlesel oksijen oranı	34.8	0

DME sadece C-H ve C-O kimyasal bağına sahip olup direkt C-C bağına sahip değildir ve içeriğinde %34.8 oksijen bulundurur. Bu özellikleri sayesinde, DME'nin yanması sırasında neredeyse hiç PM üretimi olmaz. Düşük gürültü seviyesine sahip, yüksek oranda egzoz gazı resirkülasyonu (EGR) oranını tolere edilebilir ve NO_x emisyonunun azaltılmasında dizel yakıtından daha avantajlıdır (Wattanavichien, 2009). DME'nin düşük viskozitesi yakıt besleme sisteminde sızıntılara neden olabileceğinden daha düşük toleranslı parçalar kullanılması gerekir. DME'nin yetersiz yağlama özelliği yakıt sistemindeki hareketli parçalarda aşınmalara neden olabilir. Bu nedenle, DME'nin içerisine sızıntı ve aşınmayı önleyici katkıları katılması gereklidir. DME'nin sıkıştırılabilirliği dizel yakıtından daha fazla olduğundan yakıt sisteminde yakıtın nakledilebilmesi için daha fazla pompalama işine ihtiyaç vardır. Genel olarak, DME korozif yapısı nedeniyle kauçuk esaslı materyallerin yapısını bozar. Bu nedenle, yakıt sistemindeki kauçuk esaslı materyaller DME'nin korozif etkilerine dayanıklı malzemelerle değiştirilmelidir (Yoon ve ark., 2010). Ek olarak, DME metal malzemeler için korozif değildir (Park ve Lee, 2014).

Yukarıda belirtilen edilen avantajlı yakıt özelliklerine rağmen, yapılan deneysel ve sayısal çalışmalar sonucunda DME'nin taşıtlar üzerinde uygulamasının yaygınlaşabilmesi için aşağıdaki sorunların çözüme kavuşturulması gerektiği görülmüştür.

- İhtiyaç duyulan motor gücü ve araç türüne göre istenen gereksinimleri karşılayacak şekilde DME yakıt sisteminde bir yakıt besleme pompası ve yüksek basınç pompasının tasarımı gereklidir. Bu pompaların tasarım ve üretiminde, DME'nin yüksek buhar basıncı, yüksek sıkıştırılabilirliği, düşük viskozite ve kauçuk ve bazı plastikler gibi sızdırmazlık elemanlarını çözebilme eğilimi gibi özelliklerinin göz önünde bulundurulması gereklidir.
- DME'nin düşük viskozitesinden dolayı ortaya çıkan yetersiz yağlayıcılığı yakıt pompası elemanlarında aşınma ve sızıntılara yol açabilir. Bunu önlemek için DME yakıtına uygun yağlayıcı katkı maddeleri eklenmelidir. Ayrıca, DME'nin yüksek buhar basıncının düşük viskozitesiyle birleşmesi sonucunda yakıt iletim hattında buhar tıkaçı ve kavitasyon oluşabilir. Bu olumsuzlukları

önlemek için yakıt soğutma ve sıcaklık kontrol ünitesinin DME yakıt sistemine eklenmesi gereklidir.

- DME, dizel yakıtından daha düşük yoğunluğa ve ısı değere sahip olduğundan, motorun aynı gücü üretmesi için silindire daha fazla miktarda DME gönderilmesi gerekir. Bu nedenle, DME için daha büyük yakıt enjektörleri, yakıt pompaları ve yakıt tankları kullanılması gereklidir.
- DME'nin püskürtme ve buharlaşma özellikleri dizel yakıtından farklı olduğundan dizel yakıtı için kullanılan aşırı yüksek basınçlı püskürtme teknolojisi DME için uygun değildir. Ayrıca, DME için en uygun enjektör memesi çapı ve yanma odası geometrisinin tasarımı için önceden bir püskürtme stratejisinin belirlenmesi gerekir. DME için maksimum püskürtme basıncı 300 barı geçmeyen ortak hatlı (common rail) elektronik kontrollü yakıt püskürtme sistemleri oldukça uygundur. Bu sistem sayesinde püskürtme zamanı ve süresi en uygun şekilde ayarlanabilir.

Sonuç olarak, DME çok düşük PM emisyonu sağlaması nedeniyle dizel motor yakıtı olarak oldukça cazip bir alternatiftir. Çünkü PM emisyonu motor performansı ve çevre açısından önemli olumsuz etkilere sahip olduğundan dizel motorlar için en önemli sorunlardan birisidir. DME'nin dizel motorlara uygulanabilmesi için sadece yakıt sisteminde değişiklikler yapılması gereklidir. Ayrıca, turbo şarj sistemi sayesinde motor performansı ile ilgili olumsuzluklar ortadan kaldırılabileceği ve egzoz gazı resirkülasyonu (EGR) sistemi sayesinde NO_x emisyonlarının önemli ölçüde azaltılabileceği belirtilmektedir. Tüm bu değişiklikler motorun temel yapısında ve ana elemanlarında önemli bir değişikliğe gerek kalmadan karşılanabilir bir maliyetle yapılabilir. Ayrıca, DME çevre dostu ve yenilenebilir bir seçenek olarak daha düşük bir maliyetle benzin-LPG uygulamasına benzer şekilde çift yakıtlı motor uygulamalarında dizel yakıtı veya diğer yakıtlarla birlikte kullanılabilir (Maji ve ark., 2014; Park ve Lee, 2014; Thomas ve ark., 2014).

Dimetil Eter ile İlgili Literatür Çalışmaları

Literatürde, DME'nin üretim teknolojileri, yakıt özellikleri, yanma karakteristikleri, motor performansı ve egzoz emisyonları üzerine yapılmış oldukça fazla sayıda çalışma bulunmaktadır. Üretim teknolojileri üzerine yapılmış çalışmalarda (Azizi ve ark., 2014; Lecksiwilai ve ark., 2016; Inayat ve ark., 2017) farklı üretim teknikleri incelenmiş ve bunlar maliyet açısından değerlendirilmiştir. Yakıt özellikleri üzerine yapılmış çalışmalarda (Park ve Lee, 2014; Park ve Lee 2013; Teng ve ark., 2001; Maji ve ark., 2015) özellikle DME'nin dizel yakıtından farklı olan içeriğinde oksijen bulunması, düşük yoğunluk ve düşük viskozite gibi olumlu özelliklerinin yanı sıra düşük yağlayıcılık gibi yetersiz yönleri incelenmiştir. Püskürtme karakteristikleri üzerine yapılan çalışmalarda (Guangxin ve ark., 2013; Jalanapurkar ve ark., 2015; Kim ve ark., 2011; Xu ve ark., 2012; Lim ve Iida, 2015; Suh ve Lee, 2008; Genbao ve ark., 2012; Mohan ve ark., 2017) DME'nin düşük yoğunluk ve düşük viskozite sayesinde püskürtme karakteristiklerini nasıl iyileştirdiğiyle ilgili incelemeler yapılmıştır. Yanma karakteristikleri üzerine yapılan çalışmalarda (Park ve Lee, 2013; El-Hagar, 2014; Wang ve ark., 2015; Jeon ve ark., 2014; Baskaran, 2015; Park, 2012; Benajes ve ark., 2018; Oda ve ark., 2004; Song ve ark., 2004; Khunaphan ve ark., 2013; Lamani ve ark., 2017; Chapman ve Boehman, 2008; Ying ve ark., 2005; Benajes ve ark., 2018) DME'nin tutuşma gecikmesi süresi, yanma süresi, kütleli yanma oranı, silindir basıncı ve yanma sıcaklıkları gibi parametreler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Motor performans karakteristikleri üzerine yapılan çalışmalarda (Kropiwnicki ve ark., 2017; Smolec ve ark., 2017; Namasivayam ve ark., 2010; Jang ve Bae, 2009; Ryu ve ark., 2014; Semelsberger ve ark., 2006; Li, 2011; Sezer, 2011; Wang ve ark., 2013; Ying ve ark., 2010; Chen ve ark., 2000; Arcoumanis ve ark., 2008; Taghavifar ve ark., 2014; Patil ve Thipse 2012; Vispute ve Pawar, 2016; Theinnoi ve ark., 2017; Deepak ve ark., 2015; Kajitani, 2004; Hewu ve

Longbao 2017; Prabhakaran ve ark., 2015; Kajitani ve Chen, 2003; Abhishek ve ark., 2017) DME'nin döndürme momenti (tork), efektif motor gücü, özgül ve toplam yakıt tüketimi ve efektif verim gibi başlıca performans parametreleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Egzoz emisyonu karakteristikleriyle ilgili yapılan çalışmalarda (Loganathan ve ark., 2012; Kim ve Park, 2016; Park ve ark., 2016; Geng ve ark., 2017; Loganathan ve ark., 2012; Zhao ve ark., 2014; Hou ve ark., 2014; Ying ve ark., 2006; Xinling ve Zhen, 2009; Yanju ve ark., 2014; Wang ve ark., 2014; Park ve ark., 2010; Thomas ve ark., 2014; Yoon ve ark., 2013; Roh ve ark., 2015; Zhu ve ark., 2012; Park ve ark., 2014; Bogdan ve ark., 2017; Kim ve ark., 2012; Wang ve ark., 2000; Ambekar ve Hole, 2018; Longbao ve ark., 2002) DME'nin daha çok karbon monoksit (CO), hidrokarbon (HC), partikül madde (PM) veya is, azot oksitler (NO_x) ve karbondioksit (CO₂) gibi genel emisyonlar üzerindeki etkileri incelenmiştir.

DME'nin saf olarak veya diğer yakıtlarla birlikte dizel motorlarda kullanımına yönelik deneysel çalışmalarda genellikle deneysel çalışmalar için özel üretilmiş deney motorları kullanılarak DME'nin püskürtme, yanma, performans ve emisyon karakteristiklerine etkileri deneysel olarak incelenmiştir (Song ve ark., 2004; Oda ve ark., 2004; Chapman ve Boehman, 2008; Genbao ve ark., 2012; Xu ve ark., 2012; Khunaphan ve ark., 2013; El-Hagar, 2014; Jeon ve ark., 2014; Ryu ve ark., 2014; Lim ve Iida, 2015). Simülasyon ve modelleme çalışmalarında ise kimyasal, termodinamik ve akışkanlar dinamiği esaslı modeller kullanılarak DME'nin saf olarak veya diğer yakıtlarla birlikte kullanılması durumunda yakıt sistemindeki akış hareketlerinin püskürtme, yakıt-hava karışımı oluşumu ve yanma üzerindeki etkileri incelenmektedir. Ayrıca, DME'nin kullanıma yönelik modelleme çalışmalarında emme ve egzoz kanallarındaki ve yanma odası içerisindeki akış hareketlerinin yanma, motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkileri sayısal olarak incelenmiştir (Teng ve ark., 2001; Suh ve Lee, 2008; Jang ve Bae, 2009; Namasivayam ve ark., 2010; Sezer, 2011; Kim ve ark., 2011; Park, 2012; Wang ve ark., 2015; Mohan ve ark., 2017; Lamani ve ark., 2017; Benajes ve ark., 2018).

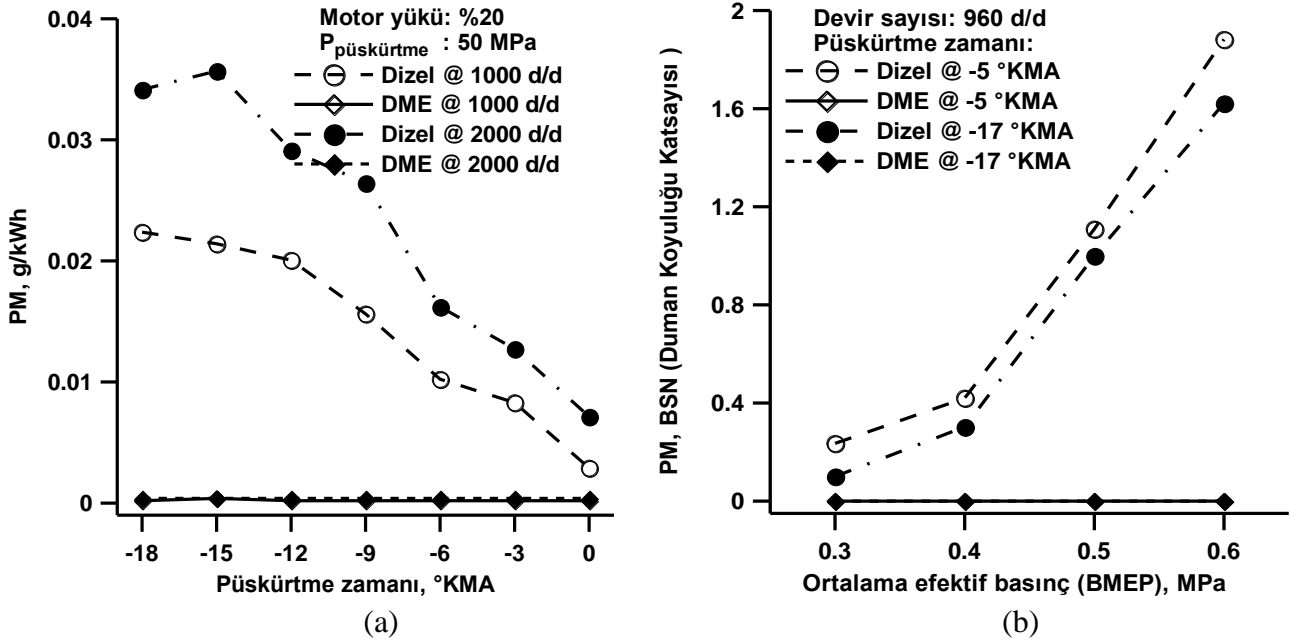
Çizelge 2. DME kullanımı ile PM emisyonundaki değişim oranları

Ana Yakıt–Karşılaştırma Yakıtı	DME oranı	PM Değişim Oranı (%)	Kaynak
Dizel–DME	%100	↓14–115	(Youn ve ark., 2011)
Dizel–DME	%100	↓13–228	(Huang ve ark., 2009)
Dizel–DME	%100	↓20–154	(Smolec ve ark., 2017)
Dizel–Dizel+DME	%10–40	↓17–180	(Wang ve ark., 2013)
Dizel–Dizel+DME	%10–90	↓4.7–74.5	(Theinnoi ve ark., 2017)
Dizel–Dizel+DME	% –	↓59–85.7	(Duan ve ark., 2012)
Dizel–Dizel+DME	% –	↓27–56.5	Khunaphan ve ark., 2013)
Dizel–Dizel+DME	%5–10	↓5.1–39.1	(Lim ve Iida, 2015)
Dizel–Dizel+DME	%5–20	↓10–33	(Lamani ve ark., 2017)
Dizel–Dizel+DME	%10–20	↑2–10.1	(Prabhakaran ve ark., 2015)
Dizel–Dizel+DME	%10–30	↓76.5–509	(Ying ve ark., 2006)
Dizel–Dizel+DME	%15–40	↓26.9–300	(Zhao ve ark., 2014)
Biyodizel–DME	%100	↓88.6–227.6	(Hou ve ark., 2014)
Biyodizel–Biyodizel+DME	%50	↑19.2–42	(Hou ve ark., 2014)
Biyodizel–Biyodizel+DME	%70	↑10.2–↓38.2	(Hou ve ark., 2014)
Dizel–Biyodizel+DME	%80	↓483–857	Roh ve ark., 2015)
Dizel+Biyodizel–Biyodizel+DME	%80	↓216–571	Roh ve ark., 2015)
Dizel–LPG+DME	% –	↓269–493	(El-Hagar, 2014)
DME–DME+NH ₃	%40	↑40.7–89.6	(Ryu ve ark., 2014)
DME–DME+NH ₃	%60	↑78.4–96.7	(Ryu ve ark., 2014)

PM emisyonu motor performansı ve çevre açısından önemli olumsuz etkilere sahip olduğundan dizel motorlar için en önemli sorunlardan birisidir. Ayrıca, dizel motorlarda PM emisyonlarını azaltmak için kullanılan partikül filtreleri oldukça pahalı donanımlar olup belli bir kullanım süresi sonunda tıkanıklarında motor performansı önemli ölçüde azalmakta ve temizlenmeleri veya değişimleri oldukça maliyetli olmaktadır. Çizelge 2'de görüldüğü gibi DME saf veya yakıt katkısı

olarak kullanıldığında PM emisyonunu önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada DME'nin PM emisyonlarına etkileri üzerine bir değerlendirme yapılmıştır.

Dimetil Eterin Pm Emisyonlarına Etkileri

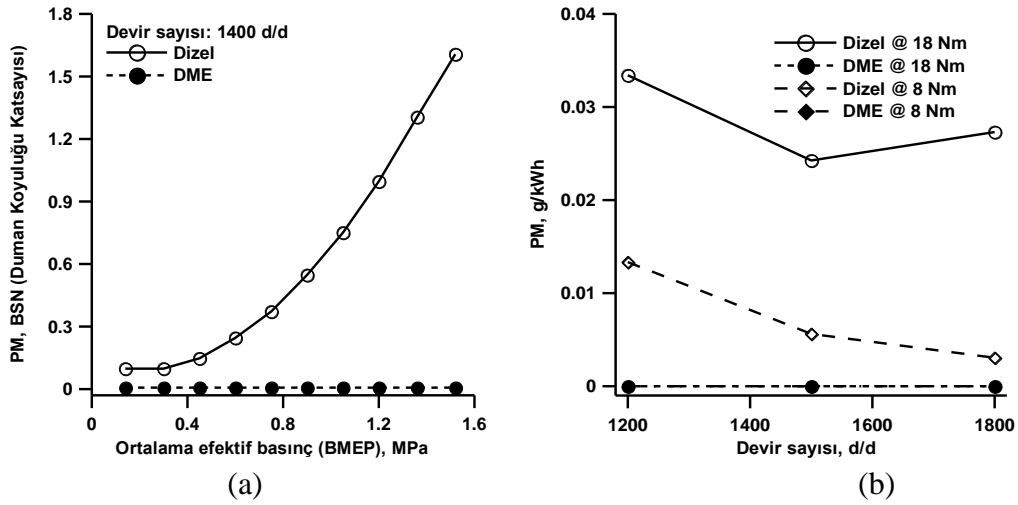


Şekil 3. Dizel ve DME yakıtları için PM emisyonunun a) püskürtme zamanı (Youn ve ark., 2011) ve b) BMEP (Alam ve Kajitani, 2001) ile değişimi

Şekil 3(a)'da dizel ve DME yakıtlarına için PM emisyonunun farklı devir sayılarında püskürtme zamanı ile değişimi verilmiştir. Şekil üzerindeki KMA krank mili açısıdır. Şekilde görüldüğü gibi DME yakıtı kimyasal karakteristiklerinden dolayı sifıra çok yakın PM emisyonu değerlerine sahiptir. DME'nin kimyasal yapısında direkt karbon bağı bulunmaz ve %34.8 oranında oksijen içerir. Bu nedenle PM emisyonu oluşumunu doğal olarak önler. Diğer taraftan, çok hızlı gerçekleşen difüzyon (kontROLSÜZ) yanma fazı da PM emisyonunun sifıra yakın değerlerde olmasını sağlar. Grafikte, motor devri arttıkça PM emisyonun da arttığı açıkça görülmektedir. Bu durum devir sayısı arttıkça yanma işlemi için gerekli sürenin kalmamasından kaynaklanmaktadır (Youn ve ark., 2011). Şekil 3(b)'de dizel ve DME yakıtları için PM emisyonunun farklı püskürtme avansı değerlerinde BMEP (Ortalama Efektif Basınç) ile değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi DME yakıtı sifıra çok yakın PM emisyonu değerleri vermiştir. DME yakıtının en önemli avantajlarından birisi de dizel motorlarda kullanıldığında oldukça fakir yakıt-hava karışımı sağlaması ve yukarıda bahsedilen yakıt özellikleri sayesinde PM emisyonunu azaltmasıdır (Alam ve Kajitani, 2001).

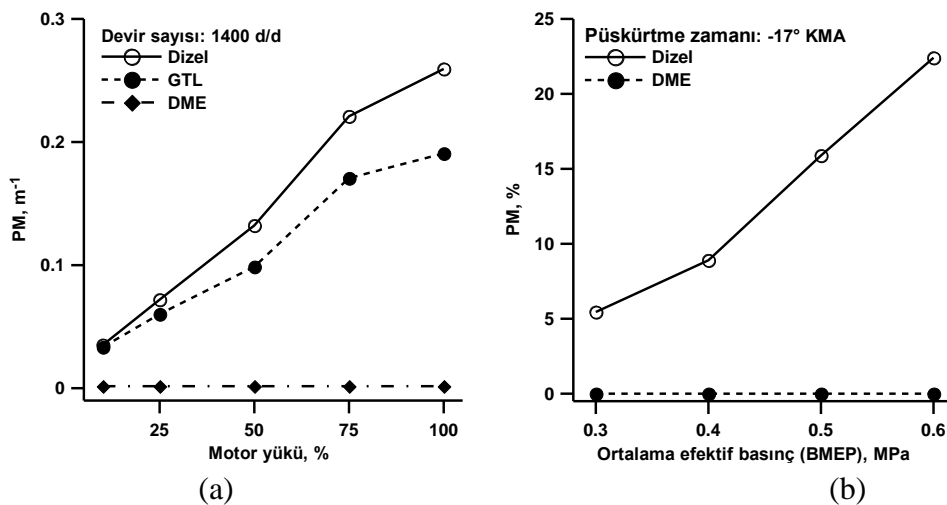
Şekil 4(a)'da 1400 d/d devir sayısında dizel ve DME yakıtları için PM emisyonunun BMEP (motor yükü) ile değişimi verilmiştir. Şekil üzerindeki BSN Duman Koyuluğu Katsayısı olup PM emisyonu miktarını gösteren boyutsuz bir birimdir. Şekilde görüldüğü gibi DME yakıtı tüm motor yüklerinde sifıra yakın PM emisyonu değerlerine sahiptir. Bu durum DME'nin kimyasal yapısında direkt karbon bağı bulunmaması ve içeriğinde oksijen bulunması nedeniyle PM emisyonun oluşumunu azaltmaktadır (Huang ve ark., 2009). Şekil 4(b)'de dizel ve DME yakıtları için PM emisyonunun farklı moment değerlerinde devir sayısı ile değişimi verilmiştir. DME kimyasal özellikleri sayesinde tüm motor devri ve yüklerinde neredeyse sifıra yakın PM emisyonu değerleri vermiştir. Yakıtın yapısında bulunan asetilen ve aromatik hidrokarbonlar PM emisyonu oluşumunda önemli rol oynar ve PM oluşumu yakıtın kimyasal yapısında direkt karbon bağı bulunmasına bağlıdır. DME'nin içeriğinde oksijen bulunması ve kimyasal yapısında direkt karbon bağı olmaması PM emisyonu

oluşumunu önemli ölçüde engeller ve DME yakıtı kullanıldığında sifıra yakın PM emisyonu ortaya çıkar. Diğer taraftan, dizel yakıtı kullanıldığında PM emisyonu düşük devir sayısında ve özellikle motor yükü arttıkça püskürtülen yakıt miktarının artması nedeniyle artmıştır (Jeon ve ark., 2014).

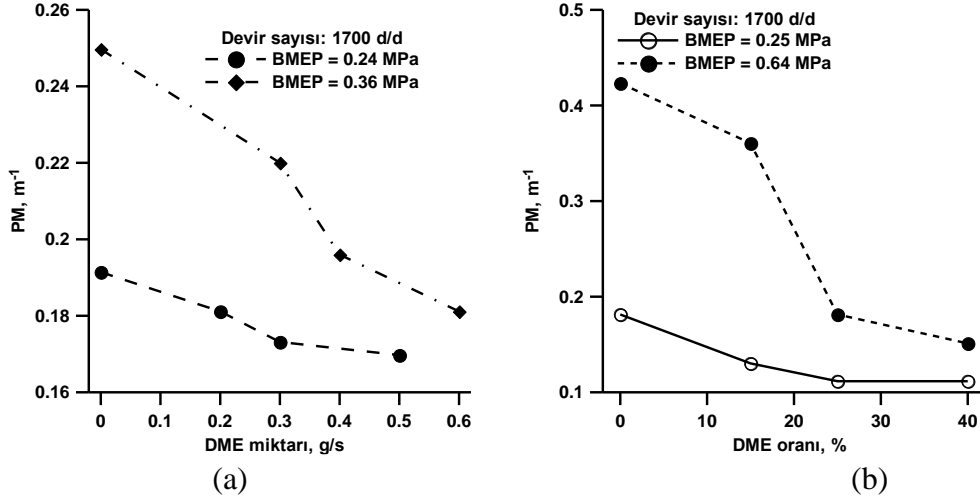


Şekil 4. Dizel ve DME yakıtları için PM emisyonunun a) BMEP (Huang ve ark., 2009) ve b) devir sayısı (Jeon ve ark., 2014) ile değişimi

Şekil 5(a)'da 1400 d/d motor devrinde dizel, gazdan türetilmiş likit (GTL) ve DME yakıtları için PM emisyonunun farklı motor yükü ile değişimi verilmiştir. DME ile ilgili yapılan çalışmaların çoğu DME'nin dizel yakıtından daha iyi emisyon değerleri verdiğini bildirmektedir. Şekilde görüldüğü gibi dizel motorlar için önemli sorun olan PM emisyonu DME kullanıldığında sifıra yakın değerler almıştır. Bu durum DME'nin düşük kaynama noktası sıcaklığına sahip olması sayesinde kolayca buharlaşması sonucu daha iyi bir yakıt-hava karışımı oluşturmasından, içeriğinde oksijen bulunması ve kimyasal yapısında direkt karbon bağı bulunmamasından kaynaklanmaktadır (Smolec ve ark., 2017). Şekil 5(b)'de 17° KMA (Krank Mili Açısı) püskürtme avansında dizel ve DME yakıtları için PM emisyonunun BMEP ile değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi dizel yakıtı için PM emisyonu artan motor yükü ile artarken DME tüm yük değerlerinde sifıra yakın PM emisyonu sağlamıştır. Bunun sebebinin DME'nin içeriğinde oksijen bulunması ve kimyasal yapısında direkt bağlı karbon bulunmaması olduğu belirtilmiştir (Chen ve ark., 2000).

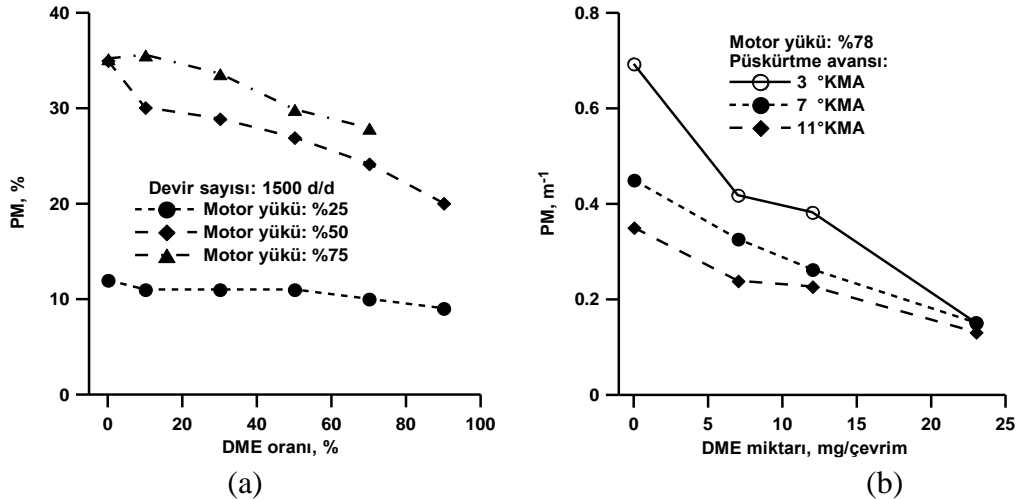


Şekil 5. Dizel, gazdan türetilmiş likit (GTL) ve DME yakıtları için PM emisyonunun a) motor yükü (Smolec ve ark., 2017) ve b) BMEP (Chen ve ark., 2000) ile değişimi



Şekil 6. Farklı DME oranlarında PM emisyonunun motor yükü ile değişimi a) (Wang ve ark., 2015) ve b) (Wang ve ark., 2013)

Şekil 6(a)'da 1700 d/d devir sayısında PM emisyonunun farklı BMEP değerlerinde DME miktarı ile değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi her iki yük değerinde DME oranının artması PM emisyonunun azalmasını sağlamıştır. DME'nin dizel yakıtı ile birlikte kısmen ön karışımli bir dizel motorda kullanılması kontrolsüz yanma süresini kısaltarak DME'nin kimyasal özelliklerinden kaynaklanan avantajları sayesinde PM emisyonunun azalmasını sağlamıştır (Wang ve ark., 2015). Şekil 6(b)'de 1700 d/d devir sayısında PM emisyonunun farklı BMEP değerlerinde DME oranı ile değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi dizel–DME çift yakıtla çalışma durumunda her iki yük değerinde dizel yakıtına göre daha düşük PM emisyonu değerleri elde edilmiştir. Dizel motorlarda PM emisyonu çoğunlukla difüzyon yanma fazında zengin yakıt–hava karışımının bulunduğu püskürtülen yakıt demetinin merkezinde oluşur. DME oranının artması difüzyon yanma süresini kısalttığından PM emisyonunun azalmasını sağlamaktadır. Gaz yakıtlar doğal olarak PM emisyonuz yanma sağlama özelliğine sahiptir. Bu nedenle dizel motorlarda dizel–DME çift yakıtla çalışma PM emisyonunun kontrolü için kullanılabilir (Wang ve ark., 2013).

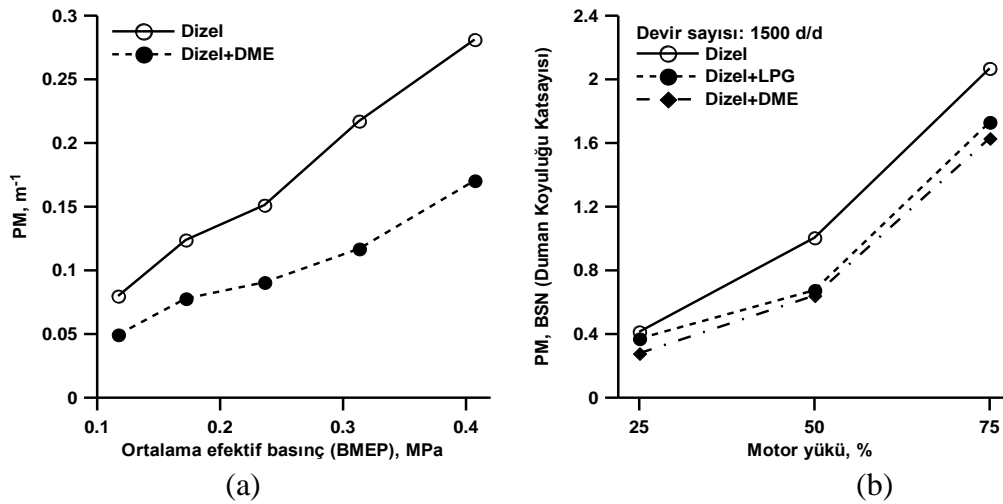


Şekil 7. Farklı DME oranlarında PM emisyonunun a) motor yükü (Theinnoi ve ark., 2017) ve b) püskürtme avansı (Wang ve ark., 2014) ile değişimi

Şekil 7(a)'da PM emisyonunun farklı motor yükü değerlerinde DME oranları ile değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi tüm yük değerlerinde DME oranının artması PM emisyonunun azalmasını sağlamıştır. %25 motor yükü değerinde ve %90 DME oranında dizel yakıtına kıyasla PM emisyonunda %43.2 oranında azalma elde edilmiştir. DME'nin gaz fazında olması sebebiyle daha

homojen bir yakıt–hava karışımı oluşturması ve kimyasal yapısında direkt karbon bağı bulunmaması yanmayı iyileştirerek PM emisyonunun önemli oranda azalmasını sağlamaktadır (Theinnoi ve ark., 2017). Şekil 7(b)'de PM emisyonunun farklı püskürtme avansı değerlerinde DME miktarı ile değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi tüm püskürtme avansı değerlerinde DME oranının artması PM emisyonunun azalmasını sağlamıştır. Bu durum, DME'nin daha homojen bir yakıt–hava karışımı oluşturarak difüzyon (kontROLSÜZ) yanma safhasını kısaltması ve daha temiz yanma sağlayan diğer yakıt özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, püskürtme avansının artırılması yanma işlemi için daha fazla süre sağlayarak PM emisyonunu azalmasına katkı sağlamaktadır (Wang ve ark., 2014).

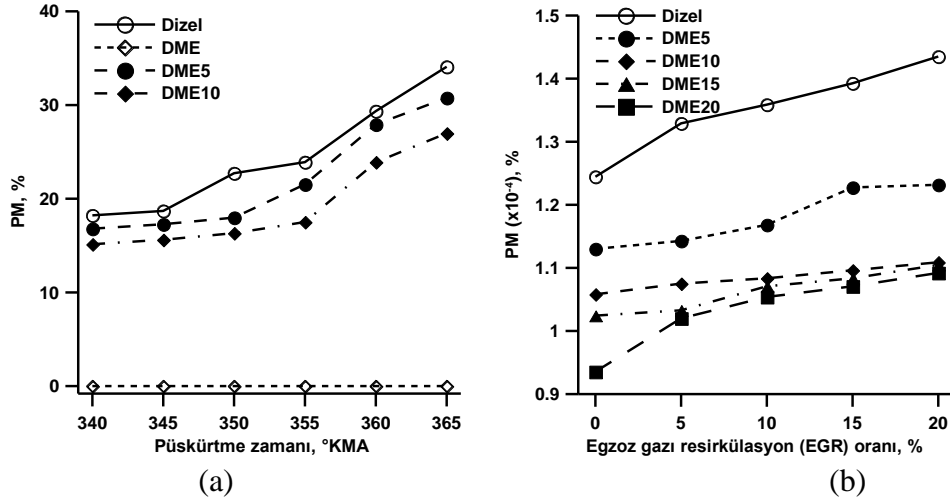
Şekil 8(a)'da dizel yakıtı ve dizel–DME karışımı için PM emisyonunun BMEP ile değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi dizel–DME karışımı dizel yakıtının yaklaşık %50'si kadar PM emisyonu sağlamıştır. Bunun, DME'nin kimyasal yapısında direkt karbon bağı bulunmaması sayesinde daha temiz yanma sağlamasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Diğer taraftan, DME'nin içeriğinde bulunan oksijen ortamda bulunan karbonun kolayca yanmasını sağlar. Böylece, dizel–DME karışımı kullanıldığında daha düşük PM emisyonu elde edilmiştir (Duan ve ark., 2012). Şekil 8(b)'de 1500/d devir sayısında dizel yakıtı, dizel–LPG ve dizel–DME karışımları için PM emisyonunun motor yükü ile değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi dizel–LPG (Sıvılaştırılmış petrol gazı) ve dizel–DME karışımları dizel yakıtına göre daha düşük PM emisyonu değerleri vermiştir. %75 motor yükü değerinde PM değerleri sırasıyla dizel–DME karışımı için 1.6 BSN, dizel–LPG karışımı için 1.7 BSN ve dizel yakıtı için 2.1 BSN şeklindedir. Bu durum, DME'nin yüksek oksijen içeriğine sahip olması ve kimyasal yapısında direkt bağı karbon bulunmaması nedeniyle daha yüksek yanma sıcaklığı sağlamasından kaynaklanmaktadır. Diğer taraftan, LPG'nin gaz fazında olmasının daha homojen bir yakıt–hava karışımı oluşturarak PM emisyonunun azalmasını sağladığı belirtilmiştir (Khunaphan ve ark., 2013).



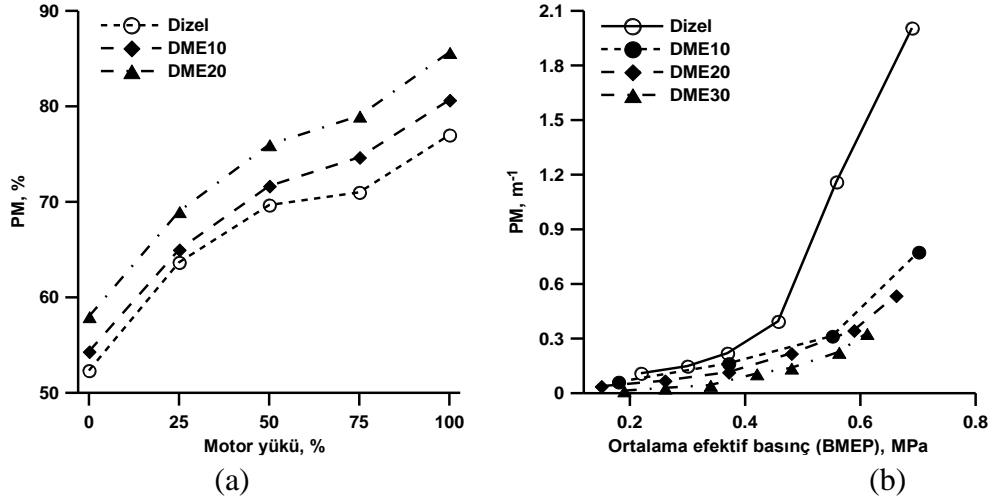
Şekil 8. Dizel–DME ve dizel–LPG karışımları için PM emisyonunun a) BMEP (Duan ve ark., 2012) ve b) motor yükü (Khunaphan ve ark., 2013) ile değişimi

Şekil 9(a)'da dizel yakıtı, DME ve farklı dizel–DME karışımları için PM emisyonunun püskürtme zamanına ile değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi DME yüksek oksijen içeriği sayesinde karbon atomlarının kolayca yanmasını sağlayarak sifıra yakın PM emisyonu sağlamıştır. Bu nedenle, dizel–DME karışımları içerisindeki DME oranı arttıkça PM emisyonu değerleri de azalmıştır. Dizel yakıtıyla kıyaslandığında DME5 ve DME10 karışımları PM emisyonunu yaklaşık %20 oranında düşürmüştür (Lim ve İda, 2015). Şekil 9(b)'de dizel yakıtı ve farklı dizel–DME karışımları için PM emisyonunun EGR oranı ile değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi DME'nin kimyasal özellikleri sayesinde DME karışımları PM emisyonunu önemli ölçüde azaltmıştır. PM emisyonu yanma

odasındaki yakıtça zengin bölgelerde düşük yanma sıcaklıkları nedeniyle oluşmaktadır. Yakıtın içerisinde bulunan asetilen ve aromatik hidrokarbonlar PM emisyonu oluşumunda önemli rol oynar. PM emisyonu oluşumu yakıtın yapısındaki direkt bağlı karbon atomlarına önemli ölçüde bağlıdır. DME'nin yapısında direkt bağlı karbon atomu bulunmadığından PM emisyonu önemli ölçüde azalmaktadır. Diğer taraftan, EGR oranının artırılması yanma odası içerisindeki oksijen miktarını azalttığından PM emisyonu artmaktadır. Bu sayede en düşük PM emisyonu DME20 karışımı ile %0 EGR oranında elde edilmiştir. EGR oranı arttıkça DME'nin PM emisyonunu azaltıcı etkisi azalmaktadır. PM emisyonu oluşumu yanma sıcaklığı ve yanma odasındaki oksijen miktarının bileşik etkilerine bağlıdır. Yanma sıcaklığı arttıkça PM emisyonu azalırken EGR oranının artması PM emisyonunu artırmaktadır (Lamani ve ark., 2017).



Şekil 9. Dizel yakıtı ve farklı dizel–DME karışımları için PM emisyonunun a) püskürtme zamanı (Lim ve Lida, 2015) ve b) EGR (Egzoz Gazı Resirkülasyon) oranı (Lamani ve ark., 2017) ile değişimi

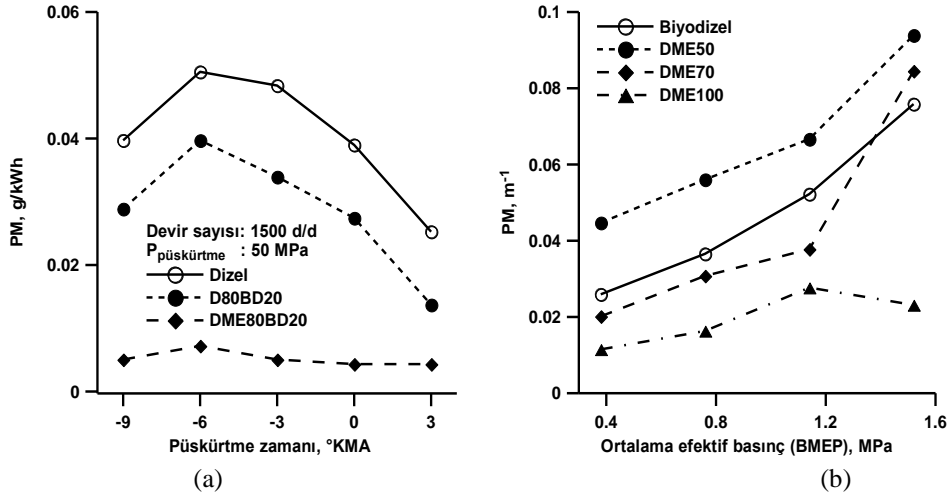


Şekil 10. Dizel yakıtı ve farklı dizel–DME karışımları için PM emisyonunun a) motor yükü (Prabhakaran ve ark., 2015) ve b) BMEP (Ying ve ark., 2006) ile değişimi

Şekil 10(a)'da dizel yakıtı ve farklı dizel–DME karışımları için PM emisyonunun motor yükü ile değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi PM emisyonu artan DME oranı ile artmıştır. Bu durum eksik yanmadan kaynaklanmaktadır. Dizel yakıtına DME katılması eksik yanmaya neden olmakta ve bunun sonucunda PM emisyonu artan DME oranı ile artmaktadır (Prabhakaran ve ark., 2015). Şekil 10(b)'de dizel yakıtı ve farklı dizel–DME karışımları için PM emisyonunun BMEP ile değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi PM emisyonu özellikle yüksek yük değerlerinde artan DME oranı ile azalmıştır. Bu durum DME'nin içeriğindeki oksijen sayesinde yanma için ekstra oksijen sağlayarak

PM emisyonu oluşumunu baskılamasından kaynaklanmaktadır. DME'nin kimyasal yapısında direkt karbon bağı ve içeriğinde aromatik hidrokarbonların bulunmaması PM emisyonunun azalmasına katkı sağlamaktadır (Ying ve ark., 2006).

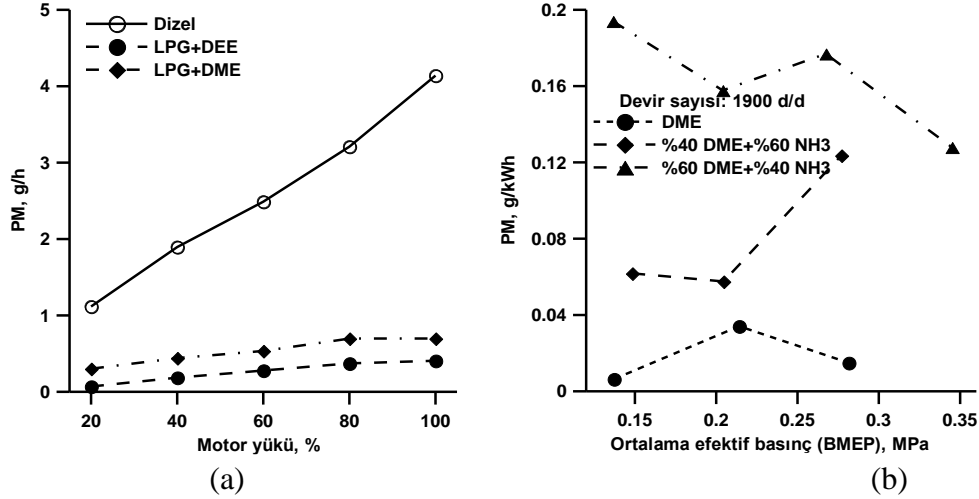
Şekil 11(a)'da dizel yakıtı, dizel–biyodizel ve biyodizel–DME karışımları için PM emisyonunun püskürtme zamanı ile değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi DME80BD20 karışımı sifıra yakın PM emisyonu değerleri vermiştir. D80BD20 karışımı ise içeriğinde nispeten az oksijen bulunması nedeniyle DME80BD20 karışımından daha yüksek PM emisyonu değerleri vermiş ve her iki karışım da dizel yakıtından daha düşük PM emisyonu değerleri vermiştir (Roh ve ark., 2015). Şekil 11(b)'de biyodizel yakıtı ve farklı biyodizel–DME karışımları için PM emisyonunun BMEP ile değişimi verilmiştir. Tüm yakıtlar için artan motor yükü ile PM emisyonu artmıştır. Diğer taraftan, PM emisyonu artan DME oranı ile azalmıştır. Bu durum, DME'nin içeriğinde oksijen bulunması, yapısında direkt bağlı karbon bulunmaması, düşük tutuşma sıcaklığı ve hızlı buharlaşma gibi özelliklerinden kaynaklandığı belirtilmiştir. Ancak, DME50 karışımında bulunan %50 oranındaki biyodizel yakıtı püskürtme sırasında yakıtın atomizasyonunu olumsuz etkileyerek PM emisyonunun artmasına neden olmuştur (Hou ve ark., 2014).



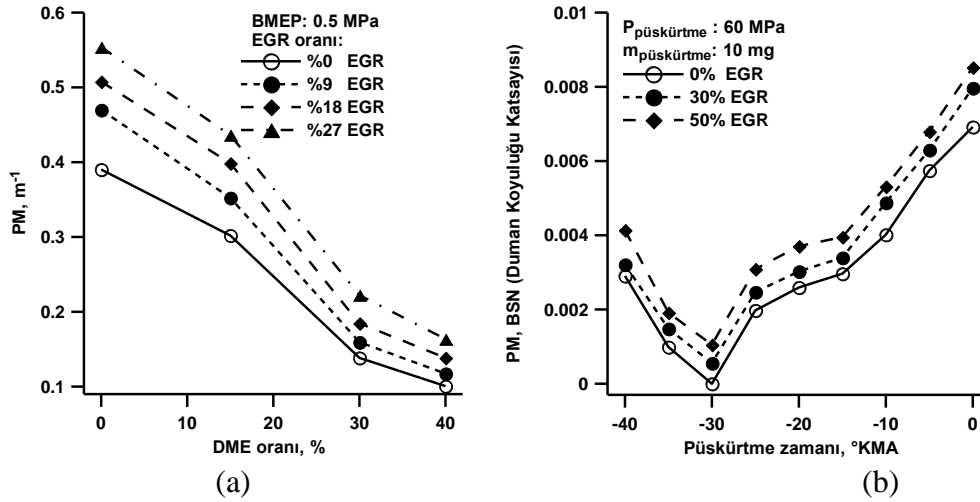
Şekil 11. PM emisyonunun a) dizel yakıtı, dizel–biyodizel ve biyodizel–DME karışımları için püskürtme zamanı ile (Roh ve ark., 2015) ve b) biyodizel yakıtı ve farklı biyodizel–DME karışımları için BMEP ile (Hou ve ark., 2014) değişimi

Şekil 12(a)'da dizel yakıtı, LPG–DEE ve LPG–DME karışımları için PM emisyonunun motor yükü ile değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi LPG–DEE ve LPG–DME karışımları tüm motor yüklerinde PM emisyonunu önemli ölçüde azaltmıştır. Bu durum karışım yakıtların düşük C/H oranına sahip olması nedeniyle daha temiz yanma sağlamasından kaynaklanmaktadır. Diğer taraftan, karışım yakıtların kimyasal yapısında direkt bağlı karbon atomu sayısının az olması PM emisyonunun azalmasına katkı sağlamaktadır. Söz konusu karışım yakıtlar gaz fazında silindire girdiğinden daha homojen bir yakıt–hava karışımı ve daha verimli bir yanma sağlarlar. Bu nedenle, karışım yakıtları PM emisyonunda %85–89 oranında azalma sağlamıştır (El–Hagar, 2014). Şekil 12(b)'de DME ve farklı DME–NH₃ (amonyak) karışımları için PM emisyonunun BMEP ile değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi DME–NH₃ karışımları saf DME yakıtına göre daha yüksek PM emisyonu vermiştir. Karışım yakıtları içerisinde bulunan amonyakın eksik yanmaya neden olduğu için daha yüksek PM emisyonu değerleri elde edildiği belirtilmiştir (Ryu ve ark., 2014).

Şekil 13(a)'da PM emisyonunun farklı EGR oranlarında DME oranı ile değişimi verilmiştir. PM emisyonu artan DME oranı ile azalma gösterirken, artan EGR oranı ile artış göstermektedir.



Şekil 12. Farklı yakıt karışımları için PM emisyonunun a) motor yükü ile (El-Hagar, 2014) ve b) BMEP ile (Ryu ve ark., 2014) değişimi



Şekil 13. Farklı EGR oranlarında PM emisyonunun a) DME oranı (Zhao ve ark., 2014) ve b) püskürtme zamanı (Yoon ve ark., 2013) ile değişimi

DME'nin yapısında direkt bağlı karbon bulunmaması DME oranı arttıkça PM emisyonun azalmasını sağlamaktadır. Diğer taraftan, DME hızlı buharlaşma özelliği sayesinde daha homojen bir yakıt-hava karışımı oluşturup kontrolsüz yanma fazı süresinin kısılmasını sağlayarak daha verimli bir yanma gerçekleştirmektedir. Ancak, EGR oranının artması yanma odasındaki oksijen miktarını azalttığından PM emisyonu artmaktadır (Zhao ve ark., 2014). Şekil 13(b)'de PM emisyonunun farklı EGR oranlarında püskürtme zamanı ile değişimi verilmiştir. PM emisyonunun oluşumu yanma sıcaklığına ve yanma sırasındaki kimyasal reaksiyonlara bağlıdır. EGR oranının artması yanma odasındaki oksijen miktarının ve yanma sıcaklığının düşürdüğünden PM emisyonunu artırmaktadır. Diğer taraftan, püskürtme avansının belli bir optimum değerinde PM emisyonu minimum değere ulaşmakta bu değer dışında püskürtme avansının artırılması veya azaltılması PM emisyonunu artırmaktadır (Yoon ve ark., 2013).

Son yıllarda ise homojen dolgu sıkıştırma ile ateşlemeli (HCCI), ön karışimli sıkıştırma ile ateşlemeli (PCCI) ve reaktif kontrollü sıkıştırma ile ateşlemeli (RCCI) gibi yeni nesil yanma teknolojilerine sahip geliştirme aşamasındaki çift yakıtlı motorlarda DME'nin veya polioksimetilen dimetil eterlerin saf veya diğer yakıtlarla birlikte kullanımına yönelik çalışmaların literatürde yer aldığı görülmektedir (Tong ve ark., 2016; Wang ve ark., 2016; Putrasari ve ark., 2017; Barro ve ark., 2019; García ve ark., 2020; Liu ve ark., 2022).

SONUÇ

Bu çalışma dimetil eterin (DME) dizel motorlarda kullanımının partikül madde (PM) emisyonlarına etkileri üzerine yapılmış bir derlemedir. Yapılan derleme çalışmasından elde edilen bulgular ışığında aşağıdaki sonuçlar özetlenebilir.

- DME saf olarak kullanıldığında yüksek oksijen içeriği, kimyasal yapısında direkt bağlı karbon bulunmaması, hızlı buharlaşma, yüksek setan sayısı ve düşük tutuşma sıcaklığı gibi özellikleri sayesinde sifıra yakın PM emisyonu elde edilmesini sağlamaktadır. Saf DME'nin dizel yakıtına kıyasla PM emisyonunu %13–228 ve biyodizel yakıtına kıyasla %88.6–227.6 azalttığı tespit edilmiştir.
- Motor devri ve yükü arttığında silindire püskürtülen yakıt miktarı arttığından PM emisyonu artmaktadır. Yüksek motor devirlerinde yanma işlemi için yeterli süre olmaması nedeniyle oluşan eksik yanma PM emisyonunun artmasına neden olmaktadır.
- DME içeriğinde oksijen olması ve yapısında direkt bağlı karbon bulunmaması ve diğer olumlu yakıt özellikleri sayesinde dizel veya biyodizel yakıtları ile birlikte kullanıldığında genel olarak PM emisyonunun azalmasını sağlamaktadır. Farklı oranlarda DME içeren dizel–DME karışımlarının dizel yakıtına kıyasla PM emisyonunu %4.7–509 azalttığı tespit edilmiştir. Farklı oranlarda DME içeren biyodizel–DME karışımlarının dizel yakıtına kıyasla PM emisyonunu %483–857 azalttığı, biyodizel yakıtına kıyasla PM emisyonunu %38.2 azalttığı ve %20 biyodizel içeren dizel–biyodizel karışımına kıyasla PM emisyonunu %216–571 azalttığı tespit edilmiştir.
- DME'nin LPG yakıtı ile birlikte kullanılmasının PM emisyonunun azalmasını sağlarken amonyak (NH₃) ile birlikte kullanılmasının PM emisyonunun artmasına neden olduğu tespit edilmiştir. Dizel yakıtına kıyasla LPG–DME karışımının PM emisyonunu %269–493 azalttığı tespit edilmiştir. Farklı oranlarda DME içeren DME–NH₃ karışımlarının saf DME'ye kıyasla PM emisyonunu %40.7–96.7 artırdığı tespit edilmiştir.
- PM emisyonu oluşumu yanma sıcaklığına ve yanma odasındaki oksijen miktarına bağlı olarak oluşmaktadır. Bu nedenle egzoz gazı resirkülasyonu (EGR) oranının artırılması yanma sıcaklığını ve yanma odasındaki oksijen miktarını düşürerek PM emisyonunun artmasına neden olmaktadır. Egzoz gazı resirkülasyonu (EGR) oranının %10–50 aralığında değiştirilmesinin PM emisyonunu %13.1–48.4 artırdığı tespit edilmiştir.
- Yapılan çalışma sırasında DME'nin yakıt özellikleri, püskürtme ve yanma karakteristikleri, performans ve emisyon karakteristikleri üzerine bir çok çalışma yapılmış olduğu görülmüştür. Ancak, DME'nin dizel motorlarda yakıt olarak kullanımının ekonomiklik analizi ve DME'nin uzun süreli kullanımının motor ömrü üzerindeki etkileriyle ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Daha kapsamlı bir değerlendirme yapılabilmesi için bu konular üzerine de çalışmalar yapılması gereklidir.

KISALTMALAR

BD	: Biyodizel
BMEP	: Ortalama efektif basınç
CO	: Karbon monoksit
CO ₂	: Karbondioksit
CNG	: Sıkıştırılmış doğalgaz
BSN	: Duman koyuluğu katsayısı
D	: Dizel
DME	: Dimetil eter

EGR	: Egzoz gazı resirkülasyonu
GTL	: Gazdan türetilmiş likit yakıt
HC	: Hidrokarbon
HCCI	: Homojen dolgulu sıkıştırılmayla ateşlemeli
LPG	: Sıvılaştırılmış petrol gazı
LNG	: Sıvılaştırılmış doğalgaz
NH ₃	: Amonyak
NO _x	: Azot oksitler
PCCI	: Ön karışımli sıkıştırılmayla ateşlemeli
PM	: Partikül madde
RCCI	: Reaktif kontrollü sıkıştırılmayla ateşlemeli

Çıkar Çatışması

Makale tek yazarlı olduğu için herhangi bir çıkar çatışması söz konusu değildir.

Yazar Katkısı

Makale tek yazarlı olduğu için makaleye ait tüm katkı sorumlu yazara aittir.

KAYNAKLAR

- Abhishek, Rahul, K., Santosh, K. ve Martha, O. (2017). Blending impacts of biogas and dimethyl ether (DME) on compressed ignition engine. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 4(4), 2174–2177.
- Alam, M. ve Kajitani, S. (2001). DME as an alternative fuel for direct injection diesel engine. 4th International Conference on Mechanical Engineering, December 26–28, Dhaka., Bangladesh, pp. 87–92.
- Ambekar, Y. ve Hole, J. A. (2018). Preliminary optimization of duel fuel engine using dimethyl ether premixed combustion. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 5(10), 274–278.
- Arcoumanis, C., Bae, C., Crookes, R. ve Kinoshita, E. (2008). The potential of di-methyl ether (DME) as an alternative fuel for compression-ignition engines: A review. *Fuel*, 87(7), 1014–1030.
- Azizi, Z., Rezaeimanesh, M., Tohidian, T. ve Rahimpour, M. R. (2014). Dimethyl ether: A review of technologies and production challenges. *Chemical Engineering and Processing*, 82, 150–172.
- Barro, C., Parravicinia, M. ve Boulouchos, K. (2019). Neat polyoxymethylene dimethyl ether in a diesel engine; part 1: Detailed combustion analysis. *Fuel*, 256: 115892.
- Baskaran, R. (2015). Analysis on synthesis, storage & combustion characteristics of DME as fuel in CI engines. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, 3(1), 133–140.
- Benajes, J., Novella, R., Pastor, J. M., Hernández-López, A. ve Kokjohn, S. L. (2018). Computational optimization of the combustion system of a heavy duty direct injection diesel engine operating with dimethyl-ether. *Fuel*, 218, 127–139.
- Benajes, J., Novella, R., Pastor, J. M., Hernández-López, A. ve Kokjohn S. L. (2018). Computational optimization of a combustion system for a stoichiometric DME fueled compression ignition engine. *Fuel*, 223, 20–31.
- Bogdan, J., Nicolae, B., Călin, I. ve Vlad, B. N. (2017). Study of emissions for a compression ignition engine fueled with a mix of DME and diesel. *Materials Science and Engineering*, 252, 1–9.
- Chapman, E. M. ve Boehman, A. L. (2008). Pilot ignited premixed combustion of dimethyl ether in a turbodiesel engine. *Fuel Processing Technology*, 89, 1262–1271.
- Chen, Z., Konno, M. ve Kajitani, S. (2000). Performance and emissions of DI compression ignition engines fueled with dimethyl ether. *JSME International Journal*, 43(1), 82–88.

- Deepak, K. M., Karthick, M., Dineshababu, D., Srikanth, P. ve Ramachandran, M. G. (2015). Investigation on the effect of dimethyl ether in compression ignition engine. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 4(2), 401–407.
- Duan, J., Sun, Y., Yang, Z. ve Sun, Z. (2012). Combustion and emissions characteristics of diesel engine operating on composite combustion mode of DME and diesel. Proceedings of International Conference on Mechanical Engineering and Material Science, Shanghai, China, pp. 463–466.
- El-Hagar, M. M. E.–G. (2014). Effect of diethyl ether and dimethyl ether with liquefied petroleum gas on combustion and emissions characteristics of diesel engine. *International Journal of Computer Science and Engineering*, 2(3), 193–198.
- García, A., Gil, A., Monsalve–Serrano, J. ve Sari, R. L. (2020). OME_x–diesel blends as high reactivity fuel for ultra–low NO_x and soot emissions in the dual–mode dual–fuel combustion strategy. *Fuel*, 275, 117898.
- Genbao, L., Jianming, C., Minglong, L., Yuhua, Q. ve Zhaoyang, C. (2012). Experimental study on the size distribution characteristics of spray droplets of DME/diesel blended fuels. *Fuel Processing Technology*, 104, 352–355.
- Geng, P., Cao, E., Tan, Q. ve Wie, L. (2017). Effects of alternative fuels on the combustion characteristics and emission products from diesel engines: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 523–534.
- Guangxin, G., Zhulin, Y., Apeng, Z., Shenghua, L. ve Yanju, W. (2013). Effects of fuel temperature on injection process and combustion of dimethyl ether engine. *Journal of Energy Resources Technology*, 135, 1–5.
- Hewu, W. ve Longbao, Z. (2017). Performance of a direct injection diesel engine fuelled with a dimethyl ether/diesel blend. *Journal of Automobile Engineering*, 217(9), 819–824.
- Hou, J., Wen, Z., Jiang, Z. ve Qiao, X. (2014). Study on combustion and emissions of a turbocharged compression ignition engine fueled with dimethyl ether and biodiesel blends. *Journal of the Energy Institute*, 87, 102–113.
- Huang, Z., Qiao, X., Zhang, W., Wu, J. ve Zhang, J. (2009). Dimethyl ether as alternative fuel for CI engine and vehicle. *Frontiers of Energy and Power Engineering in China*, 3(1), 99–108.
- Inayat, A., Ghenai, C., Naqvi, M., Ammar, M., Ayoub, M. ve Hussin, M. N. B. (2017). Parametric study for production of dimethyl ether (DME) as a fuel from palm wastes. *Energy Procedia*, 105, 1242–1249.
- Jalanapurkar, M., Patel, K., Patel, T., Rathod, G. ve Granipa, H. (2015). A literature review on combine effect of di–methyl ether (DME) as an additive & the injection pressure on the performance & emission of 4 stroke C.I. engine. *International Journal of Advance Engineering and Research Development*, 2(1), 262–266.
- Jang, J. ve Bae, C. (2009). Effects of valve events on the engine efficiency in a homogeneous charge compression ignition engine fueled by dimethyl ether. *Fuel*, 88, 1228–1234.
- Jeon, J., Kwon, S., Park, Y. H., Oh, Y. ve Park, S. (2014). Visualizations of combustion and fuel/air mixture formation processes in a single cylinder engine fueled with DME. *Applied Energy*, 113, 294–301.
- Kajitani, S. (2004). A study of low compression ratio diesel engines operated with neat dimethyl ether (DME). *JSME TED Newsletter*, 42, 1–14.
- Kajitani, S. ve Chen, Z. (2003). Fundamental research on next generation fuel (dimethyl ether) engines. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 62, 133–144.
- Khunaphan, S., Hartley, U. W. ve Theinnoi, K. (2013). Characterization and potential of dimethyl ether (DME) as dual fuel combustion in a compression ignition engine. *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology*, 2(3), 79–85.
- Kim, H. J. ve Park, S. H. (2016). Optimization study on exhaust emissions and fuel consumption in a dimethyl ether (DME) fueled diesel engine. *Fuel*, 182, 541–549.

- Kim, H. J., Park, S. H., Lee, K. S. ve Lee, C. S. (2011). A Study of spray strategies on improvement of engine performance and emissions reduction characteristics in a DME fueled diesel engine. *Energy*, 36, 1802–1813.
- Kim, H. J., Park, S. W. ve Lee, C. S. (2012). Numerical and experimental study on the combustion and emission characteristics of a dimethyl ether (DME) fueled compression ignition engine. *Oil & Gas Science and Technology*, 67(3), 479–489.
- Kowalewicz, A. ve Wojtyniak, M. (2005). Alternative fuels and their application to combustion engines. *Journal of Automobile Engineering*, 219, 103–125.
- Kropiwnicki, J., Dominiczak, P. ve Kneba, Z. (2017). Analysis of the possibilities of using of DME fuel in motor boat drive systems. *Combustion Engines*, 171(4), 74–80.
- Lamani, V. T., Yadav, A. K. ve Narayanappa, K. G. (2017). Influence of low-temperature combustion and dimethyl ether-diesel blends on performance, combustion, and emission characteristics of common rail diesel engine: A CFD study. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 15500–15509.
- Lecksiwilai, N., Gheewala, S. H., Sagisaka, M. ve Yamaguchi, K. (2016). Net energy ratio and life cycle greenhouse gases (ghg) assessment of bio-dimethyl ether (DME) produced from various agricultural residues in Thailand. *Journal of Cleaner Production*, 134, 523–531.
- Li, G. (2011). Dimethyl ether (DME): A new alternative fuel for diesel vehicle. *Advanced Materials Research*, 156–157, 1014–1018.
- Lim, O. T. ve Iida, N. (2015). A Study on the spray and engine combustion characteristics of diesel-dimethyl ether fuel blends. *Journal of Automobile Engineering*, 229(6), 782–792.
- Liu, J., Wang, L., Wang, P., Sun, P., Liu, H., Meng, Z., Zhang, L. ve Ma, H. (2022). An overview of polyoxymethylene dimethyl ethers as alternative fuel for compression ignition engines. *Fuel*, 318, 123582.
- Loganathan, M., Anbarasu, A. ve Velmurugan, A. (2012). Emission characteristics of jatropha-ethanol and jatropha-dimethyl ether fuel blends on a DI diesel engine. *Journal of Mechanical Engineering*, 42(1), 38–46.
- Loganathan, M., Anbarasu, A. ve Velmurugan, A. (2012). emission characteristics of jatropha-dimethyl ether fuel blends on a DI diesel engine. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 1(8), 28–32.
- Longbao, Z., Hewu, W. ve Ying, W. (2002). Experimental study on performances and combustion characteristics of DME powered vehicle. Conference on Better Air Quality in Asian and Pacific Rim Cities (BAQ 2002), 16–18 December 2002, Hong Kong, p. 1–6.
- Maji, S., Ahmed, S., Siddiqui, W. A. ve Kumar, A. (2014). Impact of di-methyl ether (DME) as an additive fuel for compression ignition engine in reduction of urban air pollution. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 3(11), 17221–17228.
- Maji, S., Ahmed, S., Siddiqui, W. A., Aggarwal, S. ve Kumar, A. (2015). Impact of di-methyl ether (DME) as an additive fuel for compression ignition engine in reduction of urban air pollution. *American Journal of Environmental Protection*, 3(2), 48–52.
- Mohan, B., Yang, W., Yu, W. ve Tay, K. L. (2017). Numerical analysis of spray characteristics of dimethyl ether and diethyl ether fuel. *Applied Energy*, 185, 1403–1410.
- Namasivayam, A. M., Korakianitis, T., Crookes, R. J., Bob-Manuel, K. D. H. ve Olsen, J. (2010). Biodiesel, emulsified biodiesel and dimethyl ether as pilot fuels for natural gas fuelled engines. *Applied Energy*, 87, 769–778.
- Oda, Y., Osafune, Y., Ueda, H. ve Fujimura, K. (2004). Clean combustion technology in diesel engines operated with dimethyl ether. *Mitsubishi Heavy Industries Ltd. Technical Review*, 40(6), 1–5.
- Park, S. H. (2012). Optimization of combustion chamber geometry and engine operating conditions for compression ignition engines fueled with dimethyl ether. *Fuel*, 97, 61–71.
- Park, S. H. ve Lee, C. S. (2013). Combustion performance and emission reduction characteristics of automotive DME engine system. *Progress in Energy and Combustion Science*, 39, 147–168.

- Park, S. H. ve Lee, C. S. (2014). Applicability of dimethyl ether (DME) in a compression ignition engine as an alternative fuel. *Energy Conversion and Management*, 86, 848–863.
- Park, S. H., Kim, H. J. ve Lee, C. S. (2010). Effects of dimethyl–ether (DME) spray behavior in the cylinder on the combustion and exhaust emissions characteristics of a high speed diesel engine. *Fuel Processing Technology*, 91, 504–513.
- Park, S. H., Shin, D. ve Park, J. (2016). Effect of ethanol fraction on the combustion and emission characteristics of a dimethyl ether–ethanol dual–fuel reactivity controlled compression ignition engine. *Applied Energy*, 182, 243–252.
- Park, S. H., Yoon, S. H., Cha, J. ve Lee, C. S. (2014). Mixing effects of biogas and dimethyl ether (DME) on combustion and emission characteristics of DME fueled high–speed diesel engine. *Energy*, 66, 413–422.
- Patil, K. R. ve Thipse, S. S. (2012). The potential of DME–diesel blends as an alternative fuel for CI engines. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2(10), 35–41.
- Prabhakaran, B., Thennarasu, P. ve Karthick, S. (2015). Performance and characteristics of a CI engine using DME (dimethyl ether). *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 4(2), 31–34.
- Putrasari, Y., Jamsran, N. ve Lim, O. (2017). An investigation on the DME HCCI autoignition under EGR and boosted operation. *Fuel*, 200, 447–457.
- Roh, H. G., Lee, D. ve Lee, C. S. (2015). Impact of DME–biodiesel, diesel–biodiesel and diesel fuels on the combustion and emission reduction characteristics of a CI engine according to pilot and single injection strategies. *Journal of the Energy Institute*, 88, 376–385.
- Ryu, K., Zacharakis–Jutz, G. E. ve Kong, S.–C. (2014). Performance characteristics of compression–ignition engine using high concentration of ammonia mixed with dimethyl ether. *Applied Energy*, 113, 488–499.
- Semelsberger, T. A., Borup, R. L. ve Grene, H. L. (2006). Dimethyl ether (DME) as an alternative fuel. *Journal of Power Sources*, 156, 497–511.
- Sezer, I. (2011). Thermodynamic, performance and emission investigation of a diesel engine running on dimethyl ether and diethyl ether. *International Journal of Thermal Sciences*, 50, 1594–1603.
- Smolec, R., Idzior, M., Karpiuk, W. ve Kozak, M. (2017). Assessment of the potential of dimethyl ether as an alternative fuel for compression ignition engines. *Combustion Engines*, 169(2), 181–186.
- Song, J., Huang, Z., Qiao, X. ve Wang, W. (2004). Performance of a controllable premixed combustion engine fueled with dimethyl ether. *Energy Conversion and Management*, 45, 2223–2232.
- Suh, H. K. ve Lee, C. S. (2008). Experimental and analytical study on the spray characteristics of dimethyl ether (DME) and diesel fuels within a common–rail injection system in a diesel engine. *Fuel*, 87, 925–932.
- Taghavifar, H., Khalilarya, S., Mirhasani, S. ve Jafarmadar, S. (2014). Numerical energetic and exergetic analysis of CI diesel engine performance for different fuels of hydrogen, dimethyl ether, and diesel under various engine speeds. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39, 9515–9526.
- Teng, H., McCandless, J. C. ve Scheneyer Jeffrey, B. (2001). Thermochemical characteristics of dimethyl ether alternative fuel for compression–ignition. *Society of Automotive Engineers*, Paper no 2001–01–0154.
- Theinnoi, K., Suksompong, P. ve Temwutthikun, W. (2017). Engine performance of dual fuel operation with in–cylinder injected diesel fuels and in–port injected DME. *Energy Procedia*, 142, 461–467.
- Thomas, G., Feng, B., Veeraragavan, A., Cleary, M. J. ve Drinnan, N. (2014). Emissions from DME combustion in diesel engines and their implications on meeting future emission norms: A review. *Fuel Processing Technology*, 119, 286–304.

- Tong, L., Wang, H., Zheng, Z., Reitz, R. ve Yao, M. (2016). Experimental study of RCCI combustion and load extension in a compression ignition engine fueled with gasoline and PODE. *Fuel*, 181, 878–886.
- Xinling, L. ve Zhen, H. (2009). Emission reduction potential of using gas–to–liquid and dimethyl ether fuels on a turbocharged diesel engine. *Science of the Total Environment*, 407, 2234–2244.
- Xu, S., Wang, Y., Zhang, X., Zhen, X. ve Tao, C. (2012). Development of a novel common–rail type dimethyl ether (DME) injector. *Applied Energy*, 94, 1–12.
- Vispute, K. M. ve Pawar, T. J. (2016). Study and prospects of di–methyl ether as an alternative fuel in C.I. engine: Review. *International Journal of Trend in Research and Development*, 3(4), 134–138.
- Wang, H. W., Zhou, L. B., Jiang, D. M. ve Huang, Z. H. (2000). Study on the performance and emissions of a compression ignition engine fuelled with dimethyl ether. *Journal of Automotive Engineering*, 214, 101–106.
- Wang, Y., Xiao, F., Zhao, Y., Li, D. ve Lei, X. (2015). Study on cycle–by–cycle variations in a diesel engine with dimethyl ether as port premixing fuel. *Applied Energy*, 143, 58–70.
- Wang, Y., Zhao, Y. ve Yang, Z. (2013). Dimethyl ether energy ratio effects in a dimethyl ether–diesel dual fuel premixed charge compression ignition engine. *Applied Thermal Engineering*, 54, 481–487.
- Wang, Y., Zhao, Y., Xiao, F. ve Li, D. (2014). Combustion and emission characteristics of a diesel engine with DME as port premixing fuel under different injection timing. *Energy Conversion and Management*, 77, 52–60.
- Wang, Z., Liu, H., Ma, X., Wang, J., Shuai, S. ve Reitz, R. D. (2016). Homogeneous charge compression ignition (HCCI) combustion of polyoxymethylene dimethyl ethers (PODE). *Fuel*, 183, 206–213.
- Wattanavichien, K. (2009). Implementation of DME in a small direct injection diesel engine. *International Journal of Renewable Energy*, 4(2), 1–12.
- Yanju, W., Kun, W., Wenrui, W., Shenghua, L., Xiao, C., Yajing, Y. ve Shanwen, B. (2014). Comparison study on the emission characteristics of diesel– and dimethyl ether–originated particulate matters. *Applied Energy*, 130, 357–369.
- Ying, W., Li, H., Longbao, Z. ve Wei, L. (2010). Effects of DME pilot quantity on the performance of a DME PCCI–DI engine. *Energy Conversion and Management*, 51, 648–654.
- Ying, W., Longbao, Z. ve Hewu, W. (2006). Diesel emission improvements by the use of oxygenated DME/diesel blend fuels. *Atmospheric Environment*, 40, 2313–2320.
- Ying, W., Longbao, Z., Zhongji, Y. ve Hongyi, D. (2005). Study on combustion and emission characteristics of a vehicle engine fuelled dimethyl ether. *Journal of Automotive Engineering*, 219, 263–269.
- Yoon, S. H., Cha, J. P. ve Lee, C. S. (2010). An investigation of the effects of spray angle and injection strategy on dimethyl ether (DME) combustion and exhaust emission characteristics in a common–rail diesel engine. *Fuel Processing Technology*, 9, 1364–1372.
- Yoon, S. H., Han, S. C. ve Lee, C. S. (2013). Effects of high EGR rate on dimethyl ether (DME) combustion and pollutant emission characteristics in a direct injection diesel engine. *Energies*, 6, 5157–5167.
- Youn, I. M., Park, S. H., Roh, H. G. ve Lee, C. S. (2011). Investigation on the fuel spray and emission reduction characteristics for dimethyl ether (DME) fueled multi–cylinder diesel engine with common–rail injection system. *Fuel Processing Technology*, 92, 1280–1287.
- Zhao, Y., Wang, Y., Li, D., Lei, X. ve Liu, S. (2014). Combustion and emission characteristics of a DME (dimethyl ether)–diesel dual fuel premixed charge compression ignition engine with EGR (exhaust gas recirculation). *Energy*, 72, 608–617.
- Zhu, Z., Li, D. K., Liu, J., Wei, Y. J. ve Liu, S. H. (2012). Investigation on the regulated and unregulated emissions of a DME engine under different injection timing. *Applied Thermal Engineering*, 35, 9–14.

Atf İçin: Yüzbaşı, Z.K. ve Taze, S.. (2023). Lie Grupta Bir Eğri Boyunca Sabit Ortalama Eğrilikli Yüzeyler Üzerine. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 1230-1236.

To Cite: Yüzbaşı, Z.K., & Taze, S. (2023). On the Surfaces with Constant Mean Curvature along a Curve in the Lie Group. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 1230-1236.

Lie Grupta Bir Eğri Boyunca Sabit Ortalama Eğrilikli Yüzeyler Üzerine

Zühal KÜÇÜKARSLAN YÜZBAŞI^{1*}, Sevinç TAZE¹

Öne Çıkanlar:

- İzoparametrik eğri
- Sabit ortalama eğrilik

ÖZET:

Bu çalışmada, bir izoparametrik eğri ve onun Frenet çatısı, 3 boyutlu Lie grubunda bir yüzey oluşturmak üzere lineer olarak birleştirilmiştir. Yüzey, verilen eğri boyunca sabit bir ortalama eğriliğe sahip olduğunda, yeterli koşullar karşılanmıştır. Sonuç olarak, elde ettiklerimiz için örnekler verilmiş ve grafikler çizilmiştir.

Anahtar

Kelimeler:

- Lie Grup
- Ortalama eğrilik
- Yüzey

On the Surfaces with Constant Mean Curvature along a Curve in the Lie Group

Highlights:

- Isoparametric curve
- Constant mean curvature

ABSTRACT:

In this study, an isoparametric curve and its Frenet frame are linearly combined to form a surface in 3-dimensional Lie group. When the surface has a constant mean curvature along the given curve, sufficient conditions have been satisfied. In conclusion, we provide examples of our findings and draw graphs.

Keywords:

- Lie Group
- Mean curvature
- Surface

¹ Zühal KÜÇÜKARSLAN YÜZBAŞI ([Orcid ID: 0000-0001-7630-5490](https://orcid.org/0000-0001-7630-5490)), Sevinç TAZE ([Orcid ID: 0000-0001-6892-1760](https://orcid.org/0000-0001-6892-1760)) Fırat University, Faculty of Science, Department of Mathematics, 23119 Elazığ, Türkiye.

Corresponding Author: Zühal KÜÇÜKARSLAN YÜZBAŞI, e-mail: zuhal2387@yahoo.com.tr

INTRODUCTION

Numerous scholars have extensively investigated the classification of curves on a surface. Afterwards, as a solution to the reverse problem, researchers concentrated on the building surfaces along a particular curve. Initial studies on these topics were done by (Kasap et al. 2006; Li et al. 2011; Wang et al. 2014; Ergün et al. 2014; Yoon et al. 2017,2019). The method used in these publications is as follows: the isoparametric curve's geodesic, asymptotic, and line-of-curvature conditions have been determined, and the parametric surfaces have been created as a linear combination of that curve and its Frenet frame. A new study on construction surfaces with constant curvatures along a particular curve was recently proposed by (Cosanoglu et al. 2020; Bayram et al. 2022).

We organized our paper as follows in this manuscript: We give some basic information regarding curve and surface theory in the 3-dimensional Lie group in Section 2. When the surface has constant mean curvature along the specified curve, we construct a surface along the curve and then deduce sufficient conditions in Section 3. We provide some instances in the final part to illustrate our findings.

MATERIALS AND METHODS

The Frenet formulas for a unit speed curve $\alpha(s)$ in the Lie group such that G has the Levi-Civita connection D are expressed as follows:

$$\begin{bmatrix} D_T T = T'(s) \\ D_T N = N'(s) \\ D_T B = B'(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \kappa_1 & 0 \\ -\kappa_1 & 0 & (\kappa_2 - \bar{\kappa}_2) \\ 0 & -(\kappa_2 - \bar{\kappa}_2) & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T(s) \\ N(s) \\ B(s) \end{bmatrix},$$

where κ_1 and κ_2 are the curvature functions of $\alpha(s)$ and $\bar{\kappa}_2 = \frac{1}{2} \langle [T, N], B \rangle$ which was introduced (Çiftçi et al. 2009; Okuyucu et al. 2013; Yoon et al. 2012) is the Lie group torsion of for the bi-invariant metric on G . Here $T = \alpha'$, $\kappa_1 = \|T'\|$ and $\kappa_2 = \|B'\| - \bar{\kappa}_2$.

Remark 2.1 Let G be a 3-dimensional Lie group with a bi-invariant metric. Then the following statements hold in different Lie groups:

- (i) $\bar{\kappa}_2 = \frac{1}{2}$, if G is $SO(3)$.
- (ii) $\bar{\kappa}_2 = 1$, if G is $S^3 = SU(2)$.
- (iii) $\bar{\kappa}_2 = 0$, if G is a commutative group, (Çiftçi et al. 2009; Yoon 2012).

Definition 2.2 The mean curvature of $P = P(s, t)$ surface is defined by

$$H(s, t) = \frac{(\det(P_{ss}, P_s, P_t) \|P_t\|^2)^{\frac{2}{3}}(s, t) - \frac{2(\det(P_{st}, P_s, P_t) \langle P_s, P_t \rangle)^{\frac{2}{3}}(s, t)}{2(\|P_s\|^2 \|P_t\|^2 - \langle P_s, P_t \rangle^2)^{\frac{2}{3}}} + \frac{(\det(P_{tt}, P_s, P_t) \|P_s\|^2)^{\frac{2}{3}}(s, t)}{2(\|P_s\|^2 \|P_t\|^2 - \langle P_s, P_t \rangle^2)^{\frac{2}{3}}}, \quad (1)$$

where $\frac{\partial P}{\partial s} = P_s$, $\frac{\partial P}{\partial t} = P_t$ and $\frac{\partial^2 P}{\partial s^2} = P_{ss}$, $\frac{\partial^2 P}{\partial t^2} = P_{tt}$.

RESULTS AND DISCUSSION

We will describe the surfaces with constant mean curvature in the three-dimensional Lie Group. Suppose $\alpha(s)$ be an arc length parametrized curve on a surface $P(s, t)$ in G . Then the curve $\alpha(s)$ is called an isoparametric curve if it is a parameter curve, that is, there exists the parameter t_0 such that $\alpha(s) = P(s, t_0)$.

$P = P(s, t)$ is defined based on $\alpha(s)$ and the Frenet frame in Lie group G as follows

$$P(s, t) = \alpha(s) + f(s, t)T(s) + g(s, t)N(s) + h(s, t)B(s), \tag{2}$$

$$L_1 \leq s \leq L_2 \quad \text{and} \quad T_1 \leq t \leq T_2$$

where $f(s, t)$, $g(s, t)$ and $h(s, t)$ are all C^1 functions. These functions are called the marching-scale functions.

Since $\alpha(s)$ is an isoparametric curve on this surface, there exists a parameter $t_0 \in [T_1, T_2]$ such that $\alpha(s) = P(s, t_0)$, that is,

$$f(s, t_0) = g(s, t_0) = h(s, t_0) = 0 \tag{3}$$

$$L_1 \leq s \leq L_2 \text{ and } t_0 \in [T_1, T_2].$$

To calculate the mean curvature by using the equation (1), we can easily get

$$P_s = (1 + f_s - g\kappa_1)T + (f\kappa_1 + g_s - h(\kappa_2 - \bar{\kappa}_2))N + (g(\kappa_2 - \bar{\kappa}_2) + h_s)B,$$

$$P_s(s, t_0) = T,$$

$$P_{ss}(s, t_0) = \kappa_1 N,$$

$$P_t(s, t) = f_t T + g_t N + h_t B,$$

$$P_{tt}(s, t) = f_{tt} T + g_{tt} N + h_{tt} B,$$

$$P_{ts} = P_{st} = (-\kappa_1 g_t)T + (\kappa_1 f_t - (\kappa_2 - \bar{\kappa}_2) h_t)N + (g_t(\kappa_2 - \bar{\kappa}_2)) B.$$

Then one may easily calculate the mean curvature using the surface $P(s, t)$ based on the isoparametric curve $\alpha(s)$.

$$H(s, t_0) = \frac{-\kappa_1 h_t (f_t^2 + g_t^2 + h_t^2) + (-g_{tt} h_t + g_t h_{tt}) - 2f_t [(h_t \kappa_1 f_t + h_t g_{ts} - g_t h_{ts}) - (h_t^2 + g_t^2)(\kappa_2 - \bar{\kappa}_2)]}{2(g_t^2 + h_t^2)^{\frac{3}{2}}}(s, t_0) \tag{4}$$

Therefore we can give the following main theorem:

Theorem 3.1 Let $P(s, t)$ be the surface given by Equation (1). If the mean curvature of $P(s, t)$ in equation (4) along the isoparametric curve $\alpha(s)$ is a constant, then one of the following five conditions is satisfied:

1. $\begin{cases} f_t(s, t_0) = \text{const.} \neq 0, g_t(s, t_0) = \text{const.} \neq 0, \\ f(s, t_0) = g(s, t_0) = h(s, t_0) \\ = h_t(s, t_0) = h_{tt}(s, t_0) \equiv 0 \\ (\kappa_2 - \bar{\kappa}_2) = \text{const.} \end{cases}$
2. $\begin{cases} f_t(s, t_0) = \text{const.} \neq 0, h_t(s, t_0) = \text{const.} \neq 0, \\ f(s, t_0) = g(s, t_0) \\ = h(s, t_0) = g_t(s, t_0) = g_{tt}(s, t_0) \equiv 0, \\ (\kappa_2 - \bar{\kappa}_2) = \text{const.} \end{cases}$
3. $\begin{cases} f_t(s, t_0) = g_t(s, t_0) = h_t(s, t_0) = \text{const.} \neq 0, \\ f(s, t_0) = g(s, t_0) = h(s, t_0) \equiv 0, \\ (\kappa_2 - \bar{\kappa}_2) = \kappa_1 = \text{const.} \end{cases}$

$$4. \begin{cases} g_t(s, t_0) \neq 0, \\ f(s, t_0) = g(s, t_0) = h(s, t_0) \\ = f_t(s, t_0) = h_t(s, t_0) = h_{tt}(s, t_0) = 0. \end{cases}$$

$$5. \begin{cases} f(s, t_0) = g(s, t_0) = h(s, t_0) \\ = f_t(s, t_0) = g_t(s, t_0) = g_{tt}(s, t_0) = 0, \\ h_t(s, t_0) = \text{const.} \neq 0, \\ \kappa_1 = \text{const.} \end{cases}$$

Proof: 1. Since the given curve isoparametric then we have $f(s, t_0) = g(s, t_0) = h(s, t_0) = 0$.

Considering $f_t(s, t_0) = g_t(s, t_0) \neq 0 = h_t(s, t_0) = h_{tt}(s, t_0)$ and substituting these values into equation (4), we get

$$H(s, t_0) = \frac{(\kappa_2 - \bar{\kappa}_2) f_t}{g_t}.$$

Therefore, we obtain $(\kappa_2 - \bar{\kappa}_2) = \text{const.}$

The proof for the rest of the cases can be done similarly to case 1.

Remark 3.2 Let $\alpha(s)$ be the isoparametric curve, then

i) For the first and second conditions of Theorem 3.1, an anti-Salkowski curve can be given as an example of this type of curve.

ii) For the third condition of Theorem 3.1, helices can be given as an example of this type of curve.

iii) For the fifth condition of Theorem 3.1, a Salkowski curve can be given as an example of this type of curve.

Example 3.3 Let $\alpha(s)$ be a parametrized by

$$\alpha(s) = (\sin s, \cos s, 0).$$

Then the Frenet vectors in the three dimensional Lie Group are given as

$$T = (\cos s, -\sin s, 0),$$

$$N = (-\sin s, -\cos s, 0), B = (0, 0, -1),$$

here one may get $\kappa_1 = 1, \kappa_2 = 0$ and $\bar{\kappa}_2 = \frac{1}{2}$ by using $\kappa_1 = \|T'\|$ and $\kappa_2 = \|B'\| - \bar{\kappa}_2$.

Case 1. Considering the first condition of the Theorem 3.1 we can choose $f(s, t) = -t, g(s, t) = t, h(s, t) = t^3$ and $t_0 = 0$. So, the surface $P_1(s, t)$ given by (2) in the Lie group is expressed as $P_1(s, t) = ((1-t)\sin s - t\cos s, (1-t)\cos s + t\sin s, -t^3)$,

is plotted in Figure 1, where $-1 \leq s \leq 1$ and $-2 \leq t \leq 2$ with constant mean curvature $H(s, t_0) = \frac{1}{2}$.

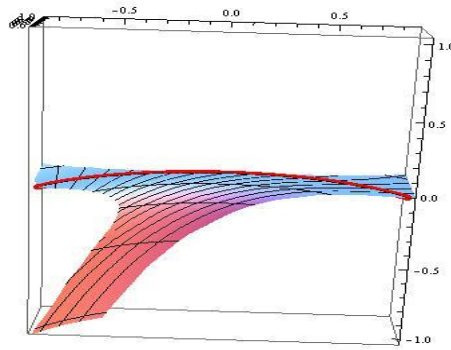


Figure 1. The surface $P_1(s, t)$ with constant mean curvature along the curve $\alpha(s)$

Case 2. Considering the second condition of Theorem 3.1 we can choose $f(s, t) = t$, $g(s, t) = st^3$, $h(s, t) = ssint$ and $t_0 = 0$. So, the surface $P_2(s, t)$ given by (2) in the Lie group is expressed as

$$P_2(s, t) = ((1 - st^3)sins + tcoss, (1 - st^3)coss - tsins, -ssint)$$

is plotted in Figure 2, where $-1 \leq s \leq 1$ and $-2 \leq t \leq 2$ with constant mean curvature $H(s, t_0) = \frac{-3}{2}$.

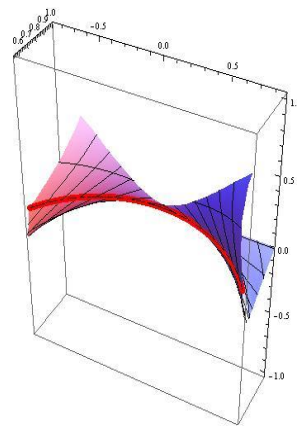


Figure 2. The surface $P_2(s, t)$ with constant mean curvature along the curve $\alpha(s)$

Case 3. Considering the third condition of Theorem 3.1 we can choose $-f(s, t) = -h(s, t) = g(s, t) = e^s t$ and $t_0 = 0$. So, the surface $P_3(s, t)$ given by (2) in the Lie group is expressed as

$$P_3(s, t) = ((1 - e^s t)sins - e^s t coss, (1 - e^s t)coss + e^s t sins, e^s t)$$

is shown in Figure 3, where $-1 \leq s \leq 1$ and $-2 \leq t \leq 2$ with constant mean curvature $H(s, t_0) = \frac{7}{4}$.

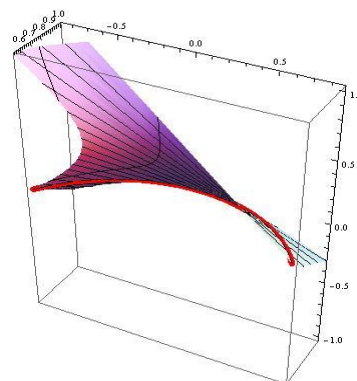


Figure 3. The surface $P_3(s, t)$ with constant mean curvature along the curve $\alpha(s)$

Case 4. Considering the fourth condition of Theorem 3.1 we can choose $f(s, t) = t^2, g(s, t) = t, h(s, t) = t^3$ and $t_0 = 0$. So, the surface $P_4(s, t)$ given by (2) in the Lie group is expressed as

$$P_4(s, t) = ((1 - t)\sin s + t^2 \cos s, (1 - t) \cos s - t^2 \sin s, -t^3)$$

is shown in Figure 4, where $-1 \leq s \leq 1$ and $-2 \leq t \leq 2$ with constant mean curvature $H(s, t_0) = 0$.

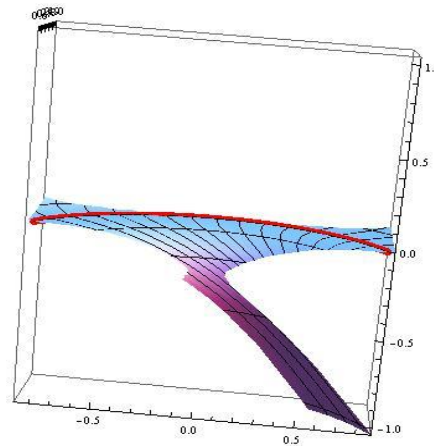


Figure 4. The surface $P_4(s, t)$ with constant mean curvature along the curve $\alpha(s)$

Case 5. Considering the fifth condition of Theorem 3.1 we can choose $f(s, t) = t^2, g(s, t) = t^3, h(s, t) = -t$ and $t_0 = 0$. So, the surface $P_5(s, t)$ given by (2) in the Lie group is expressed as

$$P_5(s, t) = ((1 - t^3)\sin s + t^2 \cos s, (1 - t^3) \cos s - t^2 \sin s, t)$$

is shown in Figure 5, where $-1 \leq s \leq 1$ and $-2 \leq t \leq 2$ with constant mean curvature $H(s, t_0) = \frac{1}{2}$.

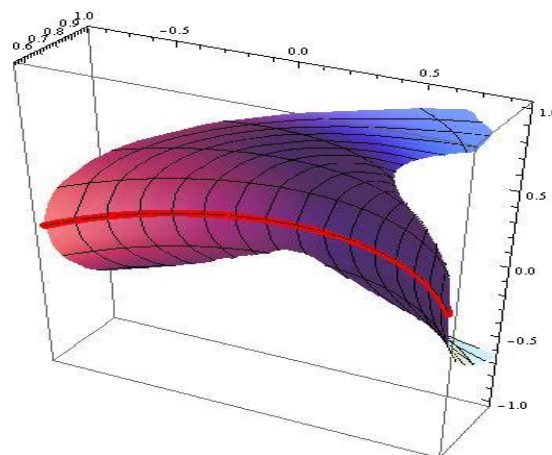


Figure 5. The surface $P_5(s, t)$ with constant mean curvature along the curve $\alpha(s)$

CONCLUSION

We build a surface along the curve and then derive the sufficient conditions when the surface has a constant mean curvature along the given curve. In the conclusion, we provided some examples to illustrate our findings.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by the Office of Scientific Research Projects Coordination at Firat University, Grant number: FF.21.15 which is related to the MSc thesis of the second author.

Conflict of Interest

The article authors declare that there is no conflict of interest between them.

Author's Contributions

The authors declare that they have contributed equally to the article.

REFERENCES

- Bayram, E. (2022). Construction of surfaces with constant mean curvature along a timelike curve. *Politeknik J.*, 25(3), 1211-1215.
- Cosanoglu, H., & Bayram E. (2020). Construction of Surfaces with Constant Mean Curvature along a Curve in E^3 . *J. Natur. Appl. Sci.*, 24(3).
- Çiftçi, Ü. (2009). A generalization of Lancret's theorem, *J. Geom. Phys.* 59(12), 1597-1603.
- Ergün, E. Bayram, E., & Kasap, E. (2014). Surface pencil with a common line of curvature in Minkowski 3-space. *Acta Math. Sin., English Series*, 30(12), 2103-2118.
- Kasap, E., & Akyildiz F. T. (2006). Surfaces with a common geodesic in Minkowski 3-space, *Appl. Math. Comp.* 177, 260–270.
- Li, C. Y. Wang, R. H., & Zhu, C. G. (2011). Parametric representation of a surface pencil with a common line of curvature. *Comput. Aided Des.*, 43(9), 1110-1117.
- Okuyucu, O. Z. Gök, I. Yaylı, Y., & Ekmekci, N. (2013). Slant helices in three dimensional Lie groups, *Appl. Math. Comput.* 221, 672-683.
- Wang, G. J. Tang, K., & Tai, C. L. 2004. Parametric representation of a surface pencil with a common spatial geodesic, *Comput. Aided Des.* 36, 447–459.
- Yoon, D. W., & Yüzbaşı Z. K. (2019). On constructions of surfaces using a geodesic in Lie group. *J. Geo.*, 110(2), 1-10.
- Yoon, D. W. Yüzbaşı, Z. K., & Bektaş, M. 2017. An approach for surfaces using an asymptotic curve in Lie group. *J. Advan. Phys.*, 6(4):586-590.
- Yoon, D. W. (2012). General helices of AW (k)-type in the Lie group, *J. Appl. Math.*, Article ID 535123, 10 pages.

Atf İçin: Bulut, F. ve Eker, A. (2023). Lorentz-Darboux Çatısına Göre k ve (k,m) -tip Slant Helisler. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 1237-1246.

To Cite: Bulut, F. & Eker, A. (2023). k and (k,m) -type Slant Helices According to the Lorentz-Darboux Frame. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 1237-1246.

Lorentz-Darboux Çatısına Göre k ve (k,m) - tip Slant Helisler

Fatma BULUT^{1*}, Alisami EKER¹

Öne Çıkanlar: ÖZET:

- k ve (k,m) -tip slant helisler Helis kavramı, mühendislikten fiziğe kadar kapsamlı alanlardaki kullanımları nedeniyle diferansiyel geometri için çok önemlidir. Bu çalışmada, dört boyutlu Lorentz-Darboux çatısına göre k ve (k,m) -tip slant helisler verilmiş ve teoremler ispatlanmıştır.

Anahtar

Kelimeler:

- Slant helis,
- Lorentz-Darboux çatısı,
- Minkowski uzayı

k and (k,m) -type Slant Helices According to the Lorentz-Darboux Frame

Highlights:

- k and (k,m) -type slant helices

ABSTRACT:

The helix notion is a crucial one for differential geometry due to its comprehensive uses in fields ranging from engineering to physics. In this research, k and (k,m) -type slant helices are given according to the four-dimensional Lorentz-Darboux frame and theorems are proved.

Keywords:

- Slanthelix,
- Lorentz-Darboux frame,
- Minkowski space

¹ Fatma BULUT ([Orcid ID: 0000-0002-7684-6796](https://orcid.org/0000-0002-7684-6796)), Alisami EKER ([Orcid ID: 0000-0002-9813-0369](https://orcid.org/0000-0002-9813-0369)),

Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, Bitlis, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Fatma BULUT, e-mail: fbulut@beu.edu.tr

Bu çalışma Alisami EKER'in Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

GİRİŞ

Lorentz-Minkowski uzayındaki alt manifoldlar, çeşitli matematiksel açılardan incelenir ve görelilik teorisinde de ilgi çekicidirler. Son yıllarda, singülerlik teorisinin kullanımı önemli ilerlemelere yol açmış ve hem Öklid uzaylarında hem de yarı Öklid uzaylarında alt manifoldların singülerliğinin sınıflandırılmasına ve karakterizasyonuna odaklanan birçok araştırma yapılmıştır Bruce (1984), Hananoi vd. (2015) ve Hayashi vd. (2017). Izumiya ve ark. (2017), De Sitter uzayında uzay- benzeri eğrilerin horosferik ve hiperbolik ikili yüzeyleri elde etmiş ve Minkowski uzay-zamanında uzay- benzeri alt manifoldlar boyunca hafif hiper yüzeyler bulunmuştur (Izumiya ve ark., 2013). Ayrıca, 3-boyutlu Lorentz-Minkowski uzayında zamana benzer bir yüzey üzerindeki eğrilerin sözde küresel normal Darboux görüntüleri bulunmuştur (Izumiya ve ark., 2015) ve horosferik düz yüzeyleri (horosferik geometri anlamında düz yüzeyler) hiperbolik 3-uzayında araştırılmıştır (Izumiya ve ark., 2010). Minkowski uzayında ışık-benzeri noktaların yakınında odak eğrileri kümesi tanımlanmıştır (Nabarro ve ark., 2015).

Sato (2012), 3-boyutlu Lorentz-Minkowski uzayında uzay benzeri bir yüzey üzerindeki eğrilerin sözde küresel evolutlerini çalışmıştır. Ali ve ark. (2012), k – tip slant helisler üzerine ve k – tip null slant helisleri tanımlamışlardır. Izumiya ve ark. (2021), Minkowski uzay-zamanında uzay-benzeri bir hiper yüzeydeki eğrileri incelemişlerdir. Bulut ve Bektaş (2020), equiform geometrisinde uzay-benzeri eğrilerin k ve (k, m) – tip slant helisleri oluşturmuşlardır. Ayrıca, 4-boyutlu Öklid uzayında ilk (k, m) – tipi slant helis olarak adlandırılan yeni tip slant helisleri Yılmaz ve Bektaş (2018) tarafından tanımlanmıştır.

Bu çalışmamızın bulgular bölümünde k ve (k, m) – tip slant helis teoremleri yeni çatısında ispatlanmıştır.

MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, Lorentz-Darboux çatısı kullanılarak k ve (k, m) – tip slant helisler ile ilgili bazı teoremler ispatlanarak orijinal çalışmalar ortaya konulacaktır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, bilimsel çalışmalar için yeni teorilerin literatüre eklenmesi açısından önemlidir.

Tanım 1. \square_1^4 Minkowski uzayında $\{L_1, L_2, L_3, L_4\}$ Lorentz-Darboux çatısı ile verilen α birim hızlı bir regüler eğri olsun. α bir k – tip slant helis ise $U \in \square_1^4$ sıfırdan farklı bir doğrultu (sabit bir vektör alanı) olmak üzere $1 \leq k \leq 4$, $k \neq c$ için $\langle L_k, U \rangle = c$ sabittir.

Pseudo-ortonormal çatısı aşağıdaki gibidir:

$$\begin{bmatrix} t \\ n_\gamma \\ n_1 \\ n_2 \end{bmatrix}' = \begin{bmatrix} 0 & k_n & k_g & 0 \\ k_n & 0 & \tau_1 & \tau_2 \\ -k_g & \tau_1 & 0 & \tau_g \\ 0 & \tau_2 & -\tau_g & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t \\ n_\gamma \\ n_1 \\ n_2 \end{bmatrix}.$$

Bu Lorentz-Darboux çatısının türev denklemleri (Izumiya ve ark. 2021)

$$t' = k_n n_\gamma + k_g n_1,$$

$$n_\gamma' = k_n t + \tau_1 n_1 + \tau_2 n_2,$$

$$n_1' = \tau_1 n_\gamma - k_g t + \tau_g n_2,$$

$$n_2' = \tau_2 n_\gamma - \tau_g n_1$$

eşitlikleri ile elde edilir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Lorentz-Darboux Çatısına göre k -tip helisler

Teorem 1. α eğrisi \square_1^4 Minkowski uzayında $\{t, n_\gamma, n_1, n_2\}$ Lorentz-Darboux çatısında bir birim hızlı eğri olsun. \square_1^4 Minkowski uzayında $\{t, n_\gamma, n_1, n_2\}$ Lorentz-Darboux çatısına göre 1- tip slant helis yoktur. O halde, \square_1^4 uzayında pseudo-ortonormal çatısına göre de 1-tip slant helis yoktur.

İspat. Kabul edelim ki \square_1^4 Minkowski uzayında $\{t, n_\gamma, n_1, n_2\}$ Lorentz-Darboux çatısı ile verilen α Frenet eğrisi 1-tip slant helis olmak üzere U sıfırdan farklı bir doğrultu (vektör alanı) olsun. O halde; $\langle t, U \rangle = c_1$ ve $c_1 \in \square$

yazılabilir. (1) denkleminin türevi alındığında

$$\langle t', U \rangle = 0$$

olur. Burada türev denklemleri yazıldığında

$$\langle k_n n_\gamma + k_g n_1, U \rangle = 0,$$

$$k_n \langle n_\gamma, U \rangle + k_g \langle n_1, U \rangle = 0$$

elde edilir. Yukarıdaki denklemde $\langle n_\gamma, U \rangle = a$, $\langle n_1, U \rangle = d$, $\langle n_2, U \rangle = e$ $a, d, e \in \square$ olmak üzere, U sıfırdan farklı bir doğrultu (vektör alanı) vektörünü yazalım:

$$U = c_1 t + a n_\gamma + d n_1 + e n_2$$

ve $a = d = 0$ olduğundan

$$U = c_1 t + e n_2 \tag{2}$$

biçiminde yazılır. (2) denkleminin türevi alındığında ve türev denklemleri yerine yazıldığında:

$$U' = c_1 t' + e n_2',$$

$$U' = c_1 (k_n n_\gamma + k_g n_1) + e (\tau_2 n_\gamma - \tau_g n_1) = 0$$

eşitliği elde edilir. Buradan $c_1 = 0$ ve $e = 0$ dir. O halde, 1-tip slant helis yoktur.

Teorem 2. α eğrisi \square_1^4 Minkowski uzayında $\{t, n_\gamma, n_1, n_2\}$ Lorentz-Darboux çatısında bir birim hızlı eğri olsun. O halde, \square_1^4 uzayında pseudo-ortonormal çatısına göre 2-tip slant helis yoktur.

İspat. Kabul edelim ki \square_1^4 Minkowski uzayında $\{t, n_\gamma, n_1, n_2\}$ Lorentz-Darboux çatısı ile verilen α Frenet eğrisi 2-tip slant helis olmak üzere U sıfırdan farklı bir doğrultu (vektör alanı) olsun. O halde;

$$\langle n_\gamma, U \rangle = c_2 \text{ ve } c_2 \in \mathbb{R} \quad (3)$$

yazılabilir. (3) denkleminin türevi alındığında

$$\langle n'_\gamma, U \rangle = 0$$

olur. Burada türev denklemleri yazıldığında

$$k_n \langle t, U \rangle + \tau_1 \langle n_1, U \rangle + \tau_2 \langle n_2, U \rangle = 0$$

elde edilir. $\langle t, U \rangle = a$, $\langle n_1, U \rangle = d$, $\langle n_2, U \rangle = e$ $a, d, e \in \mathbb{R}$ olmak üzere, U sıfırdan farklı sabit bir doğrultu (vektör alanı) vektörünü yazalım:

$$U = at + c_2 n_\gamma + dn_1 + en_2$$

$$a = d = e = 0 \text{ olduğundan}$$

$$U = c_2 n_\gamma \quad (4)$$

elde edilir. (4) denkleminin türevi alındığında ve türev denklemleri yerine yazıldığında

$$U' = c_2 n'_\gamma,$$

$$U' = c_2 (k_n t + \tau_1 n_1 + \tau_2 n_2) = 0$$

eşitlikleri elde edilir. Buradan $c_2 = 0$ olduğu için 2-tip slant helisin olmadığı ispatlanmış olur.

Teorem 3. α eğrisi \mathbb{R}^4_1 Minkowski uzayında $\{t, n_\gamma, n_1, n_2\}$ Lorentz-Darboux çatısında bir birim hızlı eğri olsun. O halde, \mathbb{R}^4_1 uzayında Lorentz-Darboux çatısına göre 3-tip slant helis yoktur.

İspat. Kabul edelim ki \mathbb{R}^4_1 Minkowski uzayında $\{t, n_\gamma, n_1, n_2\}$ Lorentz-Darboux çatısı ile verilen α Frenet eğrisi 3-tip slant helis olmak üzere U sıfırdan farklı bir doğrultu (vektör alanı) olsun. O halde $\langle n_1, U \rangle = c_3$ ve $c_3 \in \mathbb{R}$

(5)

yazılabilir. (5) denkleminin türevi alındığında

$$\langle n'_1, U \rangle = 0$$

olur. Burada türev denklemleri yazıldığında aşağıdaki denklem elde edilir:

$$\tau_1 \langle n_\gamma, U \rangle - k_g \langle t, U \rangle + \tau_g \langle n_2, U \rangle = 0.$$

$\langle n_\gamma, U \rangle = a$, $\langle t, U \rangle = b$, $\langle n_2, U \rangle = d$ $a, b, d \in \mathbb{R}$ olmak üzere, U sıfırdan farklı bir doğrultu (vektör alanı) vektörünü yazalım:

$$U = -bt + an_\gamma + c_3 n_1 + dn_2$$

ve $a = b = d = 0$ olduğundan,

$$U = c_3 n_1 \quad (6)$$

yazabiliriz. (6) denkleminin türevini alıp türev denklemleri yerine yazarsak

$$U' = c_3 (\tau_1 n'_\gamma - k_g t + \tau_g n'_2) = 0$$

elde edilir. Buradan $c_3 = 0$ olduğu için 3-tip slant helisin olmadığı ispatlanmış olur.

Teorem 4. α eğrisi \square_1^4 Minkowski uzayında $\{t, n_\gamma, n_1, n_2\}$ Lorentz-Darboux çatısında bir birim hızlı eğri ise o halde, \square_1^4 Minkowski uzayında Lorentz-Darboux çatısına göre 4-tip slant helis yoktur.

İspat. Kabul edelim ki \square_1^4 Minkowski uzayında Lorentz-Darboux çatısı $\{t, n_\gamma, n_1, n_2\}$ ile verilen α Frenet eğrisi 4-tip slant helis olmak üzere U sıfırdan farklı bir doğrultu (vektör alanı) olsun. O halde; $\langle n_2, U \rangle = c_4$ ve $c_4 \in \square$

(7)

yazılabilir. (7) denkleminin türevini alırsak

$$\langle n_2', U \rangle = 0.$$

Burada türev denklemleri yazıldığında aşağıdaki denklem elde edilir:

$$\tau_2 \langle n_\gamma, U \rangle - \tau_g \langle n_1, U \rangle = 0.$$

$\langle n_\gamma, U \rangle = a$, $\langle t, U \rangle = b$, $\langle n_1, U \rangle = d$ ve $a, b, d \in \square$ olmak üzere, U sıfırdan farklı bir doğrultu (vektör alanı) vektörünü yazalım:

$$U = bt + an_\gamma + db_1 + c_4 n_2$$

ve $a = d = 0$ olduğundan

$$U = bt + c_4 n_2$$

(8)

yazabiliriz. (8) denkleminin türevini alıp türev denklemleri yerine yazarsak

$$U' = bt' + c_4 n_2',$$

$$U' = b(k_n n_\gamma + k_g n_1) + c_4(\tau_2 n_\gamma - \tau_g n_1) = 0$$

elde edilir. Buradan $b = 0$ ve $c_4 = 0$ olduğu için 4-tip slant helisin olmadığı ispatlanmış olur.

Lorentz-Darboux Çatısına göre (k, m) -tip helisler

Teorem 5. α eğrisi \square_1^4 Minkowski uzayında $\{t, n_\gamma, n_1, n_2\}$ Lorentz-Darboux çatısına göre $(1, 2)$ - tip slant helis ise o halde, aşağıdaki denklemler elde edilir:

$$\langle n_1, U \rangle = \frac{-k_n c_2}{k_g},$$

$$\langle n_2, U \rangle = \frac{-k_n c_1}{\tau_2} + \frac{\tau_1 k_n c_2}{\tau_2 k_g}.$$

Burada c_1 ve c_2 sabitlerdir.

İspat. Kabul edelim ki \square_1^4 Minkowski uzayında Lorentz-Darboux çatısı ile verilen α eğrisi $(1, 2)$ - tip slant helis olsun. U sıfırdan farklı bir doğrultu (vektör alanı) vektörü olmak üzere,

$$\langle t, U \rangle = c_1,$$

$$\langle n_\gamma, U \rangle = c_2$$

yukarıdaki denklemlerin türevini alalım:

$$\langle t', U \rangle = 0,$$

(9)

$$\langle n'_\gamma, U \rangle = 0 \quad (10)$$

(9) denkleminde türev denklemleri yerine yazılırsa

$$k_n c_2 + k_g \langle n_1, U \rangle = 0 \Rightarrow \langle n_1, U \rangle = \frac{-k_n c_2}{k_g} \quad (11)$$

elde edilir. (10) denkleminde türev denklemleri yerine yazılırsa

$$k_n \langle t, U \rangle + \tau_1 \langle n_1, U \rangle + \tau_2 \langle n_2, U \rangle = 0 \quad (12)$$

c_1

elde edilir. (11) denkleminde bulunan ifade (12) denkleminde yerine yazılırsa

$$\langle n_2, U \rangle = \frac{-k_n c_1}{\tau_2} + \frac{\tau_1 k_n c_2}{\tau_2 k_g}$$

elde edilir, böylece ispat tamamlanmış olur.

Teorem 6. α eğrisi \square_1^4 Minkowski uzayında $\{t, n_\gamma, n_1, n_2\}$ Lorentz-Darboux çatısına göre (1,3) – tip slant helis ise o halde, aşağıdaki denklemler elde edilir:

$$\langle n_\gamma, U \rangle = \frac{-k_g c_3}{k_n},$$

$$\langle n_2, U \rangle = \frac{k_g \tau_1 c_3}{\tau_g k_n} + \frac{k_g c_1}{\tau_g}.$$

Burada c_1 ve c_3 sabitlerdir.

İspat. Kabul edelim ki \square_1^4 Minkowski uzayında Lorentz-Darboux çatısı ile verilen α eğrisi (1,3) – tip slant helis olsun. U sıfırdan farklı sabit bir doğrultu (vektör alanı) vektörü olmak üzere,

$$\langle t, U \rangle = c_1,$$

$$\langle n_1, U \rangle = c_3$$

sabitlerdir. Yukarıdaki denklemlerin türevini alalım:

$$\langle t', U \rangle = 0 \quad (13)$$

$$\langle n'_1, U \rangle = 0 \quad (14)$$

buradan (13) ve (14) denklemlerinde türev denklemleri yerine yazılırsa

$$k_n \langle n_\gamma, U \rangle + k_g \underbrace{\langle n_1, U \rangle}_{c_3} = 0, \quad (15)$$

$$\tau_1 \langle n_\gamma, U \rangle - k_g \langle t, U \rangle + \tau_g \langle n_2, U \rangle = 0 \quad (16)$$

c_1

(15) deki denklemden gerekli işlemler yapıldıktan sonra

$$\langle n_\gamma, U \rangle = \frac{-k_g c_3}{k_n} \quad (17)$$

elde edilir. (17) denkleminde bulunan ifade (16) denkleminde yerine yazılırsa

$$\langle n_2, U \rangle = \frac{k_g \tau_1 c_3}{\tau_g k_n} + \frac{k_g c_1}{\tau_g}$$

elde edilir. Böylece ispat tamamlanmış olur.

Teorem 7. \square_1^4 Minkowski uzayında $\{t, n_\gamma, n_1, n_2\}$ Lorentz-Darboux çatısına göre $(1, 4)$ – tip slant helis yoktur.

İspat. Kabul edelim ki \square_1^4 Minkowski uzayında $\{t, n_\gamma, n_1, n_2\}$ Lorentz-Darboux çatısı ile verilen α eğrisi $(1, 4)$ – tip slant helis olsun. $U \in \square_1^4$ sıfırdan farklı sabit vektör alanı olmak üzere,

$$\langle t, U \rangle = c_1,$$

$$\langle n_2, U \rangle = c_4$$

sabitlerdir. Yukarıdaki denklemlerin türevini alalım:

$$\langle t', U \rangle = 0, \tag{18}$$

$$\langle n_2', U \rangle = 0. \tag{19}$$

Buradan (18) ve (19) denklemlerinde türev denklemleri yerine yazılırsa

$$k_n \langle n_\gamma, U \rangle + k_g \langle n_1, U \rangle = 0,$$

$$\tau_2 \langle n_\gamma, U \rangle - \tau_g \langle n_1, U \rangle = 0$$

elde edilir ve gerekli işlemler yapıldıktan sonra $\langle n_\gamma, U \rangle$ ve $\langle n_1, U \rangle$ ifadeleri sıfır çıkacağından $(1, 4)$ – tip slant helis yoktur.

Teorem 8. \square_1^4 Minkowski uzayında $\{t, n_\gamma, n_1, n_2\}$ Lorentz-Darboux çatısına göre $(2, 3)$ – tip slant helis yoktur.

İspat. Kabul edelim ki \square_1^4 Minkowski uzayında $\{t, n_\gamma, n_1, n_2\}$ Lorentz-Darboux çatısı ile verilen α eğrisi $(2, 3)$ – tip slant helis olsun. $U \in \square_1^4$ sıfırdan farklı sabit vektör alanı olmak üzere,

$$\langle n_\gamma, U \rangle = c_2,$$

$$\langle n_1, U \rangle = c_3$$

yazılabilir. Yukarıdaki denklemlerin türevini alırsak:

$$\langle n_\gamma', U \rangle = 0, \tag{20}$$

$$\langle n_1', U \rangle = 0 \tag{21}$$

elde edilir. Buradan (20) ve (21) denklemlerinde türev denklemleri yerine yazılırsa:

$$k_n \langle t, U \rangle + \underbrace{\tau_1 \langle n_1, U \rangle}_{c_3} + \tau_2 \langle n_2, U \rangle = 0,$$

$$\tau_1 \underbrace{\langle n_\gamma, U \rangle}_{c_2} - k_g \langle t, U \rangle + \tau_g \langle n_2, U \rangle = 0$$

elde edilir ve gerekli işlemler yapıldıktan sonra $\langle t, U \rangle$ ve $\langle n_2, U \rangle$ ifadeleri sıfır çıkacağından o halde $(2, 3)$ – tip slant helis yoktur.

Teorem 9. α eğrisi \square_1^4 Minkowski uzayında $\{t, n_\gamma, n_1, n_2\}$ Lorentz-Darboux çatısına göre $(2, 4)$ – tip slant helis ise o halde, aşağıdaki denklemler elde edilir:

$$\langle t, U \rangle = -\frac{\tau_1 \tau_2 c_2}{k_n \tau_g} - \frac{\tau_2 c_4}{k_n},$$

$$\langle n_1, U \rangle = \frac{\tau_2 c_2}{\tau_g}.$$

Burada c_2 ve c_4 sabitlerdir.

İspat. Kabul edelim ki \square_1^4 Minkowski uzayında Lorentz-Darboux çatısı ile verilen α eğrisi $(2, 4)$ – tip slant helis olsun. U sıfırdan farklı sabit bir doğrultu (vektör alanı) olmak üzere,

$$\langle n_\gamma, U \rangle = c_2,$$

$$\langle n_2, U \rangle = c_4$$

yazılabilir. Yukarıdaki denklemlerin türevini alırsak:

$$\langle n'_\gamma, U \rangle = 0, \quad (22)$$

$$\langle n'_2, U \rangle = 0 \quad (23)$$

elde edilir. Buradan (22) ve (23) denklemlerinde türev denklemleri yerine yazılırsa:

$$k_n \langle t, U \rangle + \tau_1 \langle n_1, U \rangle + \tau_2 \underbrace{\langle n_2, U \rangle}_{c_4} = 0, \quad (24)$$

$$\tau_2 \underbrace{\langle n_\gamma, U \rangle}_{c_2} - \tau_g \langle n_1, U \rangle = 0 \quad (25)$$

elde edilir. (25) denkleminde gerekli işlemler yapıldıktan sonra

$$\langle n_1, U \rangle = \frac{\tau_2 c_2}{\tau_g} \quad (26)$$

ve (26) denklemini (24) denkleminde yerine yazılırsa

$$\langle t, U \rangle = -\frac{\tau_1 \tau_2 c_2}{k_n \tau_g} - \frac{\tau_2 c_4}{k_n}$$

elde edilir. Böylece ispat tamamlanmış olur.

Teorem 10. α eğrisi \square_1^4 Minkowski uzayında $\{t, n_\gamma, n_1, n_2\}$ Lorentz-Darboux çatısına göre $(3, 4)$ – tip slant helis ise o halde, aşağıdaki denklemler elde edilir:

$$\langle n_\gamma, U \rangle = \frac{\tau_g c_3}{\tau_2},$$

$$\langle t, U \rangle = \frac{\tau_g c_4}{k_g} + \frac{\tau_1 \tau_g c_3}{k_g \tau_2}.$$

Burada c_3 ve c_4 sabitlerdir.

İspat. Kabul edelim ki \square_1^4 Minkowski uzayında $\{t, n_\gamma, n_1, n_2\}$ Lorentz-Darboux çatısı ile verilen α eğrisi $(3, 4)$ –tip slant helis olsun. U sıfırdan farklı sabit bir doğrultu (vektör alanı) olmak üzere,

$$\langle n_1, U \rangle = c_3,$$

$$\langle n_2, U \rangle = c_4$$

yazılabilir. Yukarıdaki denklemlerin türevini alırsak:

$$\langle n_1', U \rangle = 0, \quad (27)$$

$$\langle n_2', U \rangle = 0 \quad (28)$$

elde edilir. Buradan (27) ve (28) denklemlerinde türev denklemleri yerine yazılırsa:

$$\tau_1 \langle n_\gamma, U \rangle - k_g \langle t, U \rangle + \tau_g \underbrace{\langle n_2, U \rangle}_{c_4} = 0 \quad (29)$$

$$\tau_2 \langle n_\gamma, U \rangle - \tau_g \underbrace{\langle n_1, U \rangle}_{c_3} = 0 \quad (30)$$

elde edilir. (30) denkleminde gerekli işlemler yapıldıktan sonra

$$\langle n_\gamma, U \rangle = \frac{\tau_g c_3}{\tau_2} \quad (31)$$

ve (31) denklemini (29) denkleminde yerine yazılırsa

$$\langle t, U \rangle = \frac{\tau_g c_4}{k_g} + \frac{\tau_1 \tau_g c_3}{k_g \tau_2}$$

elde edilir. Böylece ispat tamamlanmış olur.

SONUÇ

Bu çalışmada daha önce farklı uzaylarda farklı çatılar üzerine yapılmış bazı çalışmalar incelenmiş ve bu çalışmalar daha ileri bir noktaya taşınmıştır. Ancak bu çalışmada, Minkowski 4-uzayında bulunan spacelike ve timelike hiper-düzlemler üzerinde eğriler ile ilgili teoremler ve önermeler verilmiştir. Bu uzayda Frenet vektörleri ile verilen Lorentz-Darboux çatısı kullanılarak, bazı özel slant helisleri elde edilmiştir.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

- Bruce, J. W. (1984). *Curves and singularities: A geometrical introduction to singularity theory.* Cambridge University Press, October 07, 2022. URL: <http://archive.org/details/curvessingularit0000bruc>. New York.
- Hananoi, S., Ito, N., Izumiya, S. (2015). Spherical Darboux images of curves on surfaces. *Beitr. Zur Algebra Geom. Contrib. Algebra Geom.* 56. URL: <https://doi.org/10.1007/s13366-015-0240-z>.
- Hayashi, R., Izumiya, S., Sato, T. (2017). Focal Surfaces And Evolutes Of Curves in Hyperbolic Space. *Commun. Korean Math. Soc.*, 32(1), 147-163.
- Izumiya, S., Nabarro, A. C., Sacramento, A. J. (2017). Horospherical and hyperbolic dual surfaces of spacelike curves in de Sitter space. *J. Singul.* URL: <https://doi.org/10.5427/jsing.2017.16h>.
- Izumiya, S., Nabarro, A. C., Sacramento, A. J. (2015). Pseudo-spherical normal Darboux images of curves on a timelike surface in three dimensional Lorentz–Minkowski space. *J. Geom. Phys.*, 97, 105-118.

- Izumiya, S., Saji, K., Takahashi, M. (2010). Horospherical flat surfaces in Hyperbolic 3-space. *J. Math. Soc. Jpn.*, 62(3). URL: <https://doi.org/10.2969/jmsj/06230789>.
- Izumiya, S., Sato, T. (2013). Lightlike hypersurfaces along spacelike submanifolds in Minkowski space–time. *J. Geom. Phys.*, 71, 30-52.
- Nabarro, A. C., Sacramento, A. J. (2015). Focal set of curves in the Minkowski space near lightlike points. *arXiv*, 27. URL: <http://arxiv.org/abs/1507.07957>.
- Sato, T. (2012). Pseudo-spherical evolutes of curves on a spacelike surface in three dimensional Lorentz–Minkowski space. *J. Geom.*, 103(2), 319-331.
- Ali, A. T., López, R., Turgut, M. (2012). k -type partially null and pseudo null slant helices in Minkowski 4-space. *Math. Commun.*, 17(1), 93-103.
- Bulut, F., Bektaş, M. (2020). Special helices on equiform differential geometry of spacelike curves in Minkowski space-time. *Commun. Fac. Sci. Univ. Ank. Ser. A1 Math. Stat.*, 69(2), 1045-1056.
- Hacısalıhoğlu, H. H. (1983). Diferansiyel Geometri. *İnönü Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Yayınları*. Ankara.
- O’Neill, B. (1983). Semi-Riemannian Geometry With Applications to Relativity. *Academic Press*.
- Ratcliffe, J. G. (2019). Euclidean Geometry. *Springer International Publishing*, 1-33. doi: 10.1007/978-3-030-31597-9_1.
- Izumiya, S., Nabarro, A. C., Sacramento, A. J. (2021). Curves in a spacelike hypersurface in Minkowski space-time. *Osaka J. Math.*, 58(4), 947-966.
- Yılmaz, M. Y., Bektaş, M. (2018). Slant helices of (k,m) –type in E^4 . *Acta Univ. Sapientiae, Mathematica*, 10(2), 395-401.

Atıf İçin: Atasoy, D. ve Kara, H. (2023). Karar Ağacı Optimizasyon Algoritması üzerine Bir Çalışma. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 1247-1255.

To Cite: Atasoy, D. & Kara, H. (2023). A Study on Decision Tree Optimization Algorithm. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 1247-1255.

Karar Ağacı Optimizasyon Algoritması üzerine Bir Çalışma

Diñçer ATASOY^{1*}, Hasan KARA²

Öne Çıkanlar: ÖZET:

- Matematik Bölümü Öğrencilerinin türev tutumları
- Optimizasyon

Bu çalışmanın amacı matematik bölümünde okuyan öğrencilerin, bölümde okutulan analiz derslerindeki türev konusu hakkında nasıl bir tutuma sahip olduklarını karar ağacı optimizasyon algoritması ile ölçmektir. Çalışmada, Kara (2014)'nın geliştirdiği ve Atasoy ve Kara (2021)'nin optimize ettiği 5'li likert ölçeğine sahip türev tutum ölçeği kullanılmıştır. Matematik bölümünde öğrenim gören 194 öğrenciye bu ölçek uygulanmış ve lise düzeyinde pekiştirme derslerine katılan /katılmayan öğrencilerin görüşlerinde farklılık olup olmadığı incelenmiştir. Öğrencilerin ÖSYM matematik testinde doğru cevapladıkları soru sayısına bakıldığında, üniversite analiz dersinde görülen türevlere olumlu baktıkları görülmüştür.

Anahtar

Kelimeler:

- Karar ağacı
- Algoritma
- Türev tutumu
- Optimum çözüm

A Study on Decision Tree Optimization Algorithm

Highlights:

- Derivative attitudes of the Department of Mathematics
- Optimization

ABSTRACT:

The aim of this study is to measure the attitude of the students studying in the mathematics department about the derivative subject in the analysis courses taught in the department, with the decision tree optimization algorithm. In the study, a derivative attitude scale with a 5-point Likert scale developed by Kara (2014) and optimized by Atasoy and Kara (2021) was used. This scale was applied to 194 students studying in the mathematics department and it was examined whether there was a difference in the opinions of the students who attended or did not attend the reinforcement courses at the high school level. Considering the number of questions that students answered correctly in the ÖSYM mathematics test, it was seen that they viewed the derivatives in the university analysis course positively.

Keywords:

- Decision tree
- Algorithm
- Derivative attitude
- Optimum solution

¹ Diñçer ATASOY ([Orcid ID: 0000-0003-0389-1059](https://orcid.org/0000-0003-0389-1059)), Iğdır Üniversitesi, Iğdır Meslek Yüksekokulu, Finans-Bankacılık ve Sigortacılık Bölümü, Iğdır, Türkiye

² Hasan KARA ([Orcid ID: 0000-0001-9828-9006](https://orcid.org/0000-0001-9828-9006)), Iğdır Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, Iğdır, Türkiye

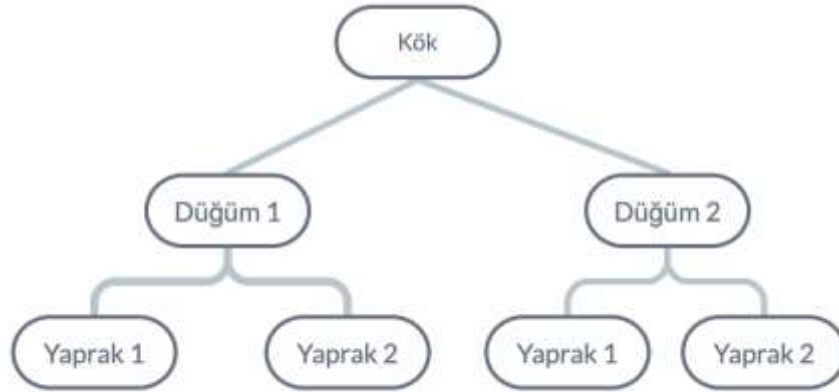
*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Diñçer ATASOY, e-mail: dincer.atasoy@igdir.edu.tr

Etik Kurul Onayı / Ethics Committee Approval: Bu makalede kullanılan öğrenci anketi için "Iğdır Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Yayın Etik Kurulu Başkanlığının" 25.01.2021 tarih ve 2021/04 sayılı kararı ile Etik Kurul Onayı alınmıştır.

GİRİŞ

Karar ağacı veri madenciliği olarak da adlandırılır. Karar ağacı algoritması, denetimli makine öğrenimi algoritmaları ailesine aittir. Hem sınıflandırma hem de regresyon analizinde kullanılabilir. Bu algoritmanın amacı, yaprak düğümün bir sınıf etiketine karşılık geldiği ve özniteliklerin iç düğümde temsil edildiği problemi çözmek için karar ağacının ağaç temsilini kullandığı bir hedef değişkenin değerini tahmin eden bir model oluşturmaktır (Anonim, 2021).

Karar ağacı öğrenimi, aykırı değerlere yaklaşmak için bir yöntemdir. Karar ağacı öğrenimi, en yaygın kullanılan ve pratik yöntemlerden biridir (Kozak, 2019). Bir karar ağacında, her bir dâhili düğüm, girdi öznitelik değerlerinin belirli bir ayrık fonksiyonuna göre örnek uzayını iki veya daha fazla alt uzaya böler. Karar ağacı indükleyicileri, belirli bir veri kümesinden otomatik olarak bir karar ağacı oluşturan algoritmalarıdır. Bu algoritmanın amacı, genelleme hatasını en aza indirerek optimal karar ağacını bulmaktır. Bununla birlikte, örneğin düğüm sayısını en aza indirmek veya ortalama derinliği en aza indirmek gibi diğer hedef işlevler de tanımlanabilir (Rokach, 2010). Karar ağacı optimizasyon, nesnelere arasındaki ilişkinin ortaya çıkarılmasına olanak sağlayan ve optimal düzenlemelerin en küçükleri içermesini sağlayan istatistiksel bir yöntemdir (Kalaycı, 2006; Ho, 2006).



Şekil 1. Karar Ağacı Diyagramı

Bir karar ağacında, her özellik bir kök düğümünden oluşur. Kök düğümlerin altında alt düğümler ve onların altında ise yapraklar vardır. En son yapraklardan optimum olanı amacı temsil etmektedir. Her bir uç düğüme kökten ulaşılacak tek bir yol bulunur. Ulaşılan uç düğüm, yeni verinin öngörülen sınıfına karşılık gelir (Dalkılıç ve Dalkılıç, 2015).

MATERYAL VE METOT

Karar ağacı ile ilgili yapılan çeşitli çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmalardan bazıları şunlardır; Onan (2014) “Şirket İflaslarının Tahmin Edilmesinde Karar Ağacı Algoritmalarının Karşılaştırmalı Başarım Analizi”, Dalkılıç ve ark. (2015) “Karar Ağaçları Destekli Vadeli Mevduat Analizi”, Kozak (2019) “Decision Tree and Ensemble Learning Based on Ant Colony Optimization”, Çelik ve ark.(2022) “Çalışan Performansı Ölçeğindeki İfadelerin Karar Ağacı Algoritması ile Belirlenmesi”, Aksu ve ark. (2016) “PISA 2012 matematik okur yazarlığı puanlarının karar ağacı yöntemiyle sınıflandırılması: Türkiye örnekleme” dir. Bu çalışmada faydalanılan tutum ölçeklerinden bazıları da; Kara (2014) “İlköğretim Matematik Öğretmen Adaylarının Türev Konusuna Yönelik Tutumları” adlı ölçek çalışmadır.

Çizelge 1. Öğrencilerin sınıf ve yaş bilgileri

	Sınıf			Cinsiyet	Cinsiyet		
	f	%	Birikimli Yüzde		f	%	Birikimli Yüzde
Birinci sınıf	102	52.6	52.6	Erkek	82	42.3	42.3
İkinci sınıf	44	22.7	75.3	Kadın	112	57.7	100.0
Üçüncü sınıf	29	14.9	90.2	Toplam	194	100.0	
Dördüncü sınıf	19	9.8	100.0				
Toplam	194	100.0					

Çizelge 1’de öğrencilerin hem sınıf bazında hem de cinsiyet bazında, frekansları ve nispi frekansları verilmiştir.

Çizelge 2. Öğrencilerin takviye kursuna gitmesi ve ÖSYM alan sınavında doğru yaptığı sorular

Kurs	ÖSYM			Grup	ÖSYM		
	f	%	Birikimli Yüzde		f	%	Birikimli Yüzde
Sadece özel ders aldım	5	2.6	2.6	1-10	8	4.1	4.1
Hem dershaneye/etüt merkezine gittim hem de özel ders aldım	8	4.1	6.7	11-20	64	33.0	37.1
sadece dershaneye/etüt merkezine gittim	104	53.6	60.3	21-30	80	41.2	78.4
Herhangi bir takviye almadım	77	39.7	100.0	31-40	42	21.6	100.0
Toplam	194	100.0		Toplam	194	100.0	

Çizelge 2’de öğrencilerin hem kurs bazında hem de ÖSYM bazında frekansları ve nispi frekansları verilmiştir.

Sınıflar İçin Karar Ağacı

Çizelge 3 ve Şekil 1’de görüleceği üzere, Sınıf ağaç derinliğinin en fazla 3 üst düğümdeki minimum durumlar 50, Alt düğümdeki minimum durumlar 25’ten oluşmaktadır. Karar ağacına dahil edilen bağımsız değişkenler, Sınıf ana kök ile 6 düğümden (daldan) oluşmaktadır. “Türevi tanımlayabilirim ve Türev konusunu anlaşılır buluyorum.” İfadeleri için terminal düğüm sayısı 4 ve ağaç derinliği 2’dir.

“Türevi tanımlayabilirim.” ifadesi birinci derecede 3 düğüme ayrılmıştır. Birinci düğümden (node) 3 ve daha az puana sahip olanlar vardır. Burada; birinci sınıf öğrencileri 58 kişi ve %65.9, ikinci sınıf öğrencileri 20 kişi ve %22.7, üçüncü sınıf öğrencileri 6 kişi ve %6.8 ve dördüncü sınıf öğrencileri 4 kişi ve %4.5 ile toplamda 88 kişiden oluşmaktadır. İkinci düğümden (node) 3 ile 4 arası (4 dahil) puana sahip olanlar vardır. Burada; birinci sınıf öğrencileri 36 kişi ve %53.7, ikinci sınıf öğrencileri 13 kişi ve %19.4, üçüncü sınıf öğrencileri 8 kişi ve %11.9 ve dördüncü sınıf öğrencileri 10 kişi ve %14.9 ile toplamda 67 kişiden oluşmaktadır. Üçüncü düğümden (node) 4’ten daha fazla puana sahip olanlar vardır. Burada; birinci sınıf öğrencileri 8 kişi ve %20.5, ikinci sınıf öğrencileri 11 kişi ve %28.2, üçüncü sınıf öğrencileri 15 kişi ve %38.5 ve dördüncü sınıf öğrencileri 5 kişi ve %12.8 ile toplamda 39 kişiden oluşmaktadır.

“Türev konusunu anlaşılır buluyorum.” ifadesi, ikinci derecede iki terminal düğüme ayrılmıştır. Dördüncü düğümden (node) 3 ve daha az puana sahip olanlar yer almıştır. Burada; birinci sınıf öğrencileri 37 kişi ve %77.1, ikinci sınıf öğrencileri 7 kişi ve %14.6, üçüncü sınıf öğrencileri 4 kişi ve %8.3 iken dördüncü sınıf öğrencisi yoktur.

Çizelge 3. Sınıflara Göre Karar Ağacı Tablosu

Model Özeti		
Büyüme Metodu	CHAID	
Bağımlı Değişken	sınıfınız	
Bağımsız Değişkenler	Türevi tanımlayabilirim., Türev sorularını çözmeyi severim., Türevin geometrik anlamını açıklayabilirim., Bir fonksiyonun türevi verildiğinde fonksiyon hakkında yorum yapabilirim., Türevi verilen bir fonksiyonun kendisini bulabilirim., Türevin konusunu anlaşılır buluyorum., Türevin alma kurallarını biliyorum., artan ve azalan fonksiyonlar ile türev arasındaki ilişkiyi açıklayabilirim., Türev ile süreklilik arasındaki ilişkiyi açıklayabilirim., Türevin günlük olaylarla ilişkilendirebilirim., Bir fonksiyonun türevini sıfır yapan ya da türevin olmadığı noktalar kritik noktalar., Türevi hayatımda bir çok yerde kullanırım., Türev konusunda iddialyım., Türev öğrenmemizin öğretmenlik yaşantımızı kolaylaştıracağını düşünüyorum., Türev konusu gerçek yaşamda bilgilerle bağlantılıdır., Türev konusu sıkıcı ve gereksizdir., Türev konusundan nefret ederim., Türev konusunun ileriki yıllarda karşıma çıkmasını istemem (Kara, 2014; Atasoy ve Kara, 2021).	
Geçerlilik	Çapraz Geçerlilik	
Maksimum Ağaç Derinliği	3	
Üst Düğümdeki Minimum Durumlar	50	
Alt Düğümdeki Minimum Durumlar	25	
Dahil edilen Bağımsız Değişkenler	Türevi tanımlayabilirim., Türevin konusunu anlaşılır buluyorum.	
Düğüm Sayısı	6	
Terminal Düğüm Sayısı	4	
Derinlik	2	

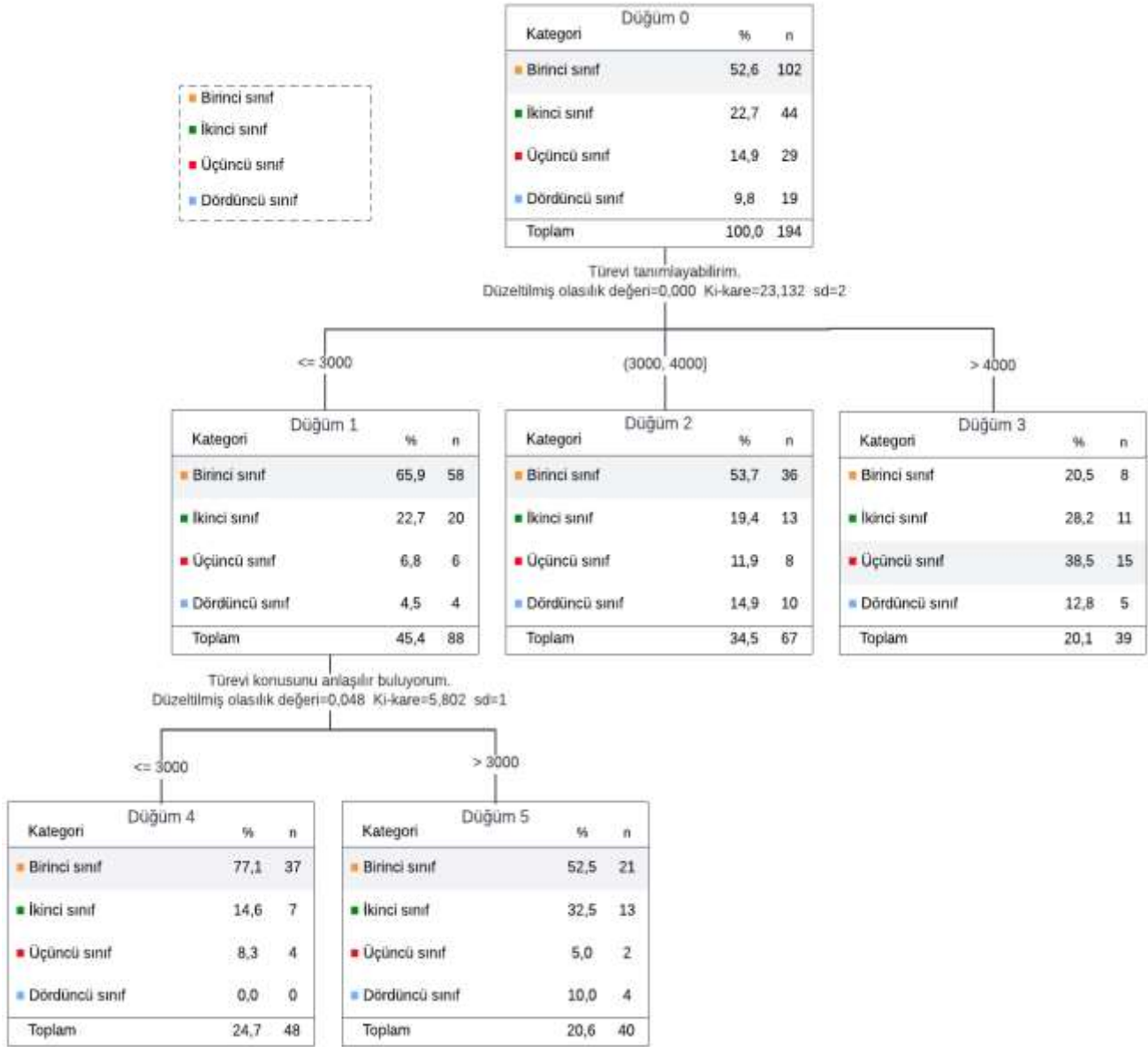
Beşinci düğümde (node) 3'ten daha fazla puana sahip olanlar vardır. Burada; birinci sınıf öğrencileri 21 kişi ve %52.5, ikinci sınıf öğrencileri 13 kişi ve %32.5, üçüncü sınıf öğrencileri 2 kişi ve %5.0 ve dördüncü sınıf öğrencileri 4 kişi ve %10.0 ile toplamda 40 kişiden oluşmaktadır.

Şekil 2'de; birinci sınıf öğrencileri 102 kişi ve %52.6, ikinci sınıf öğrencileri 44 kişi ve %22.7, üçüncü sınıf öğrencileri 29 kişi ve %14.9 ve dördüncü sınıf öğrencileri 19 kişi ve %9.8 ile toplamda 194 kişi Sınıf ana kökünü oluşturmaktadır.

Çizelge 4'e bakıldığında yeniden ikame ile çapraz geçerlilik ölçütü tahmin değerlerinin sırasıyla 0.438 ve 0.500 ile birbirine yakın değerler olması optimal bir durum olduğunu göstermektedir (Ho, 2006).

Çizelge 4. Sınıf Bazında Risk Tablosu

Metod	Risk	
	Tahmin	Standart hata
Yeniden ikame	0.438	0.036
Çapraz geçerlilik ölçütü	0.500	0.036



Şekil 2. Sınıf Bazında Karar Ağacı

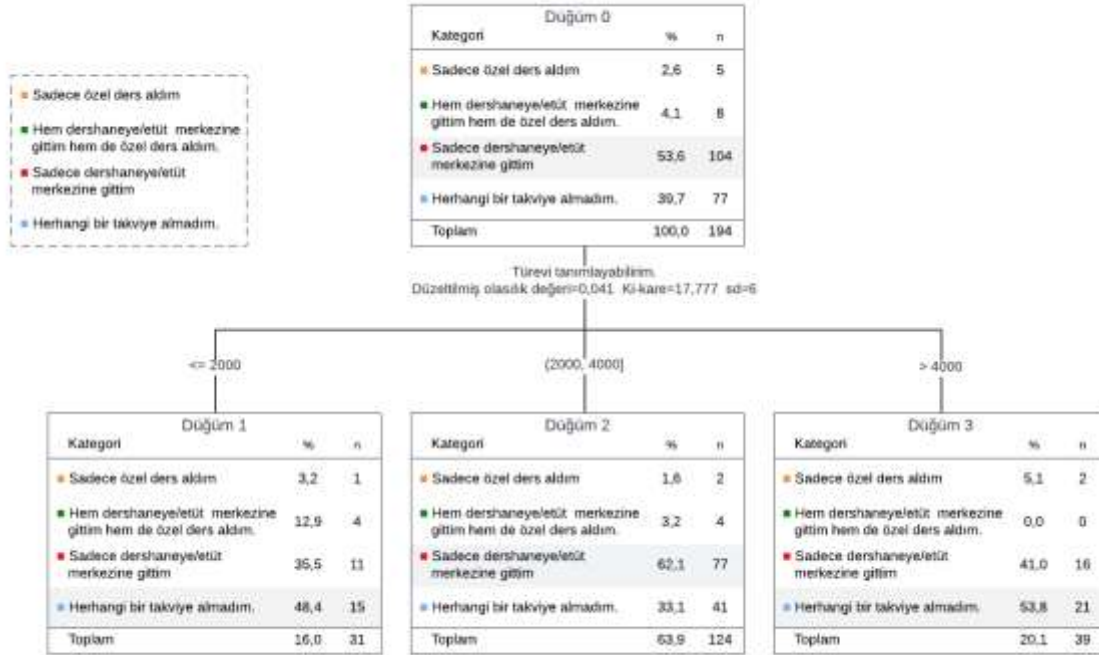
Çizelge 5'te gözlenen ve tahmin edilen değerler görülmektedir. Bu algoritma birinci sınıf öğrencilerini %92.2 oranında, üçüncü sınıf öğrencilerini %51.7 oranında ve toplamda ise %56.2 oranında doğru sınıflandırma yapılabilmektedir. İkinci ve dördüncü sınıf öğrencileri sınıflandırmaya dahil edilmemiştir.

Çizelge 5. Sınıf Bazında Sınıflandırma Tablosu

Gözlenen	Sınıflandırma				Doğrulama yüzdesi
	Birinci sınıf	İkinci sınıf	Üçüncü sınıf	Dördüncü sınıf	
Birinci sınıf	94	0	8	0	92.2%
İkinci sınıf	33	0	11	0	0.0%
Üçüncü sınıf	14	0	15	0	51.7%
Dördüncü sınıf	14	0	5	0	0.0%
Genel Yüzde	79.9%	0.0%	0.201	0.0%0	56.2%

BULGULAR VE TARTIŞMA

Kurs İçin Karar Ağacı



Şekil 3. Kurs Bazında Karar Ağacı

Kurs için ağaç diyagramı Şekil 3'te verilmiştir. Üst düğümdeki minimum durumlar 50, Alt düğümdeki minimum durumlar 25'ten oluşmaktadır. Kurs için ağaç diyagramı ana kök ile birlikte 4 daldan (düğüm) oluşmaktadır. "Türevi tanımlayabilirim" ifadesine göre ağaç diyagramı 3 terminal düğüme ayrılmıştır.

Lise öğrenimi süresince "Sadece özel ders aldım" diyen öğrenciler 5 kişi ve %2.6, "Hem dershaneye/etüt merkezine gittim hem de özel ders aldım" diyen öğrenciler 8 kişi ve %4.1, "Sadece dershaneye/etüt merkezine gittim" diyen öğrenciler 104 kişi ve %53.9 ve "Herhangi bir takviye almadım" diyen öğrenciler 77 kişi ve %39.7 ile toplamda 194 kişi Kurs ana kökünü oluşturmaktadır.

Kurs değişkeni birinci derecede "Türevi tanımlayabilirim" ifadesine göre üç terminal düğüme ayrılmıştır. Birinci düğümde (node) 2 ve daha az puana sahip olanlar vardır. Burada "Sadece özel ders aldım" diyen öğrenciler 2 kişi ve %1.6, "Hem dershaneye/etüt merkezine gittim hem de özel ders aldım" diyen öğrenciler 4 kişi ve %3.2, "Sadece dershaneye/etüt merkezine gittim" diyen öğrenciler 77 kişi ve %62.1 ve "Herhangi bir takviye almadım" diyen öğrenciler 41 kişi ve %48.4 ile toplamda 31 kişiden oluşmaktadır.

İkinci düğümde (node) 3 ile 4 arası (4 dahil) puana sahip olanlar vardır. Burada "Sadece özel ders aldım" diyen öğrencileri 1 kişi ve %3.2, "Hem dershaneye/etüt merkezine gittim hem de özel ders aldım" diyen öğrencileri 4 kişi ve %12.9, "Sadece dershaneye/etüt merkezine gittim" diyen öğrencileri 11 kişi ve %35.5 ve "Herhangi bir takviye almadım" diyen öğrencileri 41 kişi ve %33.1 ile toplamda 124 kişiden oluşmaktadır.

Üçüncü düğümde (node) 4'ten daha fazla puana sahip olanlar vardır. Burada; "Sadece özel ders aldım" diyen öğrencileri 2 kişi ve %5.1, "Sadece dershaneye/etüt merkezine gittim" diyen öğrenciler 16 kişi ve %41.0 ve "Herhangi bir takviye almadım" diyen öğrenciler 21 kişi ve %53.8 ile toplamda 39 kişiden oluşmaktadır. "Hem dershaneye/etüt merkezine gittim hem de özel ders aldım" diyen öğrenciler yoktur.

Çizelge 6. Kurs Bazında Risk Tablosu

Risk		
Metod	Tahmin	Standart hata
Yeniden ikame	0.418	0.035
Çapraz geçerlilik ölçütü	0.469	0.036

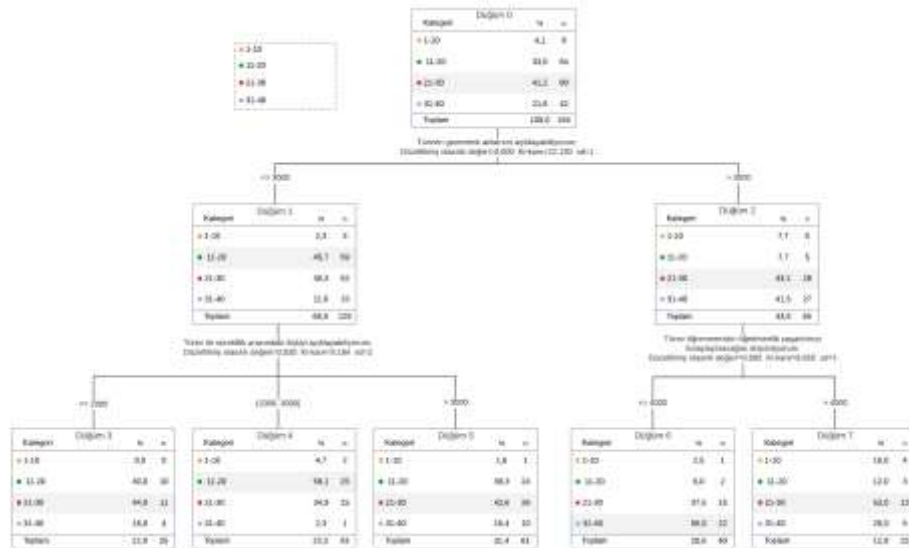
Çizelge 6'ya bakıldığında Resubstitution ile Cross-Validation tahmin değerleri sırasıyla 0.418 ve 0.469 ile birbirine yakın değerler olması optimal bir durumun olduğunu göstermektedir.

Çizelge 7. Kurs Bazında Sınıflandırma Tablosu

Gözlenen	Sınıflandırma				
	Tahmin edilen		Doğrulama yüzdesi		
	Sadece özel ders aldım	Hem dershaneye/etüt merkezine gittim hem de özel ders aldım	sadece dershaneye/etüt merkezine gittim	Herhangi bir takviye almadım	
Sadece özel ders aldım	0	0	2	3	0.0%
Hem dershaneye/etüt merkezine gittim hem de özel ders aldım	0	0	4	4	0.0%
sadece dershaneye/etüt merkezine gittim	0	0	77	27	74.0%
Herhangi bir takviye almadım	0	0	41	36	46.8%
Genel Yüzde	0.0%	0.0%	63.9%	36.1%	58.2%

Çizelge 7'ye bakıldığında gözlenen ve tahmin edilen değerler görülmektedir. Bu algoritma "Sadece dershaneye/etüt merkezine gittim" diyen öğrencileri %74.0 oranında, "Herhangi bir takviye almadım" diyen öğrencileri %46.8 oranında ve toplamda ise %58.2 oranında sınıflandırmaktadır. "Sadece özel ders aldım" diyen ve "Hem dershaneye/etüt merkezine gittim hem de özel ders aldım" diyen öğrenciler sınıflandırmaya dahil edilmemiştir.

ÖSYM İçin Karar Ağacı



Şekil 4. ÖSYM Bazında Karar Ağacı

Şekil 4'e bakıldığında ÖSYM ağaç derinliğinin en fazla 3 üst düğümdeki minimum durumlar 50, Alt düğümdeki minimum durumlar 25'ten oluşmaktadır. Karar ağacına dahil edilen bağımsız değişken ÖSYM ana kök ile 8 daldan(düğümde) oluşmaktadır. "Türevin geometrik anlamını açıklayabilirim.,

Türev ile süreklilik arasındaki ilişkiyi açıklayabilirim., Türev öğrenmemizin öğretmenlik yaşantımızı kolaylaştıracağını düşünüyorum.” terminal düğme sayısı 5 ve ağaç derinliği ise 2’dir.

ÖSYM alan sınavındaki 40 sorudan 1-10 arası doğru yapan öğrenciler 8 kişi ve %4.1, 11-20 arası doğru yapan öğrenciler 64 kişi ve %33, 21-30 arası doğru yapan öğrenciler 80 kişi ve %41.2 ve 31-40 arası doğru yapan öğrenciler 42 kişi ve %21.6 ile toplamda 194 kişi Kurs ana kökünü oluşturmaktadır.

“Türevin geometrik anlamını açıklayabilirim.” Başlığı altındaki ağaç dilimi iki gruba ayrılıyor. Birinci düğümde (node) 3 ve daha az puana sahip olanlar vardır. 1-10 arası doğru yapan öğrenciler 3 kişi ve %2.3, 11-20 arası doğru yapan öğrenciler 59 kişi ve %45.7, 21-30 arası doğru yapan öğrenciler 52 kişi ve %40.3 ve 31-40 arası doğru yapan öğrenciler 15 kişi ve %11.6 ile toplamda 129 kişiden oluşmaktadır (Atasoy ve Kara, 2021).

İkinci düğümde (node) 3’ten fazla puana sahip olanlar vardır. 1-10 arası doğru yapan öğrenciler 5 kişi ve %7.7, 11-20 arası doğru yapan öğrenciler 5 kişi ve %7.7, 21-30 arası doğru yapan öğrenciler 28 kişi ve %43.1 ve 31-40 arası doğru yapan öğrenciler 27 kişi ve %41.5 ile toplamda 65 kişiden oluşmaktadır.

“Türev ile süreklilik arasındaki ilişkiyi açıklayabilirim.” Başlığı altındaki ağaç dilimi üç gruba ayrılıyor. Birinci düğümde (node) 2 ve daha az puana sahip olanlar, İkinci düğümde (node) 2 ile 3 arası (3 dahil) puana sahip olanlar vardır. Üçüncü düğümde (node) 3’ten daha fazla puana sahip olanlar vardır.

“Türev öğrenmemizin öğretmenlik yaşantımızı kolaylaştıracağını düşünüyorum.” Başlığı altındaki ağaç dilimi iki gruba ayrılıyor. Birinci düğümde (node) 4 ve daha az puana sahip olanlar, İkinci düğümde (node) 4’ten daha fazla puana sahip olanlar vardır.

Çizelge 8. ÖSYM Bazında Risk Tablosu

Metod	Risk	
	Tahmin	Standart hata
Yeniden ikame	0.500	0.036
Çapraz geçerlilik ölçütü	0.639	0.034

Çizelge 8’e bakıldığında Resubstitution ile Cross-Validation tahmin değerleri sırasıyla 0.500 ve 0.639 ile birbirine yakın değerler olması optimal bir durumun olduğunu göstermektedir.

Çizelge 9. ÖSYM Bazında Sınıflandırma Tablosu

Gözlenen	Sınıflandırma				Doğrulama yüzdesi
	Tahmin edilen				
	1-10	11-20	21-30	31-40	
1-10	0	2	5	1	0.0%
11-20	0	25	37	2	39.1%
21-30	0	15	50	15	62.5%
31-40	0	1	19	22	52.4%
Genel Yüzde	0.0%	22.2%	57.2%	20.6%	50.0%

Çizelge 7’ye bakıldığında gözlenen ve tahmin edilen değerler görülmektedir. Bu algoritma 11-20 arası doğru yapan öğrencileri %39.1 oranında, 21-30 arası doğru yapan öğrencileri %62.5 oranında ve 31-40 arası doğru yapan öğrencileri %52.4 oranında ve toplamda ise %50 oranında sınıflandırmaktadır. 1-10 arası doğru yapan öğrencileri sınıflandırmaya dahil etmemiştir.

SONUÇ

Tüm sonuçlarda Cross-Validation tahmini değerlerinin birbirine yakın olduğu gözlenmiş olduğundan dolayı en iyi sonuç(optimum) elde edilmiştir. Sınıf ağaç derinliği en fazla 3 olmuştur. Üst düğümdeki minimum durum sayısı 50 alt düğümdeki minimum durum sayısı ise 25 olarak belirlenmiştir. Karar ağacına dahil edilen bağımsız değişkenler sınıf ana kök ile 6 daldan(düğümünden) oluşmaktadır.

“Türevi tanımlayabilirim, Türev konusunu anlaşılır buluyorum.” İfadeleri için terminal düğme sayısı 4 ve ağaç derinliği ise 2 olmuştur. Kurs değişkeni için ağaç 3 terminal düğümden oluşmuştur. “Türevi tanımlayabilirim” ifadesinde terminal düğüm sayısı 3 ve ağaç derinliği 1’dir. ÖSYM ana kök ile 8 daldan (düğümden) oluşmaktadır. “Türevin geometrik anlamını açıklayabilirim., Türev ile süreklilik arasındaki ilişkiyi açıklayabilirim., Türev öğrenmemizin öğretmenlik yaşantımızı kolaylaştıracağını düşünüyorum.” terminal düğme sayısı 5 ve ağaç derinliği ise 2’dir. Önerilen metodolojinin, tahmin algoritması seçiminin her dönemde en iyi seçim olduğunun onaylanmasından oluşan adım dizisini incelenmiştir. Bu uygulanan adımların bu tür çalışmalarda kullanılması uygun olacaktır.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

- Anonim. (2022). Machine learning vs deep learning vs artificial intelligence know in-depth difference. URL: <https://www.analyticsvidhya.com>. (accessed date:June14, 2021).
- Atasoy, D. ve Kara, H. (2021). Matematik bölümünde okuyan öğrencilerin türev konusu hakkındaki tutumları. 2. Uluslararası Al Farabi Uygulamalı Bilimler Kongresi, 2-4 Mayıs 2021, Bakü, Azerbaycan.
- Dalkılıç, H., Dalkılıç, F. (2015). Karar ağaçları destekli vadeli mevduat analizi. *Akademik Bilişim Konferansı*, 4-6 Şubat 2015, Eskişehir.
- Ho, R. (2006). *Handbook of univariate and multivariate data analysis and interpretation with SPSS*. New York: Taylor & Francis Group LLC.
- Kalaycı, Ş. (2006). *SPSS uygulamalı çok değişkenli istatistik teknikleri*. Ankara: Asil Yayın Dağıtım.
- Kara, M. (2014). *İlköğretim matematik öğretmen adaylarının türev konusuna yönelik tutumları* (Necmettin Erbakan Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü Yüksek lisans tezi). YÖK veri tabanından erişildi (Erişim No:383623.)
- Kozak, J. (2019). Decision tree and ensemble learning based on ant colony optimization. *springer international publishing*, 30-34.
- Rokach, L. (2010). *Data mining and knowledge discovery handbook*. New York: Springer International Publishing.

Atf İçin: Kılıç D., Akdur H. T. K. ve Bayrak H., (2023). Poisson ve Negatif Binom Regresyon Modellerine Alternatif Olarak Bell Regresyon Modelinin İncelenmesi: Hastanede Kalış Süresine Etki Eden Faktörlerin Belirlenmesi Türkiye Örneği. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2): 1256-1265.

To Cite: Kılıç D., Akdur H. T. K. & Bayrak H., (2023). Investigation of Bell Regression Model as an Alternative to Poisson and Negative Binomial Regression Models: Determining the Factors Affecting Length of Staying Hospital with The Case of Türkiye. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2): 1256-1265.

**Poisson ve Negatif Binom Regresyon Modellerine Alternatif Olarak Bell Regresyon Modelinin İncelenmesi:
Hastanede Kalış Süresine Etki Eden Faktörlerin Belirlenmesi Türkiye Örneği**

Duygu KILÇ^{1*}, Hatice Tül Kübra AKDUR², Hülya BAYRAK³

Öne Çıkanlar:

- Sayma Regresyon Modelleri
- Artık Analizi
- Hastanede Kalış Süresi

Anahtar Kelimeler:

- Artık analizi
- Bell regresyon
- Pearson artıklar
- Rasgele Kantil Artıklar
- Sayma verisi

ÖZET:

Sağlık hizmetleri bir bütün olarak düşünüldüğünde akla ilk gelen hizmetlerden bir tanesi hastanede kalınan süredir. Bireylerin hastanede kaldıkları süreye birçok farklı faktör etki eder. Bu çalışmada bireylerin hastanede kalış süresine etki eden faktörler sayma regresyon modelleri kullanılarak incelenmiştir. Ayrıca, sayım verilerinin modellenmesi için Bell regresyon modeli olarak adlandırılan yeni bir regresyon modeli yakın zamanda Castellares vd. (2018) tarafından istatistik literatürüne kazandırılmıştır. En sık kullanılan sayma regresyon modeli olan Poisson regresyon modelin aksine, Bell regresyon modeli aşırı yayılıma izin vermektedir. Ayrıca Bell dağılımı tek parametrelidir olduğundan çeşitli istatistiksel çıkarımları yapmak aşırı yayılıma izin veren diğer bir model olan negatif binom modeline göre daha kolaydır. Bu nedenle, yeni model aşırı yayılımlı veri setlerini modellemek için iyi bir seçenektir. Bell regresyon modelinin TÜİK tarafından yapılan Türkiye Sağlık Araştırması veri seti kullanılarak bir uygulaması verilmiştir. Bell regresyon, Poisson ve Negatif binom regresyon modelleriyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgular, Bell regresyon modelinin kullanılan veri seti için diğer regresyon modellerinden daha iyi uyum sağladığını göstermektedir. Bu sonuç Pearson ve Rasgele Kantil artık türleri incelenerek desteklenmiştir.

**Investigation of Bell Regression Model as an Alternative to Poisson and Negative Binomial Regression Models:
Determining the Factors Affecting Length of Staying Hospital with The Case of Turkey**

Highlights:

- Count Data Regression Models
- Residual Analysis
- Randomized Quantile Residual

Keywords:

- Residual analysis
- Bell regression
- Pearson residual
- Randomize quantile residual
- Count data

ABSTRACT:

When health services are considered as a whole, one of the first services that comes to mind is the length of stay in the hospital. Many different factors affect the length of stay of individuals in the hospital. In this study, the factors affecting the length of hospital stay of individuals were examined using count regression models. Also, a new regression model called Bell regression model for modeling count data was recently developed by Castellares et al. (2018). Unlike the Poisson regression model, which is the most commonly used count regression model, the Bell regression model allows for overdispersion. In addition, since the Bell distribution is single-parameter, it is easier to make various statistical inferences than the negative binomial model, which is another model that allows overdispersion. Therefore, the new model is a good option for modeling overdispersed datasets. An application of the Bell regression model is provided using the Turkey Health Survey data set collected by TURKSTAT. Bell regression was compared with Poisson and Negative binomial regression models for this dataset. The findings show that the Bell regression model fits better than other regression models for the data set used. This conclusion was supported by examining Pearson and Random quantile residual types.

¹ Duygu KILIÇ (Orcid ID: 0000-0002-3972-6648), Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, Ankara, Türkiye

² Hatice Tül Kübra AKDUR (Orcid ID: 0000-0003-2144-0518), Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, Ankara, Türkiye

³ Hülya BAYRAK (Orcid ID: 0000-0001-5666-4250), Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, Ankara, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Duygu KILIÇ, e-mail: duygukilic4@gmail.com

GİRİŞ

Sağlık hizmetleri, sağlıklı bir yaşamın sürdürülmesi için bir gereklilik olarak önemli bir rol oynamaktadır. Hastaneler, sağlık hizmetlerinin sunulduğu başlıca merkezlerdir. Bazı hastalar hastaneye geldiklerinde tanı veya tedavi için gecelik ya da daha uzun süreli kalmaya ihtiyaç duymadan aynı gün içerisinde ayakta hasta olarak hastanelere gelip yatmadan ayrılabilirken bazı hastalar ise bir gecelik veya daha uzun süreli olarak hastaneye yatırılmaktadır. Bir hastanın hastaneye başvurması ile taburcu edilmesi arasında geçen zaman olarak tanımlanabilen “hastanede yatış süresi” çoğu çalışmada kalite, performans ve verimlilik ile ilgili önemli bir sonuç ölçüsü olarak düşünülmektedir. Yatış süresinin kısalığı hastanın kısa sürede etkin şekilde tedavi edilmiş olmasından kaynaklanabilir ve bu durum kalite göstergesi olarak kullanılabilir (Aydan ve Arıkan, 2021). Bu gibi nedenlerle hastanede kalış süresine etki eden faktörlerin araştırılması önemlidir. Bu araştırmaların analizleri istatistiksel yöntemler kullanılarak yapılmaktadır. Doğru istatistiksel analiz yöntemi ile problemlere etki eden faktörler belirlenebilmektedir. Sağlık ve spor gibi bilimsel alanlardan elde edilen verilerin genellikle sayıya dayalı verilerdir. Örneğin spor yapılan gün sayısı, yürüyüş yapılan gün sayısı, hastanede kalınan gün sayısı gibi. Böyle sayma verilerinin analizleri sayma regresyon modelleri kullanılarak yapılır. Klasik doğrusal regresyon varsayımları sağlanamadığından klasik regresyon gibi analizler yapılırsa hatalı sonuçlar elde edilir.

Sayma verilerine sadece sağlık ve spor gibi alanlarda rastlanmaz. Bunun dışında sigortacılık, eğitim ve psikoloji gibi birçok farklı disiplinde sayma verilerinin modellenmesine yönelik araştırmaların sayısı son yıllarda ciddi bir artış göstermektedir. Poisson regresyon modeli ve Negatif Binom regresyon modeli bu verilerin modellenmesinde sıklıkla kullanılan bir modellerdir. Sayma verilerinde aşırı yayılım görülmektedir. Aşırı yayılım sayma verilerinde sıklıkla rastlanan bir durumdur ve varyansın ortalamadan büyük olması şeklinde tanımlanır. Poisson dağılımı beklenen değer ile varyansın birbirine eşit olması varsayımı nedeniyle aşırı yayılım olduğu durumlarda tercih edilmemelidir. Eğer böyle durumlarda Poisson dağılımı tercih edilirse standart hataların var olandan daha az tahmin edilmesine neden olacaktır ayrıca regresyon parametreleri de hatalı tahmin edilmiş olacaktır. Aşırı dağılımı modellemek için yarı Poisson regresyon modeli, Poisson-inverse Gauss, Poisson-Lognormal ve Negatif Binom regresyon modelleri gibi alternatif modeller önerilmiştir (Altun, 2018).

Sayma verisi kullanılarak yapılan çalışmalara kısaca göz atılmak istenirse:

Sezgin ve Deniz (2004) Türkiye’de grev sayılarına erki eden faktörleri bulmak için negatif binom regresyon modelini kullanmışlardır. Özmen ve Famoye (2007), çalışmalarında Dalyan Plajı’nda 1991-1993 yılları arasında güneşe maruz kalarak ölen caretta caretta yavrularının sayısının modellenmesinde sayma regresyon modellerini kullanmışlardır. Yapmış oldukları analiz sonucunda Genelleştirilmiş Poisson Regresyon modelinin daha iyi uyum sağladığını tespit etmişlerdir. Tamar (2013), yapmış olduğu tez çalışmasında trafik kazalarına etki eden faktörleri belirlemeyi amaçlamıştır. Bu amaçla Aksaray Emniyet Müdürlüğü Trafik Şube Müdürlüğü’ne ait veriyi Poisson regresyon kullanarak analiz etmiştir. Avcı (2018), çalışmasında şizofren hastalara ilişkin verilere sayma verisi regresyon modellerini uygulamıştır. Kullandığı regresyon modelleri Poisson, Negatif Binom ve Conway-Maxwell-Poisson (COM-Poisson) regresyondur. Analiz sonuçlarına göre; veri setine en iyi uyan modelin Negatif Binom Regresyon modeli olduğunu göstermiştir. Güneri ve Durmuş (2020), çalışmalarında veride aşırı yayılım ya da eksik yayılım olması durumunda kullanabilecek modeller olan Poisson ve negatif binom regresyon modellerini karşılaştırmışlardır. Bu karşılaştırmayı yapmak için ABD Tıbbi Harcama Paneli Araştırmasından (MEPS) elde edilen bir veri seti kullanmışlar ve doktor ziyaret sayısını etkileyen faktörlerin sayma modelleri aracılığı ile incelemişlerdir. Çalışma sonucunda negatif binom regresyon

modelinin daha uygun olduğunu göstermişlerdir. Durmuş vd. (2021), yaptıkları çalışmalarında bireylerin sigara içme alışkanlıklarını etkileyen faktörleri belirlemek amacıyla negatif binom regresyon modelini kullanmışlardır. Çalışmalarında Ekim-Aralık 2019 tarihleri arasında gönüllü katılımcıların dijital ortamda yapılan anket sorularına verdikleri cevaplardan elde edilen verileri kullanmışlardır.

Bu makalenin amacı, sayma verilerinin modellenmesinde kullanılan yeni ve alternatif bir regresyon modeli olan Bell regresyon modeli hakkında bilgi vermektir. Ayrıca diğer bir amaç Bell regresyon modelini Poisson ve Negatif Binom regresyon modelleriyle karşılaştırmaktır. Bu amaçla, gerçek bir veri Poisson, Negatif binom ve Bell regresyon modellerine uygulanmıştır. Hastanede kalınan gün sayısını etkileyen faktörler bu üç regresyon modeli kullanılarak incelenmiştir. Akdur ve ark. (2023) Bell ve sıfır yığılmalı Bell regresyon modellerinde Pearson, sapma (deviance) artıklarının yanı sıra rasgele kantil artıklarını uyarlayarak simülasyon çalışmalarında ve gerçek bir veri üzerinde incelemişlerdir. Bell regresyon modelinde de diğer sayma regresyon modellerinde olduğu gibi rasgele kantil artıklarının model uyumunu belirlemekte Pearson ve sapma artıklardan daha iyi olduğu gösterilmiştir (Akdur ve ark., 2023). Sayma regresyon modellerinde daha iyi sonuç verdiği bilinen rasgele kantil artıkları ile birlikte Pearson artıkları bu makalede model uyumunu incelemek için kullanılmıştır.

Makalenin şu şekilde düzenlenmiştir: materyal ve metod bölümünde sayma regresyon modelleri ve bazı artık türleri anlatılmıştır. Bulgular ve tartışmalar bölümünde önerilen modelin Poisson ve Negatif binom regresyon modellerine karşı kullanılabilirliğini göstermek için gerçek veri üzerinde çalışılmıştır. Son bölümde ise sonuçlar verilmiştir.

MATERYAL VE METOT

Adından da anlaşılacağı gibi sayma verileri sayımdan kaynaklanan negatif olmayan tamsayı değerli bir rasgele değişkenin sonucudur. Böyle bir rasgele değişkenin değerleri kesikli tamsayılardır. Genellikle alt limiti sıfırdan başlar kesinlikle negatif olmaz ve bir üst limit yoktur. Sayma verilerinin alt sınırdan kesilen çarpık bir dağılıma sahip olması yaygın bir durumdur. Sayma değerleri büyüdükçe veri heterojenleşerek artan bir varyans durumu oluşturmaktadır. Bu nedenle, sıradan en küçük kareler regresyonu gibi standart modeller, artıkların ortalama sıfır ve bir standart sapma ile normal olarak dağıldığını varsaydıklarından uygun değildir. Cameron ve Trivedi (2013), standart OLS regresyonunun kullanımının “sayma verisinin ortalaması yüksek olmadığı sürece önemli eksikliklere yol açtığını, bu durumda normal yaklaşım ve ilgili regresyon yöntemlerinin tatmin edici olabileceğini” belirtmiştir. Sayma regresyon modelleri genelleştirilmiş lineer model ailesinin bir alt kümesini oluşturur. Sayma regresyon modellerinden en yaygın kullanılan Poisson, negatif binom regresyon modellerine bu bölümde yer verilmekle birlikte Bell regresyon modeli de bu bölümde kısaca açıklanacaktır.

Poisson Regresyon

Poisson regresyon, sayıma dayalı olarak elde edilen verilerde en sık kullanılan yöntemlerin başındadır. Bağımlı değişken Poisson dağılımından gelmektedir. Poisson dağılımında log bağlantı fonksiyonu kullanıldığı için Loglineer model olarak da adlandırılmaktadır (Agresti, 2002). Poisson regresyon tıptan ekonomiye kadar birçok disiplinde kullanılmaktadır.

x_i ve y_i bir veri setini oluşturan gözlemler olsun. x_i bağımsız değişkenlerin bir vektörü ve y_i de bağımlı değişkenlerin bir vektörü olmak üzere Poisson modele ilişkin olasılık fonksiyonu Eş.1’de verildiği gibidir.

$$f(y_i|x_i) = \frac{\lambda_i e^{-\lambda_i}}{y_i!}, y_i = 0,1,2, \dots \quad (1)$$

Poisson regresyonu y_i bağımlı değişkenin Poisson dağılımına uyduğunu varsayar ve λ_i dağılımın ortalamasıdır. Poisson dağılımı sağa çarpıktır. Ancak λ_i büyüdükçe dağılım normal dağılıma yaklaşır.

y_i 'nin beklenen değeri ve varyansı Eş.2'de verilmiştir.

$$\lambda_i = E(y_i|x_i) = Var(y_i|x_i) \quad (2)$$

y_i 'nin beklenen değerinin negatif değerler almamasını sağlamak için, beklenen değer ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi gösteren link fonksiyonu (Cameron ve Trivedi, 2013)

$$\log(\lambda_i) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_m x_m \quad (3)$$

veya

$$\lambda_i = \exp(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_m x_m) = e^{x_i' \beta} \quad (4)$$

şeklinde. Burada $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_m$ bilinmeyen parametreleri temsil eder. Poisson regresyon analizinde, y_i bağımlı değişkeninin dağılımına dayalı olarak $\hat{\beta}$ tahmin edicileri hesaplamak için en çok olabilirlik metodu başta olmak üzere birçok yöntem vardır.

Negatif Binom Regresyon

Poisson regresyonda ortalama ve varyans birbirine eşittir. Ancak bu durum uygulamada her zaman mümkün olmamaktadır. Veri setinde aşırı yayılım olması durumunda, bu yayılımı dikkate alan negatif binom regresyonun kullanılması daha uygun olmaktadır (Sileshi, 2008). Negatif binom regresyonda modele aşırı yayılımdan kaynaklanan etki için yeni bir parametre eklenerek analiz yapılır. Aşırı yayılım durumu gözardı edilirse yanlış parametre tahminleri ve tutarsız sonuçlar elde edilir.

Negatif binom regresyon, Poisson modelindeki varyansın ortalamaya eşit olduğu şeklindeki kısıtlayıcı varsayımı genişleten Poisson regresyonunun bir genellemesidir. Bu model, Poisson-gamma karma dağılımına dayanmaktadır (Cameron ve Trivedi, 2013).

$$P(y_i; \lambda_i, k|x_i) = \frac{\Gamma(y_i+k)}{\Gamma(k)\Gamma(y_i+1)} \left(\frac{\lambda_i}{\lambda_i+k}\right)^{y_i} \left(\frac{k}{\lambda_i+k}\right)^k \quad (5)$$

Burada k aşırı yayılım parametresidir ve $k = 0$ durumunda fonksiyon Poisson dağılımına indirgenir.

Dağılımın beklenen değer ve varyansı sırasıyla Eş.6 ve Eş.7'de verilmiştir.

$$E(y_i) = \lambda_i \quad (6)$$

$$Var(y_i) = \lambda_i + \frac{\lambda_i^2}{k} \quad (7)$$

Negatif binom regresyonda, Poisson regresyon için yazılan Eş.3 ve Eş.4'de verilen log link fonksiyonu kullanılarak beklenen değer ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişki ifade edilebilir.

Bell Regresyon Modeli ve Bell Dağılımı

Bell regresyon yanıt değişkenin sayılabilir ve tek parametrelili Bell dağılımından geldiği durumda kullanılır. Bell dağılımına ilişkin bazı özellikler şu şekildedir:

- Tek parametrelili bir dağılımdır.
- Üstel dağılım ailesinden gelmektedir.
- Poisson dağılımı ile iç içe (nested) dağılımlar olmamasına rağmen küçük değerler için Poisson dağılımına yakınsar.
- Sonsuz derecede bölünebilir (infinitely divisible).
- Bell dağılımı aslında çoklu Poisson sürecinin (multiple Poisson process) özel bir durumudur. Bell regresyon modeli karmaşık çıkarımlar içermediğinden pratik ve uygulanabilir bir yöntemdir.

Tek parametrelili Bell dağılımına ilişkin olasılık fonksiyonu Eş.8'de gösterildiği gibidir.

$$P(Y = y) = \frac{\theta^y e^{-e^\theta + 1} B_y}{y!}, y = 0, 1, 2, \dots \quad (8)$$

Burada $\theta > 0$ ve B_y Bell sayılarını ifade etmektedir. Bell sayıları genel olarak aşağıda verildiği gibidir (Bell, 1934).

$$B_n = \frac{1}{e} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{k^n}{k!} \quad (9)$$

B_n sayıları $B_0 = 1, B_1 = 1$ ile başlar. $B_2 = 2, B_3 = 5, B_4 = 15, B_5 = 52$ şeklinde devam eder. Bell dağılımının beklenen değer ve varyansı ise sırasıyla $E(Y) = \theta e^\theta, Var(Y) = \theta(1 + \theta)e^\theta$ şeklindedir. Buradan da açıkça görüldüğü üzere varyans beklenen değerden büyüktür yani aşırı yayılım durumunda kullanıma uygundur.

Eş.8'de verilen olasılık fonksiyonunu Lambert fonksiyonu yardımı ile de göstermek mümkündür.

$$xe^x = a \quad (10)$$

Yukarıda verilen eşitlik Euler ve Lambert tarafından incelenmiştir. Bu eşitliğin sol tarafta verilen fonksiyonun tersi Lambert fonksiyonu olarak ifade edilmektedir. Bu fonksiyon W_0 ile gösterilmektedir.

Regresyon modeli oluşturulurken genellikle yanıt değişkeninin ortalaması modellenir. Bell dağılımının ortalamasına ilişkin bir regresyon yapısı elde etmek için, Bell olasılık fonksiyonu üzerinde yeniden parametrelendirme işlemi yapılır. Lambert fonksiyonu ve Bell dağılımı ilişkisi kullanılır. $\mu = \theta e^\theta$ olmak üzere burada $\theta = W_0(\mu)$ şeklinde gösterilebilirken, W_0 Lambert fonksiyonunu ifade etmektedir. (Castellares vd., 2018).

Bell dağılımına ilişkin olasılık fonksiyonu Lambert fonksiyonu kullanılarak ifade edilirse yeni oluşan olasılık fonksiyonu Eş.11'de verilmiştir. x_i bağımsız değişkenlerin bir vektörü ve y_i de bağımlı değişkenlerin bir vektörü olmak üzere Bell regresyon modeli için olasılık fonksiyonu

$$f(y_i|x_i) = \exp\left(1 - e^{W_0(\mu_i)}\right) \frac{W_0(\mu_i)^{y_i} B_{y_i}}{y_i!}, y_i = 0, 1, 2, \dots \quad (11)$$

x_i ve y_i bir veri setini oluşturan gözlemler olsun. Bell regresyon modeli y_i bağımlı değişkeninin Bell dağılımına uyduğunu varsayan parametrik bir modeldir. Poisson ve negatif binoma benzer olarak log link fonksiyonu ile aşağıdaki eşitliklerde olduğu gibi yazılabilir:

$$\log(\mu_i) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_m x_m \quad (12)$$

veya

$$\mu_i = \exp(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_m x_m) = e^{x_i' \beta} \quad (13)$$

Sabit terimler hariç Bell regresyonu için log-olabilirlik fonksiyonu $l(\beta) = \sum_{i=1}^n [y_i \log(W_0(\mu_i)) - e^{W_0(\mu_i)}]$ olarak ifade edilir. En çok olabilirlik metodu, $\beta = (\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m)^T$ Bell regresyon modelinin parametre vektörünü tahmin etmek için kullanılır.

Artıkların İncelenmesi

Artıklar, istatistiksel modellerin varsayımlarının geçerliliğini değerlendirmek için sıklıkla kullanılır. Ayrıca model seçimi içinde kullanmak mümkündür. Lineer modeller için homoskedastisite, aykırı değerlerin varlığı, normalligi ve hataların bağımsızlığını doğrulamak için artıklar kullanılabilir (Nobre ve Singer, 2007). Literatürde tanımlanmış farklı artık türleri vardır. Bunlardan bazıları Pearson, sapma (deviance) ve rasgele kantil (RQR) artıklardır. Pearson ve sapma artıklar, genellikle genelleştirilmiş lineer modellerde kullanılmaktadır. RQR ise yine doğrusal modellerde kullanılmakla birlikte sayma verilerinde de kullanılabilen bir yöntemdir ve literatürde sıklıkla kullanıldığı görülmektedir.

Pearson Artıklar

Yanıt değişkeninin tahmini standart sapması ile ölçeklenen klasik artıklar olarak tanımlamak mümkündür. Yani Pearson artıklar, gözlenen ve tahmin edilen olasılıklar arasındaki farkın, tahmin edilen olasılığın standart sapmasına bölümüdür. Genel gösterimi Eş.14’de verilmiştir.

$$r_i^p = \frac{y_i - \hat{\mu}_i}{\sqrt{V(y_i)}} \quad (14)$$

Çizelge 1.’de kullanılan regresyon modellerine ilişkin artıklar verilmiştir. Literatürde Pearson artıklara ilişkin yapılan çalışmalar incelendiğinde Bell regresyon modeline ait Pearson artıkların varlığına rastlanmamıştır.

Çizelge 1. Poisson, Negatif Binom ve Bell regresyon modellerine ait Pearson artıklar

Model	Pearson Artıklar
Poisson	$r_i^p = \frac{y_i - \hat{\lambda}_i}{\sqrt{\hat{\lambda}_i}}$
Negatif Binom	$r_i^p = \frac{y_i - \hat{\lambda}_i}{\sqrt{\hat{\lambda}_i + \hat{\lambda}_i^2/k}}$
Bell	$r_i^p = \frac{y_i - \hat{\mu}_i}{\sqrt{\hat{\mu}_i[1 + W_0(\hat{\mu}_i)]}}$

Rasgele Kantil Artıklar (Randomize Quantile Residuals-RQR)

RQR yöntemi, yanıt değerinin sayma verileri olduğu regresyon modellerinden elde edilen sonuçların değerlendirilmesinde geleneksel artıkların kullanılmasındaki zorlukların üstesinden gelmek için önerilen bir yöntemdir (Dunn vd.,1996). RQR’yi hesaplamak için gereken tek bilgi, yanıt değişkeninin kümülatif dağılım fonksiyonudur. Tanımdan da anlaşılacağı gibi RQR yöntemi diğer yöntemlere göre daha basittir. RQR yöntemi temelde bir dönüşüm yapmaktadır. $F(y_i, \hat{\mu}_i, \hat{\phi})$, regresyon modelinde $\hat{\mu}_i$ ile parametrelenen rastgele değişken y_i için kümülatif dağılım fonksiyonunu gösterebilir. $\hat{\phi}$ dağılım parametresi bağımsız değişkenler kümesine bağlı değildir. Dağılım fonksiyonu sürekli ise, $F(y_i, \hat{\mu}_i, \hat{\phi})$ fonksiyonu (0,1) üzerinde düzgün bir dağılım gösterir.

RQR ayrıca $q_i = \Phi^{-1}\{F(y_i, \hat{\mu}_i, \hat{\phi})\}$ şeklinde tanımlanabilir, burada $\Phi^{-1}(\bullet)$ standart normal dağılımın kantil (quantile) fonksiyonudur.

Çizelge 2. Poisson, Negatif Binom ve Bell regresyon modellerine ait Pearson artıklar

Model	RQR
Poisson	$z_i^q = \Phi^{-1}(ppois(y_i - 1; \hat{\lambda}_i) + u_i dpois(y_i; \hat{\lambda}_i))$
Negatif Binom	$z_i^q = \Phi^{-1}(pnb(y_i - 1; \hat{\lambda}_i; \hat{k}) + u_i dnb(y_i; \hat{\lambda}_i, \hat{k}))$
Bell	$z_i^q = \Phi^{-1}(pbell(y_i - 1; W(\hat{\mu}_i)) + u_i dbell(y_i; W(\hat{\mu}_i)))$

Burada p ile başlayan ifadeler kümülatif olasılık dağılım fonksiyonlarını gösterirken d ’ler olasılık fonksiyonlarını göstermektedir.

Kümülatif dağılım fonksiyonu kesikli ise, fonksiyonu sürekli hale getirmek için rasgeleleştirme terimi eklenir. Kesikli durum için $p(y_i, \hat{\mu}_i, \hat{\phi})$, $F(y_i, \hat{\mu}_i, \hat{\phi})$ ’nin olasılık fonksiyonu olsun. u_i , [0, 1]’deki düzgün (uniform) dağılımdan gelen rastgele bir sayı olmak üzere dağılım fonksiyonu şu şekilde edilir:

$$F^*(y_i, u_i, \hat{\mu}_i, \hat{\phi}) = F^{-1}(y_i - y_i, \hat{\mu}_i, \hat{\phi}) + u_i \cdot p(y_i, \hat{\mu}_i, \hat{\phi}) \quad (15)$$

Burada $F^{-1}(y_i^-, y_i, \hat{\mu}_i, \hat{\phi})$ alt sınırdır.

RQR, $q_i = q\{F(y_i; \hat{\mu}_i, \hat{\phi})\} = \Phi^{-1}(F^*(y_i; \hat{\mu}_i, \hat{\phi}, u_i))$ şeklinde de ifade edilebilir (Feng vd, 2020). Bell regresyonu için Akdur vd. (2023)'de uyarlanan rasgele kantil artıkları formülü ve diğer regresyon modellerinin rasgele kantil artık formülleri Çizelge 2.'de verilmiştir.

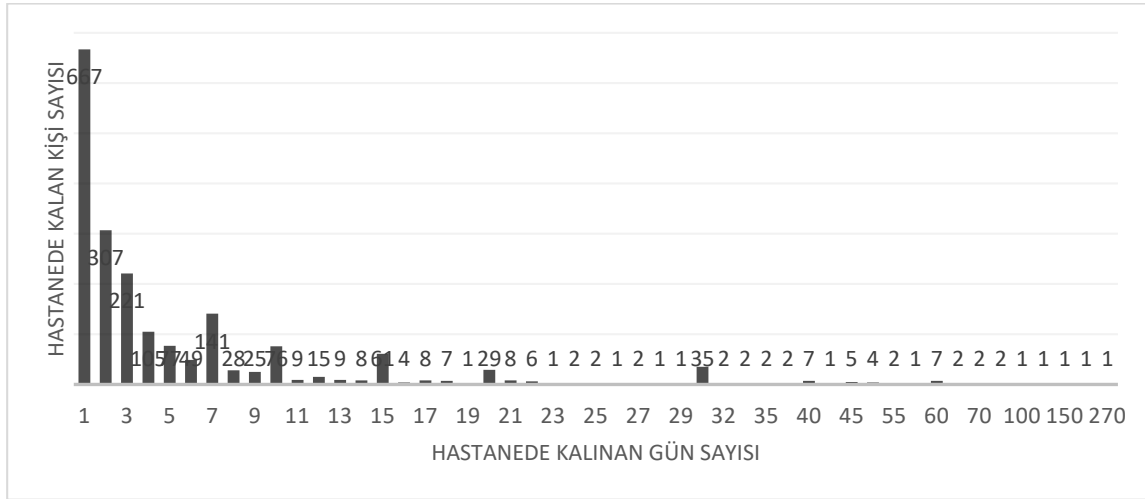
BULGULAR VE TARTIŞMA

2019 Türkiye Sağlık Araştırmasında amaç, ankete katılan kişilerin genel olarak sağlık profilinin ortaya çıkarılması ve buna ek olarak sağlık göstergelerine yönelik bilgilerin elde edilmesidir. Araştırma ile sağlık alanında 0-6, 7-14 ve 15 ve daha büyük yaşta kişiler için çeşitli göstergeler elde edilebilmektedir. Araştırmanın tasarımı Türkiye toplam bazında tahminler üretecek şekilde yapılmıştır.

Çizelge 3. Analizde kullanılan değişken listesi

Değişken Adı	Değişken Açıklaması
Hastanede Kalınan Gün Sayısı (bağımlı değişken)	Bireyin hastanede geçirdiği gece sayısı
Yaş	Kişinin yaşı
Kilo	Kişinin kilosu
Cinsiyet	Kişinin cinsiyeti
Genel sağlık durumu	Kişinin genel sağlık durumu

Bağımlı değişken olarak alınan "Hastanede kalınan gün sayısı" değişkeninin kişilere göre dağılımı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Gün Süresi Değişkeninin Dağılımı

Yapılan araştırma sonucunda bebek, çocuk ve yetişkinlerin sağlık durumuna ek olarak 15 ve daha büyük yaşta bireylerin sağlık hizmetinden yararlanma durumları, günlük aktivitelerini gerçekleştirirken yaşadıkları zorlukların derecesi buna ek olarak sigara ve alkol kullanma alışkanlıkları gibi göstergeler elde edilmektedir. Bu ankette örnek hacmi olarak 9470 haneye ve toplamda 26075 fert ile anket gerçekleştirilmiştir (Int Kyn. 1). Analiz R Studio programı kullanılarak yapılmıştır.

Çalışmada değişken seçimi sırasında konu ile ilgili yapılan araştırmalar incelenmiştir. İncelenen bu çalışmalardan yola çıkarak belirlenen analizde kullanılan değişkenler aşağıdaki Çizelge 3.'de verilmiştir.

Şekil 1 incelendiğinde hastanede 1 gece geçiren kişi sayısının 667 olduğu görülmektedir. 2 gece geçiren kişi sayısı 307 iken 270 gece geçiren kişi sayısının 1 olduğu görülmektedir.

Yukarıda bahsedilen Poisson model, negatif binom model ve Bell model veri setine uygulanmıştır. Modellerin veri setine olan uygunluğu Akaike Bilgi Kriteri (AIC) ve log olabilirlik (LL) değerleri incelenerek belirlenmiştir. Daha sonra belirlenen en iyi modele ait parametre tahminleri verilmiştir. Modellere ilişkin oluşan artıklar Pearson ve RQR artık türlerine göre hesaplanarak çizdirilmiştir.

Model Seçimi

Modellerin uygunluğunun karşılaştırılmasında AIC ve log olabilirlik(LL) değerlerine bakılmıştır. AIC değeri en küçük, LL değeri ise en büyük olan model tercih edilmiştir. Çizelge 4 incelendiğinde en düşük AIC ve en büyük LL değerine göre, Bell modelinin verilere diğer modellerden daha iyi uyum sağladığı görülmüştür.

Çizelge 4. Model uyum kriterleri

Model	AIC	LL
Bell regresyon	6546.984	-3265.492
Poisson regresyon	22668.66	-11326.33
Negatif Binom Regresyon	10934.73	-5458.363

Bell modele ilişkin parametre tahmin değerleri Çizelge 5’de verilmiştir:

Çizelge 5. Bell modele ilişkin parametre tahmin değerleri

Log Kısım	Tahmin Değeri	Standart Hata	Z değeri	P değeri	exp(β)
Sabit Terim	1.159	0.136	8.49	< 2.2e-16	3.18
Yaş	0.0092	0.0009	10.18	< 2.2e-16	1.009
Kilo	-0.005	0.0010	-5.09	3.435e-07	0.99
Cinsiyet(kadın)	-0.192	0.030	-6.40	1.486e-10	0.82
Genel sağlık durumu (iyi)	0.190	0.115	1.66	0.09665	1.21
Genel sağlık durumu (orta)	0.655	0.114	5.71	1.123e-08	1.92
Genel sağlık durumu (kötü)	1.052	0.116	9.01	< 2.2e-16	2.86
Genel sağlık durumu (çok kötü)	1.231	0.126	9.69	< 2.2e-16	3.42

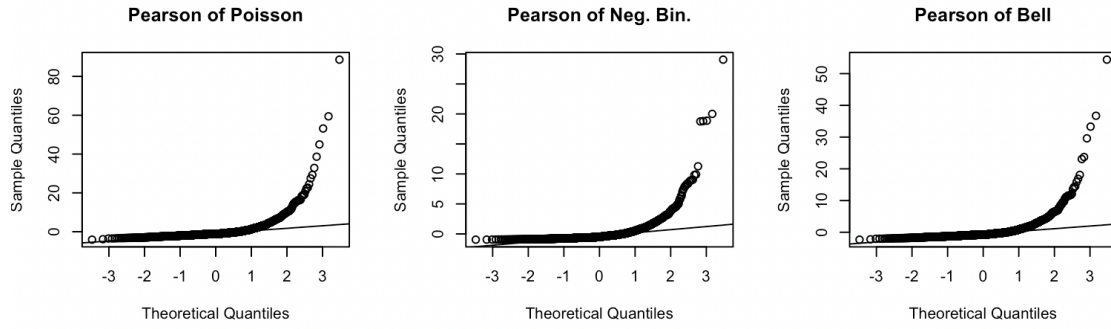
Kurulan regresyon modelinde genel sağlık durumu (iyi) dışında kalan bütün değişkenler anlamlı çıkmıştır ($p < 0.05$). Regresyon denklemi,

$$\mu = \exp(1.159 - 0.0092(\text{yaş}) - 0.005(\text{kilo}) - 0.192(\text{Kadın}) + 0.190 \text{ genel sağlık durumu (iyi)} + 0.655 \text{ genel sağlık durumu (orta)} + 1.052 \text{ genel sağlık durumu (kötü)} + 1.231 \text{ genel sağlık durumu (çok kötü)})$$

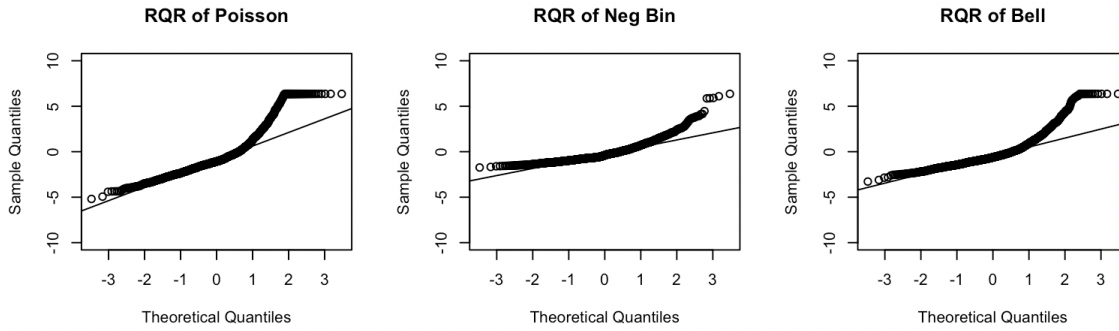
olarak elde edilmiştir. Hastanede kalış süresine yaşın pozitif yönde küçük bir etkisi görülmüştür. Her bir yaşlık artış hastanede bin de 9 daha fazla hastanede kalış süresiyle ilişkilidir. Hastanın cinsiyeti kadın olması hastanede yatış süresinde % 18 (1-0.82) 'lik bir azalma ile ilişkilidir. Diğer değişkenler sabit tutulduğunda, genel sağlık durumu iyi olanlar çok iyi olanlara göre 1.21 kat, genel sağlık durumu orta olanlar çok iyi olanlara göre 1.92 kat, genel sağlık durumu kötü olanlar çok iyi olanlara göre 2.86 kat ve genel sağlık durumu çok kötü olanlar çok iyi olanlara göre 3.42 kat oranında hastanede gece geçirmektedir.

Artıkların İncelenmesi

Bahsedilen üç regresyon modele ait çizilen Pearson ve RQR artıklara ilişkin QQ plotlar aşağıda verilmiştir. Bahsedilen uyum iyiliği ölçütleri sonucu Bell regresyonun veri setine daha iyi uyduğu görülmüştür. Artıklar sonucu elde edilen grafikler de uyum iyiliği testleri gibi verinin bahsedilen regresyon modellerine ne kadar uyum sağladığını göstermenin görsel bir yoludur. Bu çalışmada iki artık türünden bahsedilmiştir ve onlara ilişkin grafikler Şekil 2 ve Şekil 3 de verilmiştir.



Şekil 2. Poisson, negatif binom ve Bell regresyon modelleri için Pearson artıklara ait QQ grafikleri



Şekil 3. Poisson, negatif binom ve Bell regresyon modelleri için rasgele kantil artıklara ait QQ grafikleri

Şekil 2. 'de verilen QQ grafikleri incelendiğinde üç model arası seçim yapmak zordur. Çünkü üç model içinde plotlar birbirine oldukça benzerlik göstermektedir. Buradan da anlaşılacağı gibi Pearson artıkları kullanmak sayma regresyon modelleri için uygun değildir.

Şekil 3.' de verilen QQ grafiklerinde de görüldüğü gibi Bell modeli için QQ grafikleri, eğimli düz bir çizgi boyunca düşer ve diyagonal çizgiden sadece birkaç nokta hafifçe sapar, bu da RQR'lerin normal dağıldığını gösterir. Diğer modeller için QQ grafikleri incelendiğinde ise eğrilik ve boşluklar görülmektedir. Yani veri modele iyi bir şekilde uymamaktadır. Model uyum iyiliği sonucunda da görüldüğü gibi QQ grafikleri Bell modeli veri seti için daha uygun bir model olduğunu doğrulamaktadır.

SONUÇ

Hastaların hastanede kaldığı günlerin toplamı hastanede yatılan gün sayısını oluşturmaktadır. Bu nedenle, hastanede kalış süresi gün olarak ifade edilen sayma verisi tipinde bir değişkendir. Bu bağımlı değişken diğer açıklayıcı değişkenlerle birlikte genellikle literatürde Poisson ve negatif binom regresyon modelleriyle analiz edilmiştir. Bu makalenin amacı literatürde en çok kullanılan negatif binom ve Poisson regresyon modellerine yeni bir alternative olan Bell regresyon modeline dikkat çekmektir. Bell regresyon modelinin en önemli avantajı hem tek parametrelidir olması hem de aşırı yayılımı izin vermesiyle Poisson regresyon modelinin sınırlayıcı eşit yayılım varsayımını esnetebilmektedir. Ayrıca, negatif binom regresyonu iki parametrelidir olması sebebiyle daha fazla tahmin edilmesi gereken parametre ortaya çıkmaktadır. Bell regresyon modeli tek parametre ile aşırı yayılım problemine daha basit bir çözüm sunabilmektedir.

Yapılan bu analiz çalışmasında hastanede kalış süresine etki ettiği düşünülen faktörler olarak kilo, yaş, genel sağlık durumu ve cinsiyet değişkenleri alınmıştır. Veri setine en iyi uyum sağlayacak regresyon modeli model uyum kriterleri kullanarak belirlenmiştir. Bell regresyon modelinin bahsedilen diğer iki modele göre bu veri seti için daha iyi olduğu görülmüştür. Bell regresyon modeli oldukça yeni bir regresyon modelidir. Aynı şekilde RQR artıklarının sayma verilerinde kullanımı da yeni bir yaklaşımdır. RQR yaklaşımı kullanarak Bell modelinin veriye uyumunun incelenmesi literatür için bu

makaleyle yeni bir kazanım olacaktır. Bu nedenle yapılan bu çalışmanın sayma regresyon modellerine yeni bir bakış kazandırması açısından öncü olacağı düşünülmektedir.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

- Agresti A. (2002). *Categorical data analysis (Second Edition)*, New Jersey: Wiley & Sons Incorporation.
- Akdur H.T.K., Kılıç D., Bayrak H. (2023). Residual Diagnostic Methods for Bell-Type Count Models. (İncelemede)
- Altun, E. (2018). A new zero-inflated regression model with application. *İstatistikçiler Dergisi: İstatistik ve Aktüerya*, 11(2), 73-80.
- Avcı, E. (2018). Using Count Regression Models to Determine the Factors which Effects the Hospitalization Number of People with Schizophrenia. *Journal of Data Science*, 16(3), 511-528.
- Bell, E. T. (1934). Exponential numbers. *The American Mathematical Monthly*, 41(7), 411-419.
- Cameron A.C., Trivedi P.K. (2013). *Regression analysis of count data (Second Edition)*. New York: Cambridge University Press.
- Castellares, F., Ferrari, S. L., & Lemonte, A. J. (2018). On the Bell distribution and its associated regression model for count data. *Applied Mathematical Modelling*, 56, 172-185.
- Dunn, P. K., Smyth, G. K., Randomized quantile residuals, *J. Comput. Graph. Stat.*, 5 (3) (1996), 236–244.
- Durmuş, B., Güneri, Ö. İ., & İncekırık, A. (2021). Bireylerin Sigara Alışkanlıklarını Etkileyen Faktörlerin Belirlenmesi: Negatif Binom Regresyon Analizi. *Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 28(4), 717-730.
- Feng, C., Li, L., & Sadeghpour, A. (2020). A comparison of residual diagnosis tools for diagnosing regression models for count data. *BMC Medical Research Methodology*, 20(1), 1-21.
- Güneri, Ö. İ., & Durmuş, B. (2020). Aşırı ya da eksik yayılım durumunda poisson ve negatif binom regresyon modellerinin karşılaştırılması. *Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi*, 2(1), 48-66.
- Lee, I., & Buchner, D. M. (2008). The importance of walking to public health. *Medicine and science in sports and exercise*, 40(7), S512.
- Ozmen, I., & Famoye, F. (2007). Count regression models with an application to zoological data containing structural zeros. *Journal of Data Science*, 5(4), 491-502.
- Santos Nobre, J., & da Motta Singer, J. (2007). Residual analysis for linear mixed models. *Biometrical Journal: Journal of Mathematical Methods in Biosciences*, 49(6), 863-875.
- Sezgin FH, Deniz E. Poisson regresyon modelinde aşırı yayılım durumu ve negatif binomial regresyon analizinin Türkiye grev sayıları üzerine bir uygulaması. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Yönetim Dergisi* 2004;15(48):17-25.
- Sileshi G (2008). The excess-zero problem in soil animal count data and choice of appropriate models for statistical inference. *Pedobiologia* 52: 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2007.11.003>
- Tamar, M. (2013). Poisson Regresyonu. *Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ*.
- TUİK. (2019). Türkiye Sağlık Araştırması Haber Bülteni. URL: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Turkiye-Saglik-Arastirmasi-2019-33661>. (Erişim Tarihi: 26.07.2022).

To Cite: Bulut, S. & Yiğider, M. (2023). Investigation of solutions of β –conformable fractional ordinary differential equation with artificial neural network. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 1266-1274.

Investigation of Solutions of β –conformable Fractional Ordinary Differential Equation With Artificial Neural Network

Sadullah BULUT^{1*}, Muhammed YİĞİDER¹

Highlights:

- The neural network method was applied to systems of both fractional single ODEs and fractional coupled ODEs.
- Obtained results can be compared with different fractional derivative definitions.
- For numerical solutions of fractional differential equations, the topological structure of the feed forward artificial neural network was obtained.

Keywords:

- NeuralNetwork Method
- Numerical Solutions
- Fractional Differential Equations

ABSTRACT:

In this study, we present a method in order to get initial value fractional differential equations with artificial neural networks. On the basis of the function approach of feedforward neural networks, this method is a general method that is written in an implicit analytical form and results in the creation of a differentiable solution. The first part of the created trial solution which is stated as the sum of the two parts, with no controllable parameters, gives the initial conditions. The second part, unaffected by the initial conditions, consists of a feedforward neural network with controllable parameters (weights). The applicability of this approach is demonstrated in systems of both fractional single ODEs and fractional coupled ODEs.

¹ Sadullah BULUT ([Orcid ID: 0000-0001-5026-6534](https://orcid.org/0000-0001-5026-6534)), Muhammed YİĞİDER ([Orcid ID: 0000-0003-4255-5760](https://orcid.org/0000-0003-4255-5760)), Erzurum Teknik University Faculty of Science, Department of Mathematics, Erzurum, Türkiye

Corresponding Author: Sadullah BULUT, e-mail: sadullah.bulut@erzurum.edu.tr

INTRODUCTION

Fractional differential equations are widely benefited as generalizations of traditional differential equations in order to describe different complex phenomena in many fields such as diffusion of chemical kinematics, biological populations, plasma physics, solid state physics, signal processing, optical fiber, electricity etc. Therefore, a lot of efficient methods including generalized darbox transformation (Yang et al., 2022), galerkin finite element (Esen et al., 2013), exponential multistep methods (Zhan et al., 2022), variational iteration (Ain et al., 2022), sumudu transform (Karatas Akgül & Akgül, 2022), first integral method (Akinyemi et al., 2022), Wronskian determinant (Tang et al., 2021), modified exponential function (Tian & Liu, 2021), the modified auxiliary expansion (Akram et al., 2022), Adomian's decomposition (Kumar, 2022), inverse scattering (Gao et al., 2022), homotopy perturbation (Kocak et al., 2014), generalized Exp-function method (Shakeel et al., 2022) or modified trial equation method (Aderyani et al., 2022) have been given in previous studies in the literature.

Due to the wide range of usage areas, in this article we look at many of the methods presented so far for the solution of fractional differential equations from a different perspective. In our study, we present a general method based on the function approach of feedforward neural networks, which is written in a closed analytical form and results in the creation of a differentiable solution. This form uses a feedforward neural network whose parameters (weights and biases) are adjusted to minimize the error value as the basic approximation element (Lee & Kang, 1990). We use optimization techniques to train the network calling for the calculation of the gradient of the error according to the network parameters, respectively. Here the solution is stated as the sum of two parts: the first part gives the initial conditions and does not include any controllable parameters. The second part includes a feedforward neural network to be trained to give the differential equation. For being conscious of that a multilayer perceptron with a hidden layer can draw up any function to arbitrary accuracy, it is logical to think such a network architecture as a prospective model for handling differential equations.

When the literature on artificial neural networks is examined; it has been seen that neural networks are used to get approximate serial solutions of initial value ordinary differential equations with fractional degrees over a limited area (Jafarian et al., 2017), to parameterize the derivative of the hidden state using a neural network instead of specifying a separate set of hidden layers (Chen et al., 2018), to develop the legendre neural network method to solve linear and non-linear ordinary differential equations and the system of equations (Yang et al., 2018) and to create a partial differential equation solver based on collocation points and for the function approximation (Liu et al., 2019). In some of the studies, it has been mentioned that deep artificial neural networks can provide better accuracy for fewer network points to solve systems of ordinary differential equations, the moment minimization method and a vectorized algorithm are demonstrated applying it by Python (Dufera, 2021) and the neural network approach that simulates the behavior of partial differential equation systems using neural networks (Omidi et al., 2022).

Since artificial neural networks learn through examples, no prior knowledge is needed to understand the relationship of parameters in a complex problem. The relationships between the parameters on which the problem depends may not be linear. However, when the traditional method is used to solve the problem, certain points are approached linearly. This increases the fault tolerance for the system whose behavior we want to determine. Whether the relationships in artificial neural networks are linear or not is not a situation that needs to be focused in order to reach the desired system. The non-linearity of processes in artificial neural networks spreads this feature to the entire network structure, and this feature of artificial neural networks provides convenience for solving complex nonlinear problems. Neural networks can be retrained when new information emerges and data changes. Even if

some cells of artificial neural networks break down and become inoperable, the network continues to work. However, it can be said that artificial neural networks have fault tolerance, since the performance of the network may decrease depending on the importance of the damaged cells.

In the article, the important properties of the β –conformable fractional derivative will be mentioned, the structure of the artificial neural network will be explained and its applicability to the initial value problem for the β –order β –conformable fractional differential equation will be examined.

MATERIALS AND METHODS

The beginning of artificial neural networks has started with people's interest in neurobiology and their application to computer science. Artificial neural networks (Neural Networks-NNs) are computer systems inspired by biological nervous systems, developed with the aim of automatically performing abilities such as deriving new information and creating new information through learning being one of the features of the human brain without any assistance.

Artificial nerve cells are also called as process elements in engineering science. Each process element has five basic components. These elements are;

Inputs: The information that artificial neurons (processing elements) receive as inputs, is defined by the instances that the neural network purposes to learn from.

Weights: Weights show the effect of information coming into an artificial cell on the cell. The fact that the weights are large or relatively small does not indicate that the information is important or unimportant. Weights can change or take fixed values.

Addition Function: The net input to a cell is determined by the addition function. This is accomplished using several functions. The most frequent method is to compute the weighted sum. Here, each incoming input value is multiplied by its respective weight to determine the network's net input.

Activation Function: This function determines the net input to the cell and determines the corresponding output that the cell will produce as a result of this input. Various functions are used to calculate the output, however one of the most frequently used as activation function is the sigmoid function.

$$\begin{aligned}\sigma(x) &= \frac{1}{1 + e^{-x}} \\ \sigma' &= -\sigma^2 + \sigma \\ \sigma'' &= 2\sigma^3 - 3\sigma^2 + \sigma \\ \sigma''' &= -6\sigma^4 + 12\sigma^3 - 7\sigma^2 + \sigma \\ \sigma^{(4)} &= 24\sigma^5 - 60\sigma^4 + 50\sigma^3 - 15\sigma^2 + \sigma \\ &\vdots \\ &\vdots \\ &\vdots\end{aligned}$$

Output of the Cell: The value determined by the activation function, the output produced is transmitted to the outside world or to another cell.

For $x = x_0 = a$, where $x \in [a, b]$,

$$\begin{aligned}{}^A D_x^\beta y &= f(x, y(x)), \\ {}^A D_x^\beta(x_0) &= y_0\end{aligned}$$

Is the initial value problem for the β –order β –conformable fractional differential equation. Let the parameters of the feedforward artificial neural network be $\vec{p} = \vec{p}(\vec{\alpha}, \vec{\beta}, \vec{w})$ with $\vec{\alpha}$, $\vec{\beta}$ and $\vec{w} \in R$, where n is the total number of inputs and m is the number of neurons in the interlayer. For $j = 1, 2, \dots, n$ the output of the neural network at the point $x_j \in [a, b]$ is shown as $NN(x_j, \vec{p})$ for the \vec{p} parameter values. In general, the points acquired from the fragmentation of the interval $[a, b]$ such that $x_j = a + j \cdot h$ for a fixed step length of $h > 0$ are used for training the network.

For the solution of the given initial value problem, the trial function that satisfies the initial conditions depending on the artificial neural network's output can be expressed as

$$y_T(x, \vec{p}) = y_0 + (x - x_0)NN(x; \vec{p})$$

As seen in Figure 1; for $i = 1, 2, 3, \dots, m$, z_i represents i . neuron in the middle layer, with m indicating the number of neurons in the middle layer. For input x_i , the output of the z_i neuron is calculated as $z_i = w_i x_i + \beta_i$ when w_i is the weight and β_i is the threshold. The output of each neuron is weighted after processing with the activation function. The sum of the weighted outputs is determined as the output of the neural network. That is, when $\vec{p} = \vec{p}(\vec{\alpha}, \vec{\beta}, \vec{w})$ represents the unknown parameters of the network, the weighted sum value is attained with

$$NN(t_j, \vec{p}) = \sum_{i=1}^m \alpha_i \sigma(z_i)$$

This constitutes the output of the feedforward neural network. The error function that must be diminished is as follows:

$$E(p) = \sum_{i=1}^m \left\{ {}_0^A D_x^\beta (y_T(x, \vec{p}) - f[x_i, y_T(x, \vec{p})]) \right\}^2$$

Here, $\{x_i\}_{i=1}^m$ are some arbitrary discrete points in the range $[a, b]$. Our purpose is to minimize the error function to solve the differential equation. μ is the learning coefficient, which usually takes a value between 0 and 1; Gradient Descent Algorithm is used to update α_i , w_i ve β_i values for $i = 1, 2, \dots, n$. In this approach, parameter values are updated to

$$\begin{aligned} \alpha_i &= \alpha_i - \mu \frac{\partial E}{\partial \alpha_i} \\ w_i &= w_i - \mu \frac{\partial E}{\partial w_i} \\ \beta_i &= \beta_i - \mu \frac{\partial E}{\partial \beta_i} \end{aligned}$$

respectively.

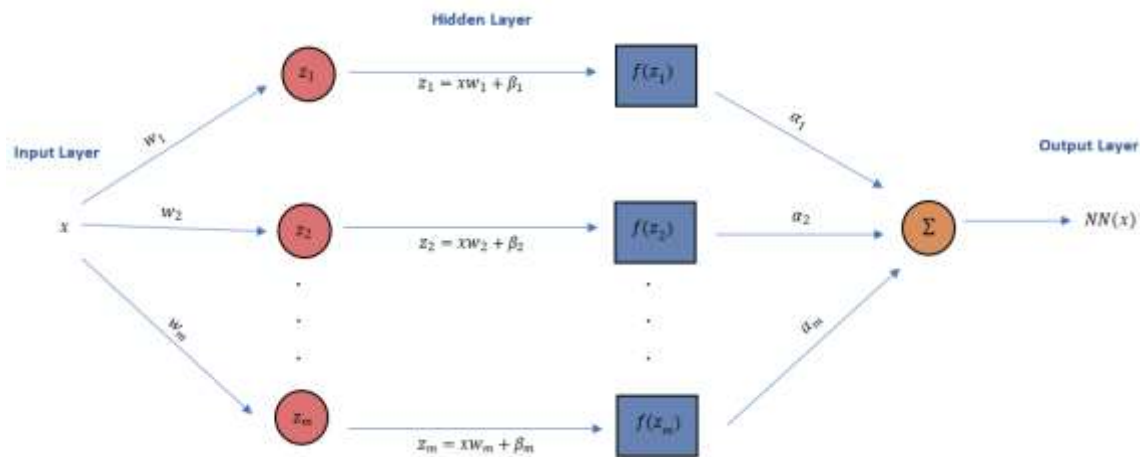


Figure 1. Topological structure of feedforward artificial neural network for numerical solutions of fractional differential equations

Definition 1. Let $a \in \mathbb{R}$ and f be a function, such that, $f: [a, \infty) \rightarrow \mathbb{R}$. Then, the β –derivative of f is defined as:

$${}^A_0D_x^\beta \{f(x)\} = \begin{cases} \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{f\left(x + \varepsilon \left(x + \frac{1}{\Gamma(\beta)}\right)^{1-\beta}\right) - f(x)}{\varepsilon}, & 0 \leq x \quad 0 < \beta \leq 1 \\ f(x), & 0 \leq x \quad \beta = 0 \end{cases}$$

where f is a function such that $f: [0, \infty) \rightarrow \mathbb{R}$ and the gamma-function

$$\Gamma(\beta) = \int_0^{\infty} x^{\beta-1} e^{-x} dx$$

If the above limit of exists, then f is said to be β –differentiable. Note that for $\beta = 1$, we have ${}^A_0D_x^\beta f(x) = \frac{d}{dx} f(x)$ (Atangana, 2015). Moreover, unlike other fractional derivatives, the β –derivative of a function can be locally defined at a certain point, the same way like first-order derivative.

Some important properties of the β –conformable fractional derivative are:

$${}^A_0D_x^0 f(x) = 0$$

$${}^A_0D_x^\beta (\alpha f(x) + \mu g(x)) = \alpha {}^A_0D_x^\beta f(x) + \mu {}^A_0D_x^\beta g(x)$$

$${}^A_0D_x^\beta ((f \circ g)(x)) = {}^A_0D_x^\beta (f(g(x))) g'(x)$$

$${}^A_0D_x^\beta (f^{-1}(x)) = -\frac{{}^A_0D_x^\beta (f(x))}{f^2(x)}$$

$${}^A_0D_x^\beta (f(x)g(x)) = {}^A_0D_x^\beta (f(x))g(x) + {}^A_0D_x^\beta (g(x))f(x)$$

$${}^A_0D_x^\beta \left(\frac{f(x)}{g(x)}\right) = \frac{{}^A_0D_x^\beta (f(x))g(x) - {}^A_0D_x^\beta (g(x))f(x)}{g^2(x)}$$

Definition 2. Given that $f: [a, b] \rightarrow R$ is a continuous function on the closed interval $[a, b]$, then, the 2α –derivative of f is described as the following:

$${}_0D_x^{2\beta}(f(x)) = {}_0D_x^\beta\left({}_0D_x^\beta(f(x))\right), \quad 0 \leq \beta \leq 1$$

The $n\beta$ –derivative of f is typically stated as:

$${}_0D_x^{2\beta}(f(x)) = {}_0D_x^\beta\left({}_0D_x^{(n-1)\beta}(f(x))\right), \quad 0 \leq \beta \leq 1$$

Remark 1. Pointing out that the $n\beta$ –derivative of a given function gives information of the $(n - 1)$ –derivatives coming before it, is very crucial.

As an example of:

$${}_0D_x^{2\beta}(f(x)) = \left(x + \frac{1}{\Gamma(\beta)}\right)^{1-\beta} \left[(1-\beta) \left(x + \frac{1}{\Gamma(\beta)}\right)^{-\beta} f' + \left(x + \frac{1}{\Gamma(\beta)}\right)^{1-\beta} f'' \right]$$

As a result, it provides this derivative an unsurpassed memory characteristic that no other derivative has. Furthermore, it is simple to illustrate that we attain the second derivative of f if $\beta = 1$.

RESULTS AND DISCUSSION

In this section, an application problem is solved in an attempt to illustrate the technique recommended in the previous section. With the enema solution acquired by the method, it converges to the exact solution and is completely stable. In order to demonstrate the behavior and features of the recommended method, we perform experiments on the following problem. All of the programs are written by Jupyter Notebook 6.4.8.

$${}_0D_x^\beta y + y = x^2 + 2x \sqrt{x + \frac{1}{\pi}}$$

with

$${}_0D_x^\beta y(0) = 0 \quad \beta = \frac{1}{2}$$

and $x \in [0,1]$. The analytic solution which is depicted in Figure 2 is $y(x) = x^2$. The solution's trial neural form is presumed to be as follows, in accordance with equation (1):

$$u_T(x, \vec{p}) = xNN(x; \vec{p})$$

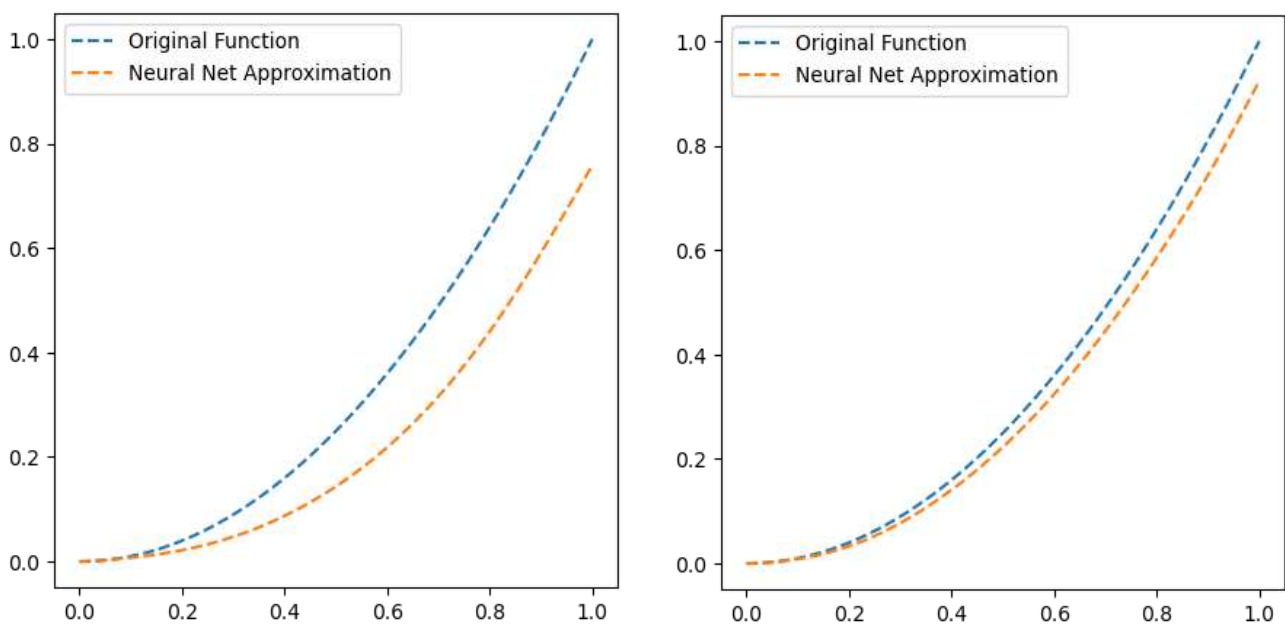
Values in the range $[0,1]$ consisting of 10 equal points are used to perform the training of the network. Also, the deviation of the approximate solution from the exact solution is presented in Figure 2. Despite the fact that only a few points have been utilized in the training, it is obvious that the solution is excellent accuracy. Additionally, for locations near to the equation field, the extrapolation error continues to be minimal.

The results attained with an ANN method in which the parameters are optimized using a gradient descent backpropagation algorithm to solve the β –order β –conformable fractional differential equation are visualized below.

Table 1. Comparison of the numerical solution got by artificial neural networks with the exact solution

Input Data	$u_{T_1}(x, \vec{p})$	$u_{T_1}(x, \vec{p})$	$u_{T_2}(x, \vec{p})$	$u_{T_2}(x, \vec{p})$	$y(x)$
0	0	0	0	0	0
0.01	0.0006702795	$0.67x10^{-3}$	0.00022911071	$0.22x10^{-3}$	$0.1x10^{-3}$
0.02	0.0014052297	$1.40x10^{-3}$	0.0005400422	$0.54x10^{-3}$	$0.4x10^{-3}$
0.03	0.00221075	$2.21x10^{-3}$	0.00094771583	$0.94x10^{-3}$	$0.9x10^{-3}$
0.04	0.003093045	$3.09x10^{-3}$	0.0014672052	$1.46x10^{-3}$	$1.6x10^{-3}$
0.05	0.0040586004	$4.05x10^{-3}$	0.0021132813	$2.11x10^{-3}$	$2.5x10^{-3}$
0.06	0.0051141502	$5.11x10^{-3}$	0.0028998812	$2.89x10^{-3}$	$3.6x10^{-3}$
0.07	0.006266749	$6.26x10^{-3}$	0.003839688	$3.83x10^{-3}$	$4.9x10^{-3}$
0.08	0.007523658	$7.52x10^{-3}$	0.0049438733	$4.94x10^{-3}$	$6.4x10^{-3}$
0.09	0.0088923415	$8.89x10^{-3}$	0.0062217684	$6.22x10^{-3}$	$8.1x10^{-3}$
0.10	0.010380539	$10.3x10^{-3}$	0.0076808045	$7.68x10^{-3}$	$10x10^{-3}$

The graphs of the exact solution $y(x) = x^2$ and the numerical solution of $u_T(x, \vec{p})$ for different training steps (10^3 and 10^6) in the $[0,1]$ range are demonstrated in Figure 2.

**Figure 2.** Comparison of the numerical solution acquired with artificial neural networks and the exact solution in the range of $[0,1]$

The biggest disadvantage of classical methods is that the solution sought in a certain interval is found only at the nodes attained from the fragmentation of the specified interval. Interpolation techniques are generally used to have the numerical solution of the differential equation at points other than the nodal points. However, this approach results in increased cumulative error. On the contrary, in the neural network in our example, the nodes got from the fragmentation of the gap are used only for the training of the network. In addition, after completing the network training in Figure 2, it is seen that it produces a solution at every point on the range.

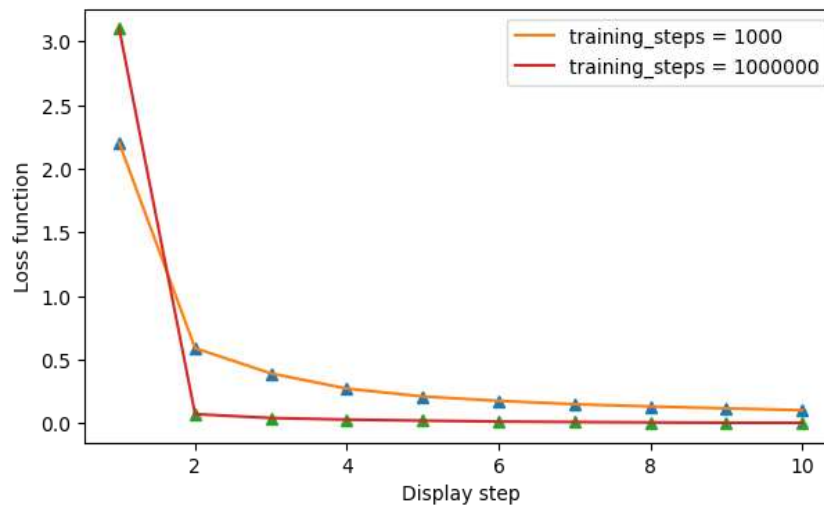


Figure 3. Loss function change according to different training steps values

CONCLUSION

In the article, the β –conformable fractional derivative, the structure of the artificial neural network and to get the solution of the initial value problem for the β –order β –conformable fractional differential equation were discussed. The originality of the study was achieved by getting the solutions of differential equations intuitively with computers without using theoretical methods. It was observed that there is no common artificial neural network structure in the numerical solutions of the differential equations, since different types of trial functions must be used, including the solution of the artificial neural network and satisfying the initial or boundary conditions of the differential equation. It is thought that the results of the current study got with different fractional derivative definitions can be compared and transferred to deep learning, which is a sub-branch of machine learning.

Conflict of Interest

The article authors declare that there is no conflict of interest between them.

Author's Contributions

The authors declare that they have contributed equally to the article.

REFERENCES

- Aderyani, S. R., Saadati, R., Vahidi, J., & Allahviranloo, T. (2022). The exact solutions of the conformable time-fractional modified nonlinear Schrödinger equation by the Trial equation method and modified Trial equation method. *Advances in Mathematical Physics*, 2022.
- Ain, Q. T., Nadeem, M., Karim, S., Akgül, A., & Jarad, F. (2022). Optimal variational iteration method for parametric boundary value problem. *AIMS Mathematics*, 7(9), 16649-16656.
- Akinyemi, L., Mirzazadeh, M., Amin Badri, S., & Hosseini, K. (2022). Dynamical solitons for the perturbed Biswas–Milovic equation with Kudryashov's law of refractive index using the first integral method. *Journal of Modern Optics*, 69(3), 172-182.
- Akram, G., Sadaf, M., & Zainab, I. (2022). The dynamical study of Biswas–Arshed equation via modified auxiliary equation method. *Optik*, 255, 168614.
- Atangana, A. (2015). *Derivative with a new parameter: Theory, methods and applications*. Academic Press.

- Chen, T. Q., Rubanova, Y., Bettencourt, J., & Duvenaud, D. (2018). Neural ordinary differential equations, in ‘Advances in neural information processing systems La Jolla.
- Dufera, T. T. (2021). Deep neural network for system of ordinary differential equations: Vectorized algorithm and simulation. *Machine Learning with Applications*, 5, 100058.
- Esen, A., Ucar, Y., Yagmurlu, N., & Tasbozan, O. (2013). A Galerkin finite element method to solve fractional diffusion and fractional diffusion-wave equations. *Mathematical Modelling and Analysis*, 18(2), 260-273.
- Gao, Y., Liu, H., Wang, X., & Zhang, K. (2022). On an artificial neural network for inverse scattering problems. *Journal of Computational Physics* 448, 110771.
- Jafarian, A., Mokhtarpour, M., & Baleanu, D. (2017). Artificial neural network approach for a class of fractional ordinary differential equation. *Neural Computing and Applications*, 28(4), 765-773.
- Karatas Akgül, E., & Akgül, A. (2022). New applications of Sumudu transform method with different fractional derivatives. *International Journal of Applied and Computational Mathematics*, 8(5), 1-12.
- Kocak, Z. F., Bulut, H., & Yel, G. (2014). The solution of fractional wave equation by using modified trial equation method and homotopy analysis method. *In AIP Conference Proceedings*, 1637(1), 504-512.
- Kumar, M. (2022). Recent development of Adomian decomposition method for ordinary and partial differential equations. *International Journal of Applied and Computational Mathematics*, 8(2), 1-25.
- Lee, H., & Kang, I. S. (1990). Neural algorithm for solving differential equations. *Journal of Computational Physics*, 91(1), 110-131.
- Liu, Z., Yang, Y., & Cai, Q. (2019). Neural network as a function approximator and its application in solving differential equations. *Applied Mathematics and Mechanics*, 40(2), 237-248.
- Omidi, M., Arab, B., Rasanan, A. H., Rad, J. A., & Parand, K. (2022). Learning nonlinear dynamics with behavior ordinary/partial/system of the differential equations: looking through the lens of orthogonal neural networks. *Engineering with Computers*, 38(2), 1635-1654.
- Shakeel, M., El-Zahar, E. R., Shah, N. A., & Chung, J. D. (2022). Generalized Exp-Function Method to Find Closed Form Solutions of Nonlinear Dispersive Modified Benjamin–Bona–Mahony Equation Defined by Seismic Sea Waves. *Mathematics*, 10(7), 1026.
- Tang, Y., Ma, J., Zhou, B., & Zhou, J. (2021). From 2Mth-order wronskian determinant solutions to Mth-order lump solutions for the (2+1)-Dimensional Kadomtsev–Petviashvili I equation. *Wave Motion*, 104, 102746.
- Tian, Y., & Liu, J. (2021). A modified exp-function method for fractional partial differential equations. *Thermal Science*, 25(2 Part B), 1237-1241.
- Yang, D. Y., Tian, B., Hu, C. C., & Zhou, T. Y. (2022). The generalized Darboux transformation and higher-order rogue waves for a coupled nonlinear Schrödinger system with the four-wave mixing terms in a birefringent fiber. *The European Physical Journal Plus*, 137(11), 1-11.
- Yang, Y., Hou, M., & Luo, J. (2018). A novel improved extreme learning machine algorithm in solving ordinary differential equations by Legendre neural network methods. *Advances in Difference Equations*, 2018(1), 1-24.
- Zhan, R., Chen, W., Chen, X., & Zhang, R. (2022). Exponential Multistep Methods for Stiff Delay Differential Equations. *Axioms*, 11(5), 185.

Atf İçin: Kaya, Ö.A., Taşdemir, M., Çıtak, T., Tozkoparan, S. ve Birol, F. (2023). Bakır Alaşım Takviyesinin Polietilen ve Polipropilen Polimerlerinin Mekanik ve Mikrobiyal Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 1275-1286.

To Cite: Kaya, Ö.A., Taşdemir, M., Çıtak, T., Tozkoparan, S. & Birol, F. (2023). Investigation of the Effect of Copper Alloy Reinforcement on Mechanical and Microbial Properties of Polyethylene and Polypropylene Polymers *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 1275-1286.

Bakır Alaşım Takviyesinin Polietilen ve Polipropilen Polimerlerinin Mekanik ve Mikrobiyal Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi

Ömer Alparslan KAYA^{1,2}, Münir TAŞDEMİR^{3*}, Talip ÇITAK², Serdar TOZKOPARAN², Feriha BİROL²

Öne Çıkanlar:

- Polimer kompozit
- Bakır alaşımı
- Mikrobiyal etki

ÖZET:

Polimer malzemeler kolay şekillendirilmeleri, geri dönüşümleri, yeniden kullanımları ve güçlü karakteristik özellikleri ile uygun maliyetli olmaları nedenleriyle otomotiv, makine, havacılık ve medikal gibi birçok sektörde kullanılmaktadır. Polimer malzemelerin termal, mekanik ve elektriksel iletkenlik gibi özellikleri, bu malzemelerin polimer-metal, polimer-polimer, polimer-lif kompozitleri olarak kullanılmasıyla geliştirilmiştir. Bu polimer kompozitleri birçok özel uygulamada kullanılmak için tercih edilir. Bakır ve gümüş gibi metaller, antibakteriyel özelliklere sahip metaller olarak bilinir. Bu nedenle çeşitli antibakteriyel uygulamalarda kullanılırlar. Bununla birlikte, bu metallerin nispeten yüksek maliyeti kullanımlarını sınırlar. Bu çalışmada, sağlık sektöründe yaygın olarak kullanılan Polietilen ve Polipropilen matrisin mekanik ve antibakteriyel özelliklerine belirli oranlarda bakır alaşımli tozların eklenmesinin etkisi araştırılmıştır. Matris olarak polietilen ve polipropilen kullanılmıştır. Takviye bakır alaşım bakır-krom-zirkonyum (CuCrZr) toz partikülleri ağırlıkça %0.5-1-3 ve 5 oranında eklenmiştir. Malzemeler çift vidalı ekstrüderde karıştırılarak granül haline getirilmiştir. Daha sonra enjeksiyon makinası ile test numuneleri basılmıştır. Kalıplanan numunelere; çekme, sertlik, darbe, yoğunluk ve antimikrobiyal testler yapılmıştır. Testlerin sonuçları incelenerek bakır alaşım miktarının polietilen ve polipropilen üzerindeki etkileri belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler:

- Polietilen
- Polipropilen
- Bakır tozu
- Antimikrobiyal etki

Investigation of the Effect of Copper Alloy Reinforcement on Mechanical and Microbial Properties of Polyethylene and Polypropylene Polymers

Highlights:

- Polymer composites
- Copper alloy
- Microbial effect

ABSTRACT:

Polymer materials are used in many sectors such as automotive, machinery, aviation and medical due to their easy forming, recycling, reuse and strong characteristic properties with their affordable cost. The properties of polymer materials such as thermal, mechanical and electrical conductivity can be improved by using these materials as polymer-metal, polymer-polymer, polymer-fiber composites. This makes polymer composites the preferred material for many specific applications. Metals such as copper and silver are known as metals with antibacterial properties. Therefore, they are used in various antibacterial applications. However, the relatively high cost of these metals limits their use. In this study, the effect of the addition of some copper alloy powders in specific ratios to the antibacterial properties of Polyethylene and Polypropylene matrix, which are used extensively in the health sector, was investigated. Polyethylene and polypropylene were used as matrix materials. Reinforced copper alloy copper-chrome-zirconium (CuCrZr) powder particles were added at a rate of 0.5-1-3 and 5% by machine. Molded samples; Tensile, hardness, impact, density and antimicrobial tests were performed. The results of the tests were examined and the effects of copper alloy amount on polyethylene and polypropylene were determined.

Keywords:

- Polyethylene
- Polypropylene
- Copper powder
- Antimicrobial effect

^{1,2} Ömer Alparslan KAYA ([Orcid ID: 0000-0003-2070-2723](https://orcid.org/0000-0003-2070-2723)), Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 34722 İstanbul, Türkiye

² Talip ÇITAK ([Orcid ID: 0000-0002-5964-5423](https://orcid.org/0000-0002-5964-5423)), Sağlam Metal San. ve Tic. A.Ş., Kocaeli, 41420 İstanbul, Türkiye

² Serdar TOZKOPARAN ([Orcid ID: 0000-0003-1947-1948](https://orcid.org/0000-0003-1947-1948)), Sağlam Metal San. ve Tic. A.Ş., Kocaeli, 41420 İstanbul, Türkiye

² Feriha BİROL ([Orcid ID: 0000-0003-0531-6015](https://orcid.org/0000-0003-0531-6015)), Sağlam Metal San. ve Tic. A.Ş., Kocaeli, 41420 İstanbul, Türkiye

³ Münir TAŞDEMİR ([Orcid ID: 0000-0001-8635-7251](https://orcid.org/0000-0001-8635-7251)), Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü 34722 İstanbul, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Münir TAŞDEMİR, e-mail: munir@marmara.edu.tr

GİRİŞ

Artan nüfus ve ihtiyaçlar nedeniyle endüstriyel ürünlerin kullanımı da artmaktadır. Endüstriyel ürünler birçok sektörde (havacılık, otomotiv, makine, medikal, ambalaj, beyaz eşya) insanlığa hizmet etmek ile birlikte artan ihtiyaçlar gelişen teknolojiye alternatif ürünlerin geliştirmesine yol açmasına sebep oldu. Polimer malzemeler özellikle üretim kolaylığı ve tekrar kullanımının mümkün olması ve üretim maliyetlerinin düşük olması nedenleriyle tercih edilmektedir. Ancak polimerik malzemeler mekanik ve fiziksel özellikleri sebebiyle yetersizlik göstermektedir. Polimer ürünlerin karakteristik özelliklerini geliştirmek için çeşitli metal, seramik, lif vb. malzemeler ile ilave yaparak kompozit ürünler geliştirilmektedir. Bu sayede servis şartlarının ihtiyaçlarını karşılayabilmektedir (Berlin ve ark., 1986; Rusu ve ark., 2001; Zhu ve ark., 2003; Cheang ve ark., 2003; Brostow ve ark., 2008).

Metal-polimer kompozitler, polimer matris içerisine metal toz ilavesi ile servis şartlarında istenilen özellikler elde edilmesini sağlar (Paharenko ve ark., 1986; Kilik ve ark., 1989; Rusu ve ark., 2001). İlave malzemenin matris özelliklerinin paslanmazlık, dayanıklılık, sertlik, mikrobiyal davranış gibi özellikleri için uygulama alanlarında kullanımı mümkün kılmaktadır (Tavman 1997; Rusu ve ark., 1999; Kuleznev ve ark., 2013; Prorokova ve ark., 2014.). İlave malzemenin hacimsel oranı, partikül şekli yani toz, parçacık veya lif halinde olması mekanik özelliklerini etkiler (Mamunya ve ark., 2004). N. P. Prorokova ve arkadaşları polietilene farklı metal tozları ilave ettiklerinde polimer kompozitinin mekanik özelliklerinin değiştiğini tespit etmişlerdir (Prorokova ve ark., 2014). M. Taşdemir ve arkadaşları yapmış oldukları bir çalışmada polistiren içerisine hacimce %5-10 ve 15 oranlarında demir tozları ilave ederek bir polimer kompoziti elde etmişler ve bu kompozitinin fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Demir tozu oranının artmasıyla sertlik ve erime akış indeksi değerlerinin yükseldiğini buna karşılık çekme ve akma mukavemeti, % uzama, darbe değerlerinin ise düştüğünü belirlemişlerdir (Taşdemir ve ark., 2006). Yazarlar bir diğer çalışmada ise HDPE, PP ve PS içerisine kattıkları demir tozlarının ilavesi yapmışlar ve demir tozu oranının artmasıyla sertlik ve erime akış indeksi değerlerinin yükseldiğini buna karşılık çekme ve akma mukavemeti, % uzama, darbe değerlerinin ise düştüğünü belirlemişlerdir (Taşdemir ve ark., 2008).

H.Ö.Gülsoy ve arkadaşları polipropilen içerisine demir tozları katarak elde ettikleri polimer kompozitinde demir tozlarının oranının artmasıyla Akma ve çekme mukavemeti ve %uzama değerlerinin düştüğünü buna karşılık sertlik değerlerinin ise arttığını belirlemişlerdir (Gülsoy ve ark., 2007). Yine H.Ö.Gülsoy ve arkadaşları akrilonitril bütadien stiren polimerine bronz tozları katarak elde ettikleri polimer kompozitinde, bronz tozlarının ilavesiyle erime akış indeksi, akma ve çekme mukavemeti,% uzama ve darbe mukavemeti değerlerinin düştüğünü buna karşılık sertlik değerinin ise arttığını tespit etmişlerdir (Gülsoy ve ark., 2007). Polimer içerisine metal toz ilavesi anti-mikrobiyal malzeme üretiminin bir yoludur. Bu yöntem ile metal iyon salınımı ile elde edilen kompozit ürününde iyon salınımı sağlanması ile anti-mikrobiyal özellikler kazandırılmaktadır (Zhang ve ark., 2006; Kenawy ve ark., 2007; Damm ve ark., 2008). K. Delgado ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada polipropilen matris içerisine bakır oksit parçacıklar ilave edilerek E.coli bakterisine karşı mikrobiyal etkinlik testi sonuçları incelenerek elde edilen kompozitin 4 saat süre ile teması ile bakterilerin %95'ini öldürdüğünü belirlemişlerdir (Delgado ve ark., 2011). Rajeev Kumar Sharma ve arkadaşlarının ZnO partikül ekleyerek yaptıkları HDPE matris kompozitinin bakteri kültürü içerisindeki mikrobiyal etkinliği incelenmiş ve ZnO iyonlarının bakteri kültürünün azalmasına sebep olduğunu belirlemişlerdir (Sharma ve ark., 20126). Bu çalışmada endüstriyel olarak birçok malzemede kullanılan polietilen (PE) ve polipropilen (PP) polimerlerine anti-mikrobiyal etkinliğini artırmak için bakır tozu ilavesi 0.5-1-3 ve 5 oranlarında eklenerek mekanik özelliklerini kaybetmeden anti-mikrobiyal etkinlikleri incelenmiştir.

MATERYAL VE METOT

Kompozisyon Malzemeler

Toz halindeki bakır, polietilen ve polipropilen içerisine farklı oranlarda eklenerek 10 farklı grup hazırlanmıştır. Aşağıdaki Tablo 1’de elde edilen kompozitinin karışım oranları verilmiştir. Polietilen ve polipropilen malzemeler plaka halinde temin edilerek Ant Kalıp San. ve Tic. A.Ş.’de 1-5 mm ölçülerinde kırılmıştır. Bakır tozu CNPC Powder Group Co., Ltd. firmasından tedarik edilmiştir. Toz boyutu 15-53 mikrometre aralığında yoğunluğu ise 5.3 g cm^{-3} tür.

Çizelge 1. PE-PP/Cu polimer kompozitinin karışım oranları

Grup	Polietilen (%)	Polipropilen (%)	Bakır (%)
1	0	100	0
2	0	99.5	0.5
3	0	99	1
4	0	97	3
5	0	95	5
6	100	0	0
7	99.5	0	0.5
8	99	0	1
9	97	0	3
10	95	0	5

Numune Hazırlama

Plaka halinde olan polietilen ve polipropilen ürünler kırma cihazı ile kırılarak 1-3 mm boyutlarına getirildi. Şekil 1’de numunelerin ekstrüzyon makinesinde karışımı ve Şekil 2’de ise enjeksiyon makinesinde kalıplanmasına ait fotoğraflar verilmiştir. Tozlar Yamato ADP-31 tipi fırında $105 \text{ }^\circ\text{C}$ ’de 24 saat boyunca kurutulmuştur.



Polietilen granürü



Bakır tozu



Extrüzyon makinesi



PE/Bakır kompoziti

Şekil 1. Numunelerin ekstrüzyon makinesinde karıştırılması



Enjeksiyon makinesi



Test numuneleri

Şekil 2. Enjeksiyon makinesinde basılan test numuneleri

Ardından ağırlıkça Tablo 1’de belirtildiği oranlarda 50-100 mikron boyutundaki bakır tozları ile karıştırıldı. Numuneler Mikrosan marka ekstrüzyon makinesinde 25-35 bar basınçta, 25 dev dk⁻¹ hızda ve 200-240 °C sıcaklık aralığında eritilerek karışımları gerçekleştirilmiştir. Ekstrüzyon sonrası granüller 105 °C’de 12 saat boyunca kurutulmuştur. Kurutma sonrası PE test numuneleri 200–240 °C ve PP test numuneleri 240-280 °C’de enjeksiyon makinesinde basılmıştır. Enjeksiyon basıncı 700-900 bar’dır. Vida dönme hızı ise 25 dev dk⁻¹ olarak alınmıştır

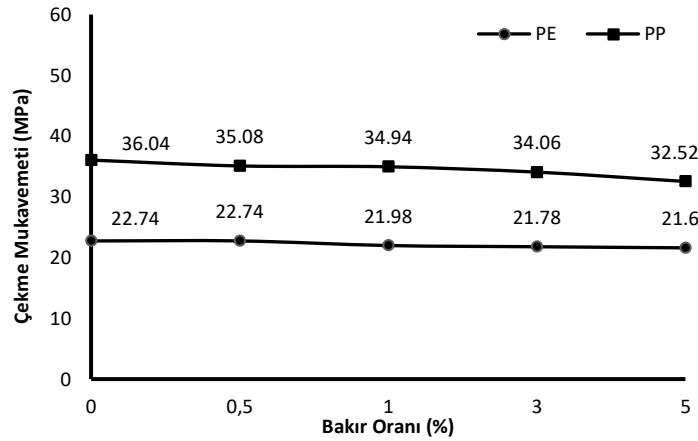
Karakterizasyon

Mekanik özellikleri belirlemek için her grup için beş adet numune test edilmiş ve aritmetik ortalamaları verilmiştir. Çekme testleri Zwick Z10 test makinesi kullanılarak ASTM D638 standartlarına göre 50 mm/dak. çekme hızında ve 10 kN yük kapasitesine sahip cihaz kullanılmıştır. Çekme mukavemeti, kopma mukavemeti, kopma uzaması ve elastiklik modülü değerleri bu test yönteminden elde edilmiştir. Sertlik testi Zwick sertlik ölçüm cihazı ile ASTM D2240 yöntemine göre yapılmıştır. Çentikli Izod darbe testleri Zwick marka darbe test cihazı ile ASTM D256 yöntemine göre oda sıcaklığında yapılmıştır. Numunelerin yoğunlukları ISO 2781 test yöntemine göre yapılmıştır. Antibakteriyel etkinlik testi ISO 22196 standardına göre incelenmiştir.

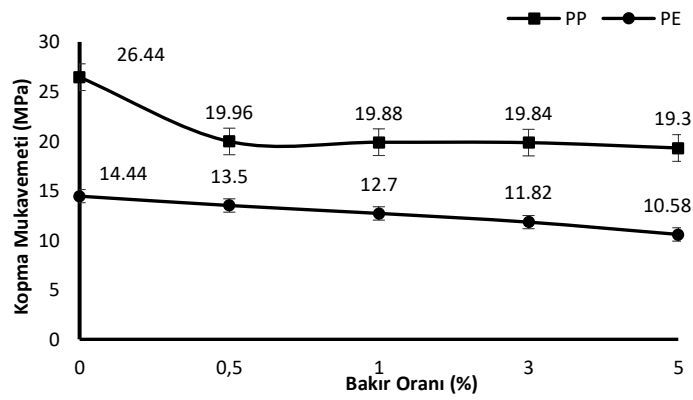
BULGULAR VE TARTIŞMA

Şekil 3’de çekme mukavemeti değerlerinin grafiksel gösterimi verilmiştir. Şekil 3 incelendiğinde maksimum çekme mukavemeti değerlerinin saf PE ve PP’e ait numunelerde olduğu görülmektedir. Buna ek olarak bakır oranının artışı ile çekme mukavemeti değerlerinin bir miktar düştüğü görülmektedir. En yüksek çekme mukavemeti değeri 22.74 MPa ile saf PE’ye aittir. PE içerisine %5 bakır ilavesiyle bu değer 21.6 MPa’ya düştüğü görülmektedir. Saf PE’nin çekme mukavemeti değerini %5 bakır ilaveli grup ile kıyasladığımızda %5 oranında bir azalmanın olduğu anlaşılmaktadır. PP matrisine baktığımızda benzer durumun söz konusu olduğu görülmektedir. Bakır tozunun %5 oranlarında ilavesi ile çekme mukavemeti değerinin 32.52 MPa’ya düştüğü görülmektedir. Saf polipropilen ile kıyasladığımızda çekme mukavemeti değerinin %11 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak, bakır ilavesi çekme mukavemeti değerini hem PE’de hemde PP’de düşürdüğü görülmüştür. Ying Tang ve arkadaşlarının yapmış olduğu bir çalışmada, düşük yoğunluklu polietilen matrisine bakır ilavesinin çekme mukavemeti değerini azalttığını tespit etmişlerdir (Tang ve ark., 2011). Li-Xia Hu ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada da metal tozu ilavesinin polimer matrisin çekme mukavemetini değerini düşürdüğünü tespit etmişlerdir (Hu ve ark., 2018).

Şekil 4 incelendiğinde maksimum kopma mukavemeti değerlerinin saf PE ve PP’e ait numunelerde olduğu görülmektedir. Bakır oranının artışı ile kopma mukavemeti değerleri düşmüştür. En yüksek kopma mukavemeti değeri 14.44 MPa ile saf PE’ye aittir. PE içerisine %5 bakır ilavesiyle bu değer 10.58 MPa’ya düştüğü görülmektedir. Saf PE’nin kopma mukavemeti değerini %5 bakır ilaveli grup ile kıyasladığımızda %26 oranında bir azalmanın olduğu anlaşılmaktadır. PP matrisine baktığımızda benzer durumun söz konusu olduğu görülmektedir. Bakır tozunun %5 oranlarında ilavesi ile kopma mukavemeti değerinin 19.3 MPa’ya düştüğü görülmektedir. Saf polipropilen ile kıyasladığımızda kopma mukavemeti değerinin %27 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Ying Tang ve arkadaşlarının yapmış oldukları bir çalışmada düşük yoğunluklu polietilen içerisine bakır tozu katarak elde ettikleri kompozitin kopma mukavemeti değerinin azalttığını tespit etmişlerdir (Tang ve ark., 2011). Li-Xia Hu ve arkadaşlarının metal tozu ilaveli polimer matris matrisli kompozit numunelerde kopma mukavemetinin azaldığını belirlemişlerdir (Hu ve ark., 2018).



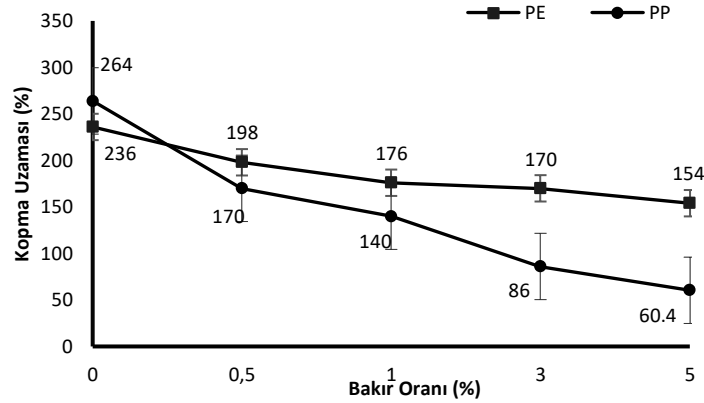
Şekil 3. PE-PP/Cu polimer kompozitinin çekme mukavemeti değerlerinin grafiksel gösterimi



Şekil 4. PE-PP/Cu polimer kompozitinin kopma mukavemeti değerlerinin grafiksel gösterimi

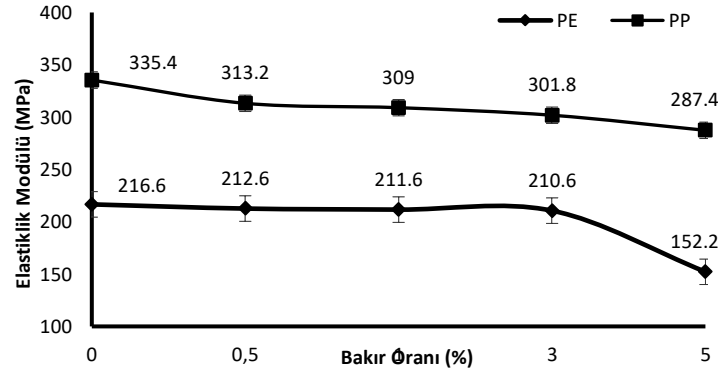
Şekil 5 incelendiğinde maksimum kopma uzaması değerlerinin saf PE ve PP'e ait numunelerde olduğu görülmektedir. Bakır oranının artışı kopma uzaması değerlerini düşürmüştür. En yüksek kopma uzaması değeri %236 ile saf PE'e aittir. PE içerisine %5 bakır ilavesiyle bu değer %154'e düştüğü görülmektedir. Saf PE'nin kopma uzaması değerini %5 bakır ilaveli grup ile kıyasladığımızda %35 oranında bir azalmanın olduğu anlaşılmaktadır. PP matrise bakıldığında benzer durumun söz konusu olduğu görülmektedir. Bakır tozunun %5 oranlarında ilavesi ile kopma uzama değerinin %264'ten %60.4'e düştüğü görülmektedir. Saf polipropilen ile kıyasladığımızda kopma uzaması değerinin %77 oranında azaldığı tespit edilmiştir.

Şekil 6 incelendiğinde maksimum elastiklik modülü değerlerinin saf PE ve PP'e ait numunelerde olduğu görülmektedir. PE matris içerisinde bakır oranının artmasıyla elastiklik modülü değerleri düşmüştür. En yüksek elastiklik modülü değeri 216.6 MPa ile saf PE'e aittir. PE içerisine %5 bakır ilavesiyle bu değer 152.2 MPa'a düştüğü görülmektedir. Saf PE'nin elastiklik modülü değerini %5 bakır ilaveli grup ile kıyasladığımızda %29 oranında bir azalmanın olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 5. PE-PP/Cu polimer kompozitinin kopma uzaması değerleri

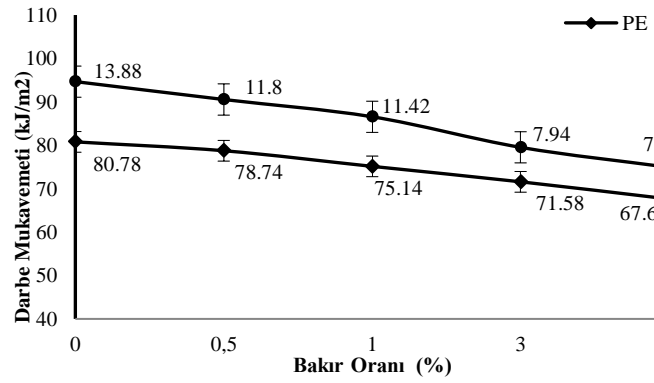
PP matrise bakıldığında benzer durumun söz konusu olduğu görülmektedir. Bakır tozunun %5 oranlarında ilavesi ile elastiklik modül değerinin 335.4 MPa'dan 287.4 MPa'a düştüğü görülmektedir. Saf polipropilen ile kıyasladığımızda elastiklik modül değerinin %14 oranında azaldığı tespit edilmiştir.



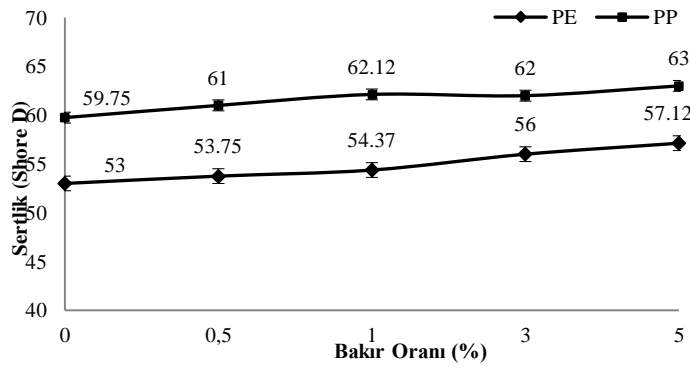
Şekil 6. PE-PP/Cu polimer kompozitinin elastiklik modülü değerlerinin grafiksel gösterimi

Şekil 7 incelendiğinde maksimum darbe mukavemeti değerlerinin saf PE ve PP'e ait numunelerde olduğu görülmektedir. PE matris içerisinde bakır oranının artmasıyla darbe mukavemeti değerleri düşmüştür. En yüksek darbe mukavemeti değeri 80.78 kJ/m² ile saf PE'e aittir. PE içerisine %5 bakır ilavesiyle bu değer 67.62 kJ/m² düştüğü görülmektedir. Saf PE'nin darbe mukavemeti değerini %5 bakır ilaveli grup ile kıyasladığımızda %16 oranında bir azalmanın olduğu anlaşılmaktadır. PP matrise bakıldığında benzer durumun söz konusu olduğu görülmektedir. Bakır tozunun %5 oranlarında ilavesi ile darbe mukavemeti değerinin 13.88 kJ/m²'den 7.3 kJ/m²'ye düştüğü görülmektedir. Saf polipropilen ile kıyasladığımızda darbe mukavemeti değerinin %47 oranında azaldığı tespit edilmiştir.

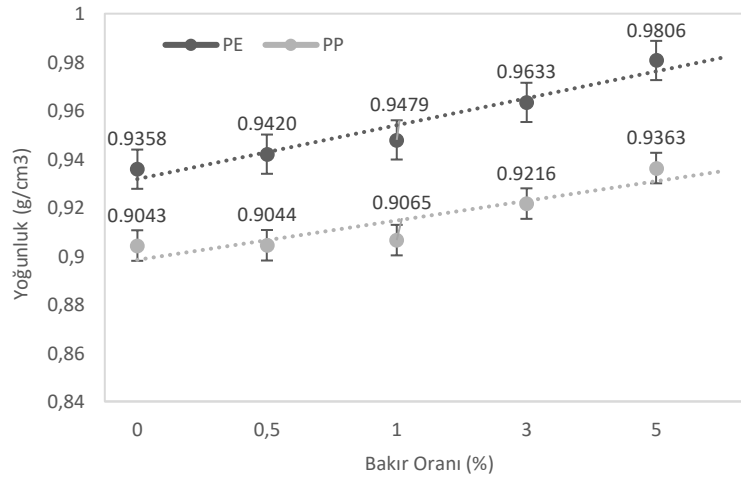
Şekil 8 incelendiğinde maksimum sertlik değerlerinin %5 bakır ilaveli PE ve PP'e ait numunelerde olduğu görülmektedir. PE matris içerisinde bakır oranının artmasıyla sertlik değerleri artmıştır. En yüksek sertlik değeri 53.12 shore D ile %5 bakır ilaveli PE'e aittir. Saf PE numunede bu değer 53 shore D'de olduğu görülmektedir. Saf PE'nin sertlik değerinin %5 bakır ilaveli grup ile kıyasladığımızda %8 oranında bir artış olduğu anlaşılmaktadır. PP matrise bakıldığında bakır tozunun %5 oranlarında ilavesi ile sertlik değerinin 59.75 shore D'den 63 shore D'ye çıktığı görülmektedir. Saf polipropilen ile kıyasladığımızda darbe mukavemeti değerinin %5 oranında azaldığı tespit edilmiştir.



Şekil 7. PE-PP/Cu polimer kompozitinin darbe mukavemeti değerlerinin grafiksel gösterimi



Şekil 8. PE-PP/Cu polimer kompozitinin sertlik değerlerinin grafiksel gösterimi



Şekil 9. PE-PP/Cu polimer kompozitinin yoğunluk değerlerinin grafiksel gösterimi

Li-Xia Hu ve arkadaşlarının metal tozu ilaveli polimer matrisli kompozit numunelerin sertlik değerinin ilavesiz numunelerden yüksek olduğu görülmüştür (Hu ve ark., 2018). O.B. Zgalat-Lozynskyy ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada PE matris içerisine seramik ve metal tozları ilavesinin üretilen kompozit numunelerin sertliğini arttırdığı görülmüştür (Zgalat ve ark., 2021).

Şekil 9 incelendiğinde maksimum yoğunluk değerlerinin %5 bakır ilaveli PE ve PP'e ait numunelerde olduğu görülmektedir. En yüksek yoğunluk değeri $0.9806 \text{ gr cm}^{-3}$ ile %5 bakır ilaveli PE'e aittir. Saf PE numunede bu değer $0.9358 \text{ gr cm}^{-3}$ 'tür. Saf PE'nin yoğunluk değerini %5 bakır ilaveli grup ile kıyasladığımızda %4,78 oranında bir artış olmuştur. PP matrisine baktığımızda bakır tozunun %5 oranlarında ilavesi ile yoğunluk değerinin $0.9043 \text{ gr cm}^{-3}$ 'den $0.9363 \text{ gr cm}^{-3}$ 'e çıktığı görülmektedir. Saf polipropilen ile kıyasladığımızda yoğunluk değerinin %3.53 oranında arttığı tespit edilmiştir. Li-Xia

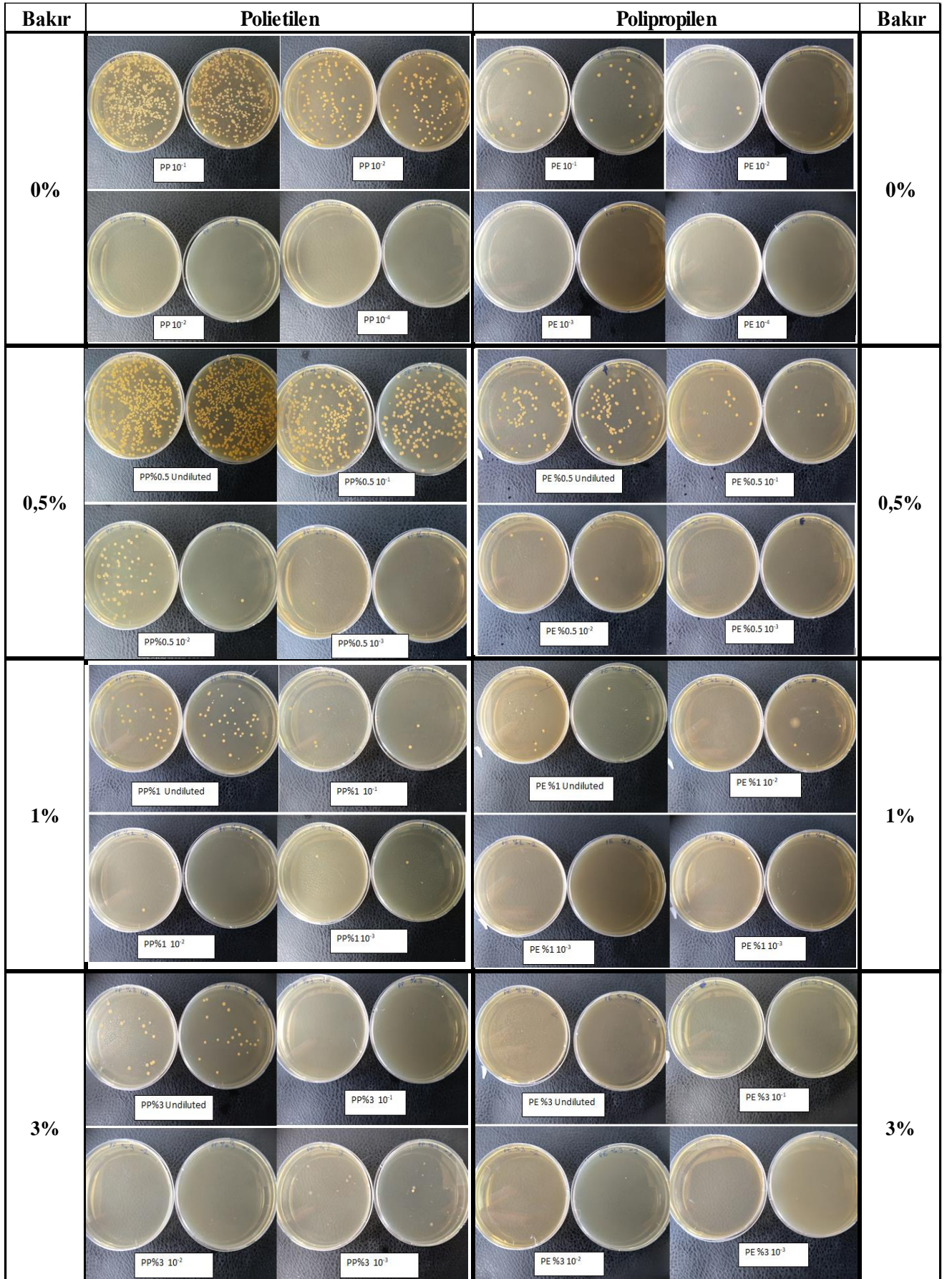
Hu ve arkadaşları da yapmış oldukları çalışmada metal tozu ilavesi ile elde ettikleri polimer kompozitinin yoğunluğunun arttığını belirlemişlerdir (Hu ve ark., 2018).

Mikrobiyal özellikler

Bakır ilavesiz PE numune örneği test ortamında bakteri sayısı \log_2 'lik bir azalmayla yaklaşık %99.90'unu öldürmüştür. Bu sonuçlar ilavesiz PE numune bakteriye karşı mikrobiyal etkinlik göstermiş olsa da \log_3 değeri altında kaldığı için etkin olarak değerlendirilememiştir. %0.5 bakır ilaveli PE numune de bakteri sayısı $\log_2.5$ 'lik bir azalmayla yaklaşık %99,00'ünü öldürmüştür. Ancak \log_3 altında azalma olduğu için yine etkin olarak değerlendirilememektedir. %1 bakır ilaveli PE numune test ortamında bulunan bakterilerin $\log_3,73$ 'lük azaltmasıyla bakterilerin %99,90'unu öldürmekle etkin olarak değerlendirilmektedir. %3 bakır ilaveli numune test ortamında bakterilerin sayısını $\log_4.43$ azaltarak %99.99'dan fazlasını öldürmüştür ve etkin olarak değerlendirilmiştir. Bakır ilavesiz PP numune test ortamında bulunan bakterilerin sayısını $\log_0.4$ 'lük azaltmıştır. Bu değer kabul edilebilir herhangi bir antimikrobiyal etki göstermemiştir. %0.5 bakır ilaveli test numuneleri test ortamındaki bakteri sayısını $\log_1.062$ 'lik azaltmıştır. Bakterilerin %90'ını öldürmüştür. Antimikrobiyal etkinlik gösterse de etkin olarak değerlendirilememektedir. %1 bakır ilaveli numuneler test ortamında bulunan bakteri sayısını $\log_2.82$ 'lik bir azaltma göstermiştir. Bakterilerin %99'ünü öldürmüştür. \log_3 değeri altında kaldığı için etkin olarak değerlendirilememektedir. %3 bakır ilaveli PP numuneler test ortamında bulunan bakteri sayısını $\log_3,14$ 'lük azaltarak bakterilerin %99.9'unu öldürmüştür ve etkin olarak değerlendirilmektedir.

Şekil 10'da PE-PP/Cu polimer kompozitinin zamana bağlı mikrobiyal etkinlik testi görselleri verilmiştir. Tablo 2'de PE-PP/Cu polimer kompozitinin zamana bağlı mikrobiyal etkinlik değerleri ve Şekil 11'de ise bu değerlerin grafiksel gösterimleri verilmiştir. Şekil 11 incelendiğinde bakır ilavesinin artmasıyla birlikte test ortamındaki bakteri sayısındaki azalmayı gösteren LogR değerinin arttığı görülmektedir. Bakır tozunun ilavesi ile birlikte antimikrobiyal etkinliğin arttığı test sonuçlarına göre söylenebilir.

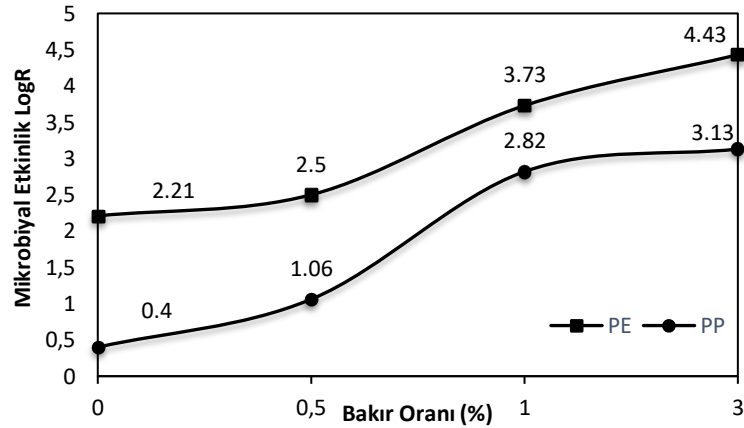
Literatür araştırmalarında da benzer sonuçlara rastlanılmıştır. Örneğin; Katrin Steinhauer ve arkadaşları yaptıkları çalışmada bakır alaşım yüzeylerinin mikrobiyal etkinlik gösterdiğini tespit etmişlerdir (Steinhauer ve ark., 2018). Michael G. Schmidt ve arkadaşları ise yaptıkları çalışmada bakır alaşım ilaveli stetoskop yüzeylerinin diğer stetoskop yüzeylerinden daha az bakteri barındırdığını belirlemişlerdir (Schmidt ve ark., 2017). Buna ek olarak Anna Rozanska ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada bakır numune üzerinde bakteriyal aktivitenin diğer materyallere nazaran zaman ve miktar olarak daha az olduğunu belirlemişlerdir (Rozanska ve ark., 2017).



Şekil 10. PE-PP/Cu polimer kompozitinin zamana bağlı mikrobiyal etkinlik testi görselleri

Çizelge 2. PE-PP/Cu polimer kompozitinin zamana bağlı mikrobiyal etkinlik değerleri

Zamana Bağlı Mikrobiyal Etkinlik Testi					
Matris	Takviye(%Ağırlık)	Koloni Sayısı	Koloni Sayısı	Ortalama	LogR
PE	0	16	16.5	16.25	2.21
PE	0.5	89	82	85.5	2.5
PE	1	2	8	5	3.73
PE	3	1	1	1	4.43
PE	5	0	0	0	0
PP	0	102	112	107	0.4
PP	0.5	264	201	232.5	1.06
PP	1	38	43	40.5	2.82
PP	3	22	18	20	3.13
PP	5	0	0	0	0



Şekil 11. PE-PP/Cu polimer kompozitinin zamana bağlı mikrobiyal etkinlik değerleri

SONUÇ

Polietilen ve Polipropilen malzemelerin içerisine mikron boyutta bakır tozu ilavesi çift vidalı ekstrüder ile homojen olarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen kompozit malzemeler %0.5-%1 toz ilavesinde mekanik özelliklerindeki değişim %15'i aşmadığı görülmüştür. Çekme mukavemeti değerinin bakır ilavesi ile birlikte azaldığı deney sonuçlarında gözlemlenmiştir. Kopma uzaması değerleri bakır toz ilavesi ile birlikte PP numunelerde %70, PE numunelerde %14 oranında azalmıştır. Elastik modülü değeri bakır toz ilavesi ile birlikte PP numunelerde ilavesiz numuneye oranla %14, PE numunelerde %29 azalma görülmektedir. Darbe mukavemeti değerleri bakır toz ilavesi ile birlikte sırasıyla PE ve PP numunelerde %16, %47 azaldığı görülmüştür. Bakır toz ilavesi ile polimer kompozitler sertlik değerlerinde %5 oranda artış görülmüştür. Polimer numunelerde bakır ilavesi ile yoğunluk değerleri arttığı görülmüştür. Elde edilen numunelerde zamana bağlı mikrobiyal etkinlik değerleri incelendiğinde polimer malzemelerde bakır oranı %1-%3 ilavelerde medikal yüzey olarak kullanılabilir derecede antimikrobiyal etkinlik görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Marmara Üniversitesi BAPKO tarafından desteklenmiştir. Proje No: FYL-2022-10444. Sağlam Metal San. ve Tic. A.Ş.'de destekleri için teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

- ASTM D256 - Izod Pendulum Impact Resistance of Plastic
- ASTM D638 - Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics
- ASTM D2240 - Standard Test Method for Rubber Property-Durometer Hardness
- ISO 2781- Rubber, vulcanized or thermoplastic-Determination of density
- ISO 22196 - Measurement of antibacterial activity on plastics and other non-porous surfaces
- Berlin AA, Volfson SA, Enikolopian SS, Negmatov SS, 1986. Principles of Polymer Composites (Polymer-Properties and Applications, 10). Springer Verlag, Berlin.
- Brostow W, Buchman A, Buchman E, Olea-Meija O, 2008. Microhybrids of Metal Powder Incorporated in Polymeric Matrices: Friction, Mechanical Behavior, and Microstructure. *Polymer Engineering & science*, 48(10): 1977-1981.
- Cheang P, Khor KA, 2003. Effect of Particulate Morphology on the Tensile Behaviour of Polymer-hydroxyapatite Composites. *Materials Science and Engineering A.*, 345(1-2): 47-57.
- Damm C, Munstedt H, Rosch A, 2008. The Antimicrobial Efficacy of Polyamide 6/Silver-Nano and Microcomposites. *Materials Chemistry Physics*, 108: 61–66.
- Delgado K, Quijada R, Palma R, Palza H, 2011. Polypropylene with Embedded Copper Metal or Copper Oxide Nanoparticles as a Novel Plastic Antimicrobial Agent. *Letters in Applied Microbiology*, 53(1): 50-54.
- Gülsoy HÖ, Taşdemir M, 2007. Physical and Mechanical Properties of Polypropylene Reinforced with Fe Particles. *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, 55 (8): 619-626.
- Gülsoy Ö, Taşdemir M, 2007. The Effect of Bronze Particles on the Physical and Mechanical Properties of Acrylonitrile-Butadiene-Styrene Copolymer. *Polymer-Plastics Technology and Materials*, 46(8): 789-793.
- Hu LX, Hu SF, Rao M, Yang J, Lei H, Duan Z, Zhu C, 2018. Studies of Acute and Subchronic Systemic Toxicity Associated with a Copper/Low-Density Polyethylene Nanocomposite Intrauterine Device. *International Journal of Nanomedicine*, 13: 4913-4926.
- Kenawy ER, Worley SD, Broughton R, 2007. The Chemistry and Applications of Antimicrobial Polymers: A State of the Art Review. *Biomacromolecules*, 8(5):1359-1384.
- Kilik R, Davies R, 1989. Mechanical Properties of Adhesive Filled with Metal Powders. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 9 (4): 224-228.
- Kuleznev VN, 2013. Polymer Mixtures and Alloys: Lecture Notes. Nauchnye Osnovy Tekhnologii, Saint Petersburg.
- Mamunya YP, Zois H, Apekis L, Lebedev EV, 2004. Influence of Pressure on the Electrical Conductivity of Metal Powders Used as Fillers in Polymer Composites. *Powder Technology*, 140: 49-55.
- Paharenko VA, Zverlin VG, Kirienko EM, 1986. Filled Thermoplastics, Tehnika, Kiev.
- Prorokova NP, Vavilova SY, Biryukova MI, Yurkov GY, Buznik VM, 2014. Modification of Polypropylene Filaments with Metal Containing Nanoparticles Immobilized in a Polyethylene Matrix. *Nanotechnologies in Russia*, 9(9):533-540.

- Rozanska A, Chmielarczyk A, Romaniszyn D, Bulanda M, Walkowicz M, Osuch P, Knych T, 2017. Antibiotic Resistance, Ability to Form Biofilm and Susceptibility to Copper Alloys of Selected Staphylococcal Strains Isolated from Touch Surfaces in Polish Hospital Wards. *Antimicrobial Resistance & Infection Control*, 6(1):1-12.
- Rusu M, Sofian NM, Rusu DL, 2001. Mechanical and Thermal Properties of Zinc Powder Filled High Density Polyethylene Polymer Composites. *Polymer Testing*, 20(4):409-417.
- Rusu M, Sofian NM, Rusu DL, 1999. Proceedings of the International Monference on Materials Science, vol. IV: Non-Metallic Materials and Enviromental Protection, Brasov, February, 93–96.
- Sharma RK, Agarwal M, Balani K, 2016. Effect of ZnO Morphology on Affecting Bactericidal Property of Ultra High Molecular Weight Polyethylene Biocomposite. *Materials Science and Engineering: C*, 62: 843-851.
- Steinhauer K, Meyer S, Pfannebecker J, Teckemeyer K, Ockenfeld K, Weber K, Becker B, 2018. Antimicrobial Efficacy and Compatibility of Solid Copper Alloys with Chemical Disinfectants. *Plos One*, 13(8):1-14.
- Schmidt MG, Tuuri RE, Dharsee A, Attaway HH, Fairey SE, Borg KT, Hirsch BE, 2017. Antimicrobial Copper Alloys Decreased Bacteria on Stethoscope Surfaces. *American Journal of Infection Control*, 45(6):642-647.
- Tang Y, Xia X, Wang Y, Xie C, 2011. Study on the Mechanical Properties of Cu/LDPE Composite IUDs. *Contraception*, 83(3):255-262.
- Taşdemir M, Gülsoy HÖ, 2006. Physical and Mechanical Properties of Iron Powder Filled Polystyrene Composites. *Polymer-Plastics Technology and Materials*, 45(11):1207-1211.
- Taşdemir M, Gülsoy Ö, 2008. Mechanical Properties of Polymers Filled With Iron Powder. *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, 57(3):258-265.
- Tavman IH, 1997. Thermal and Mechanical Properties of Copper Powder Filled Poly(ethylene) Composites. *Powder Tehnology*, 91(1): 63-67.
- Zgalat-Lozynskyy OB, Matviichuk OO, Tolochyn OI, Ievdokymova OV, Zgalat-Lozynska NO, Zakiev VI, 2021. Polymer Materials Reinforced with Silicon Nitride Particles for 3D Printing. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 59(9): 515-527.
- Zhang W, Zhang YH, Ji JH, Zhao J, Yan Q, Chu PK, 2006. Antimicrobial Properties of Copper Plasma-Modified Polyethylene. *Polymer*, 47(21):7441-7445.
- Zhu K, Schmauder S, 2003. Prediction of the Failure Properties of Short Fiber Reinforced Composites with Metal and Polymer Matrix. *Computational Materials Science*, 28(3-4):743-748.

Atf İçin: Ulutaş, E., Taşdemir, M. ve Eker Gümüş, B. (2023). Akrilonitril Bütadien Stiren (ABS) Kopolimerinin Fiziksel Özelliklerine Çelik Tufalinin Etkisi. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 1287-1296.

To Cite: Ulutaş, E., Taşdemir, M. & Eker Gümüş, B. (2023). Effect Of Steel Scale On The Physical Properties Of Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) Copolymer. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 1287-1296.

Akrilonitril Bütadien Stiren (ABS) Kopolimerinin Fiziksel Özelliklerine Çelik Tufalinin Etkisi

Elif ULUTAŞ^{1*}, Münir TAŞDEMİR¹, Beril EKER GÜMÜŞ²

Öne Çıkanlar:

- Sürdürülebilir kaynak kullanımı
- Demir-çelik endüstri atığı
- Tufalin katkı maddesi olarak kullanımı

Anahtar Kelimeler:

- Tufal,
- Akrilonitril bütadien stiren,
- Polimer kompozit,
- Fiziksel özellikler

ÖZET:

Ülkemizde demir-çelik üretimi esnasında her yıl tonlarca ağırlıkta tufal oluşmaktadır. Son yıllarda demir-çelik tüketim miktarındaki artış, hammadde kaynaklarındaki azalmayı beraberinde getirmiştir ve bu yüzden yapısında yüksek oranda demir barındıran tufale karşı ilgiyi arttırmıştır. Yeniden ergitilme veya redüksiyon gibi farklı uygulamalarda değerlendirilebilen tufalin hammadde olarak kullanımı geri kazanım adına farklı bir alan oluşturmaktadır. Bu çalışmada katkı maddesi olarak kullanılan çelik tufalinin akrilonitril bütadien stiren (ABS) polimer matris üzerindeki fiziksel etkileri incelenmiştir. Tufal, çelik kütük üzerinden püskürtme ile ayrıştırıldığından farklı boyutlarda olurlar. Bu sebeple öğütücü ile toz haline getirilen çelik tufali, ABS ile homojen bir karışım elde etmek için ekstrüde edilmiştir. Standartlara uygun boyutlardaki test numuneleri enjeksiyon makinesinde kalıplanarak kompozitlerin yoğunluk, aşınma, ısıl çarpılma sıcaklığı (HDT), vicat yumuşama sıcaklığı, erime akış indeksi (MFI), nem, sertlik testleri ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile mikroyapı incelemesi yapılmıştır. Deneysel sonuçlarına göre; tufal ilavesiyle aşınma oranının düştüğü fakat tufal oranının artışıyla birlikte aşınma oranında bir artış görülmüştür. Ayrıca tufal ilavesi ile yoğunluk, vicat yumuşama sıcaklığını, ısıl çarpılma sıcaklığı değeri artmış buna karşılık nem emme ve erime akış indeksi değerlerinde ise düşüş tespit edilmiştir.

Effect Of Steel Scale On The Physical Properties of Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) Copolymer

Highlights:

- Sustainable sourcing
- Waste from the iron and steel industry
- Use the scale as an additive

Keywords:

- Scale
- Acrylonitrile butadiene styrene,
- Polymer composite,
- Physical properties

ABSTRACT:

During iron and steel production in our country, tons of scale is formed every year. The increase in the amount of iron and steel consumption in recent years has brought about a decrease in raw material resources, and therefore, the interest in scale, which contains high iron in its structure, has increased. The use of scale, which can be evaluated in different applications such as remelting or reduction, as a raw material creates a different area for recycling. In this study, the physical effects of steel scale used as an additive on acrylonitrile butadiene styrene (ABS) polymer matrix were investigated. Since the scale is separated by spraying over the steel billet, they come in different sizes. For this reason, steel scale powdered with a grinder was extruded to obtain a homogeneous mixture with ABS. The test samples in the dimensions suitable for the standards were molded in the injection machine and the density, abrasion, thermal distortion temperature (HDT), vicat softening temperature, melt flow index (MFI), moisture, hardness analyzes and microstructure examination of the composites were carried out. According to the test results; it was observed that the wear rate decreased with the addition of scale, but an increase in the rate of wear was observed with the increase in the scale rate. In addition, with the addition of scale, the density, vicat softening temperature, thermal distortion temperature value increased, while the moisture absorption and melt flow index values decreased.

¹ Elif ULUTAŞ ([Orcid ID: 0000-0001-7753-8878](https://orcid.org/0000-0001-7753-8878)), Münir TAŞDEMİR ([Orcid ID: 0000-0001-8635-7251](https://orcid.org/0000-0001-8635-7251)), Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

² Beril EKER GÜMÜŞ ([Orcid ID: 0000-0002-4185-4470](https://orcid.org/0000-0002-4185-4470)), Yıldız Teknik Üniversitesi, Rektörlük, İstanbul, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Elif ULUTAŞ, e-mail: elif.ulutas@marmara.edu.tr

GİRİŞ

Demir-çelik endüstrisi, farklı sanayi dallarıyla iç içe olduğundan yüksek üretim kapasitesi sebebiyle stratejik bir öneme sahiptir. İmalat sanayide hammadde ve enerji tüketimi açısından en büyük payı oluşturan demir-çelik endüstrisi atık üretimi bakımından da yoğun bir sektördür (Kaya, 2019). Ayrıca yan ürün ve atık madde oluşumu, başta çelik endüstrisinde olmak üzere diğer endüstri dallarında da görülmektedir. Yapılan araştırmalar; çelik üretimi esnasında 1 ton çelik başına 2-4 ton arasında atık/yan ürün oluştuğunu göstermektedir (Das ve ark. 2007; Roslan ve ark. 2013). Endüstrilerin yüksek oranda enerji kullanımı ve atık oluşturması ele alındığında kısıtlı kaynakların insanların sınırsız ihtiyaçları tarafından tüketimi sürdürülebilirlik ilkesini doğurmuştur. Bu sebeple sürdürülebilir kaynak kullanımı; başka bir deyişle geri dönüşüm ile atık oluşumunun azaltılarak yeniden kullanıma kazandırılması, enerji ve malzeme tasarrufu sağlarken maliyeti de düşürmeyi hedefler (Anonim, 2015; Kaya, 2019).

Demir-çelik endüstrisinde üretim esnasında girdi olarak kullanılan malzemenin büyük çoğunluğu uçucu kül, cüruf, tufal ve baca tozu gibi yan ürün olarak çıkmaktadır. Önemli oranda ağır metal içeren bu atıklar uygun şekilde yönetilemeyip toprağa atıldığında çeşitli çevre sorunlarına yol açacaktır. Gaz ve katı atıktan oluşan yan ürünlerin depolanması, atık oluşturması gibi çevreye verdikleri olumsuz etkiyi ortadan kaldırmak için çıkan bu yan ürünler yeniden değerlendirilebilir (Gökpınar ve Gökpınar, 2019). Atıklar yüksek oranda farklı uygulamalarda kullanılsa bile, çelik tufali işlem maliyeti sebebiyle bedelsiz olarak uzaklaştırılmakta veya hurda olarak satılmaktadır (Mozt ve Geiseler, 2001; Turhan, 2019; Göçmen ve ark, 2020). Çevreye verdiği olumsuz etkinin azaltılabilmesi ve atık bir ürünün ülke ekonomisine kazandırılması açısından tufalin geri kazanımı çok önemlidir (Tuna Kayılı ve ark. 2018).

Demirin doğası gereği oluşumu engellenemeyen tufal; dökümhanelerde ve tav fırınlarında çeliğin haddelenmesi esnasında yüzeyde oluşup metalden ayrılmaya çalışan sırasıyla vüstit (FeO), manyetit (Fe_3O_4) ve hematit (Fe_2O_3) gibi demir oksitli fazlardan oluşan katmanlı bir yapıdır (Gündoğdu, 2013; Arancı, 2018; Cihangiroğlu, 2021). Tufal; çelik kütüğünün yüksek sıcaklıkta hava ile teması sırasında, çeliğin yüksek sıcaklıklarda yapılan işlemlerinde veya tav fırınlarında haddeleme öncesi deformasyon sıcaklığına getirilme aşamasında oluşur (Turhan, 2019). Literatür incelendiğinde; demir-çelik endüstrisine ait bu atığın tekrar ergitilmesi veya redüksiyonu üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca tufalin betonda doğal agregalar (betonun hammaddelerini oluşturan kum ve çakıl karışımı) ile belirli oranlarda yer değiştirerek değerlendirilmesi ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır (Mohamed, 2017; Murthy ve ark, 2017; Arıcı ve Keleştemur, 2018; Ganeshprabhu ve ark, 2018; Keleştemur ve Arıcı, 2020; Arıcı ve Keleştemur, 2021). Özcan çalışmasında (Özcan, 2019); clarofast ticari isimli polimer matris içerisine %5, 10, 15, 20 ve 25 oranlarında ve 61-67, 67-91 ve 91-125 μm boyutlarında tufal katmıştır. Ürettiği kompozit malzemelerin sertlik ve aşınma davranışını incelemiştir. Sıcak kalıplama ile hazırlanan numuneler 7 ve 10 N yük altında 0.15 m sn^{-1} hızında aşınma testlerine tabi tutulmuştur. Yapılan testler sonucunda yapıya tufal ilavesiyle kompozit numunelerin aşınma direncinin arttığı bunun aksine tufal oranının artmasıyla aşınma direncinin düştüğü görülmüştür. Başka bir çalışmada Taşdemir ve Gülsoy (Taşdemir ve Gülsoy, 2006); metal takviyeli polimer matrisli kompozitlerin fiziksel davranışlarını incelediği çalışmasında polistiren içerisine demir tozu ilave etmişlerdir. Yapmış oldukları deneyler sonucunda; demir tozlarının artışına bağlı olarak kompozitlerin sertlik, vicat yumuşama sıcaklığı ve HDT değerlerinin arttığını tespit etmişlerdir. Farklı formlarda takviye elemanı barındıran kompozit malzeme grubu içerisinde toz halindeki dolgu ve katkı maddelerini içerenler önemli bir yer tutar. Özellikle metal parçacıklarla güçlendirilmiş polimer matrisli kompozitler hem metal hem de polimerlerin özelliklerini sergilediğinden önemli bir araştırma konusu haline

gelmiştir. Bu tür dolgu ve katkı maddeleri termal ve elektriksel iletkenliği iyileştirmenin yanı sıra sertliği artırarak matrise aşınma direnci kazandırmak için de kullanılmaktadır (Güngör, 2005; Rusu ve Rusu, 2001; Ghosh ve Maiti, 1996). Farklı alanlarda çalışmalar yapılmasına rağmen tufalin plastik malzemelerde katkı/takviye malzemesi olarak kullanımı ile ilgili kısıtlı sayıda çalışma olduğu görülmüştür. Yapısında yüksek oranda metal tozu barındıran atık malzemeler katkı/takviye malzemesi olarak kullanıldığında mekanik özellikleri ve dayanıklılığı iyileştirebileceği düşünülmektedir. Literatürdeki yetersizlikten yola çıkılarak, çelik tufali ile yapılan bu çalışmada polimer matris içerisinde katkı maddesi olarak kullanılmış ve tufal miktarının artmasıyla; yoğunluk, HDT, Vicat yumuşama sıcaklığı, nem emme miktarı, ergime akış indeksi, sertlik ve aşınma oranı değerleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bunlara ek olarak taramalı elektron mikroskopu ile çelik tufal partiküllerinin dağılımları incelenmiştir.

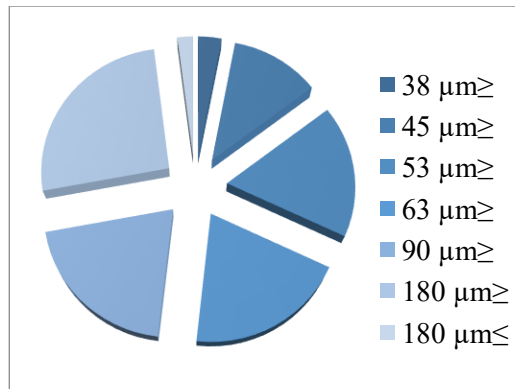
MATERYAL VE METOT

Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada katkı maddesi olarak kullanılan çelik tufali Bursa'da bulunan Asil Çelik San. ve Tic. A.Ş.'den temin edilmiştir. Yoğunluğu ise 5.0122 g/cm^3 'tür. Matris malzemesi olarak kullanılan ABS polimeri (starex SD-0150) Lotte Chemical Corporation tarafından temin edilmiştir. Bu polimerin yoğunluğu 1.03 g/cm^3 , çekme dayanımı 48 MPa ve Vicat yumuşama sıcaklığı değeri ise 98°C 'dir. Deneylerde kullanılan malzemelere ait görseller Şekil 1'de ve çelik tufalinin partikül büyüklüğü dağılım grafiği Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Polimer kompozit üretiminde kullanılan malzemeler



Şekil 2. Çelik tufaline ait partikül büyüklüğü dağılımı

Numunelerin Hazırlanması

Çelik üretiminde; soğutma, gaz temizleme, tufal kırma ve yıkama işlemleri için su kullanılır. Bu sebeple Asil Çelik'ten temin edilen tufalin yapısındaki suyu uzaklaştırmak için 105°C sıcaklıkta 12 saat boyunca Yamato ADP-31 tipi fırında kurutulmuştur. Daha sonra Siemens simatic C7-621 marka

öğütücüde toz haline getirilmiştir. Tablo 1’de belirtilen oranlarda tartılan ABS ve toz çelik tufali bir karıştırıcıda (Patterson marka) 15 dak. boyunca karıştırılmıştır ardından homojen karışım elde etmek için Mikrosan marka (Mikrosan Makine A.Ş., Türkiye) çift vidalı bir ekstrüzyon makinesinde 25-35 bar basınç altında, 40 dev /dk dönüş hızında ve 210-240°C arasındaki sıcaklıklarda eritilerek karışımları gerçekleştirilmiştir. Ekstrüzyon makinesinde soğutma işlemi için suya daldırılan polimer kompozitler; kırıcı yardımıyla granül formuna getirilmiş ve yapıdaki nemi uzaklaştırmak için etüvde 105°C’ de 12 saat boyunca kurutulmuştur. Test numuneleri, enjeksiyon sıcaklığı 210–240°C, enjeksiyon basıncı 700-900 bar ve vida dönme hızı 25 dev /dk olan bir enjeksiyon makinesinde basılmıştır.

Tablo 1. ABS/çelik tufali polimer kompozitinin karışım oranları (hacimce)

ABS (%)	Çelik Tufali (%)
100	-
97	3
95	5
93	7
91	9

Test Yöntemleri

Çelik tufalinin ABS üzerindeki termal etkisini incelemek için HDT ve vicat testleri sırayla ISO 75 ve ISO306 standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Her iki test için Devotrans marka test cihazı kullanılarak üç adet numunenin ortalaması alınmıştır. Malzemelerin akışkanlığı hakkında yorum yapmamızı sağlayan MFI testleri Zwick marka test cihazında ISO 1133 standardına uygun olarak yapılmıştır. Numunelerin yoğunluk ve nem tayini ölçümleri sırasıyla ISO 2781 ve ASTM D 6980 standardında 3 adet numune kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca numunelerin aşınma davranışını incelemek için yapılan aşınma oranı tayini için; Devotrans DA5 marka tamburlu aşınma test cihazı (0.32 m /s aşınma hızı) kullanılmıştır. Test esnasında 10 N yük uygulanan numuneler farklı aşınma mesafelerinde (20, 40, 60, 80 m) zımpara üzerinde aşındırılmıştır. Sert plastiklerin sertlik miktarını belirlemek için kullanılan D durometresi ile kompozitlerin Shore sertlik değeri ölçülmüştür.



Şekil 3. ABS/çelik tufali polimer kompozitinin üretim aşamaları ve kullanılan cihazlar

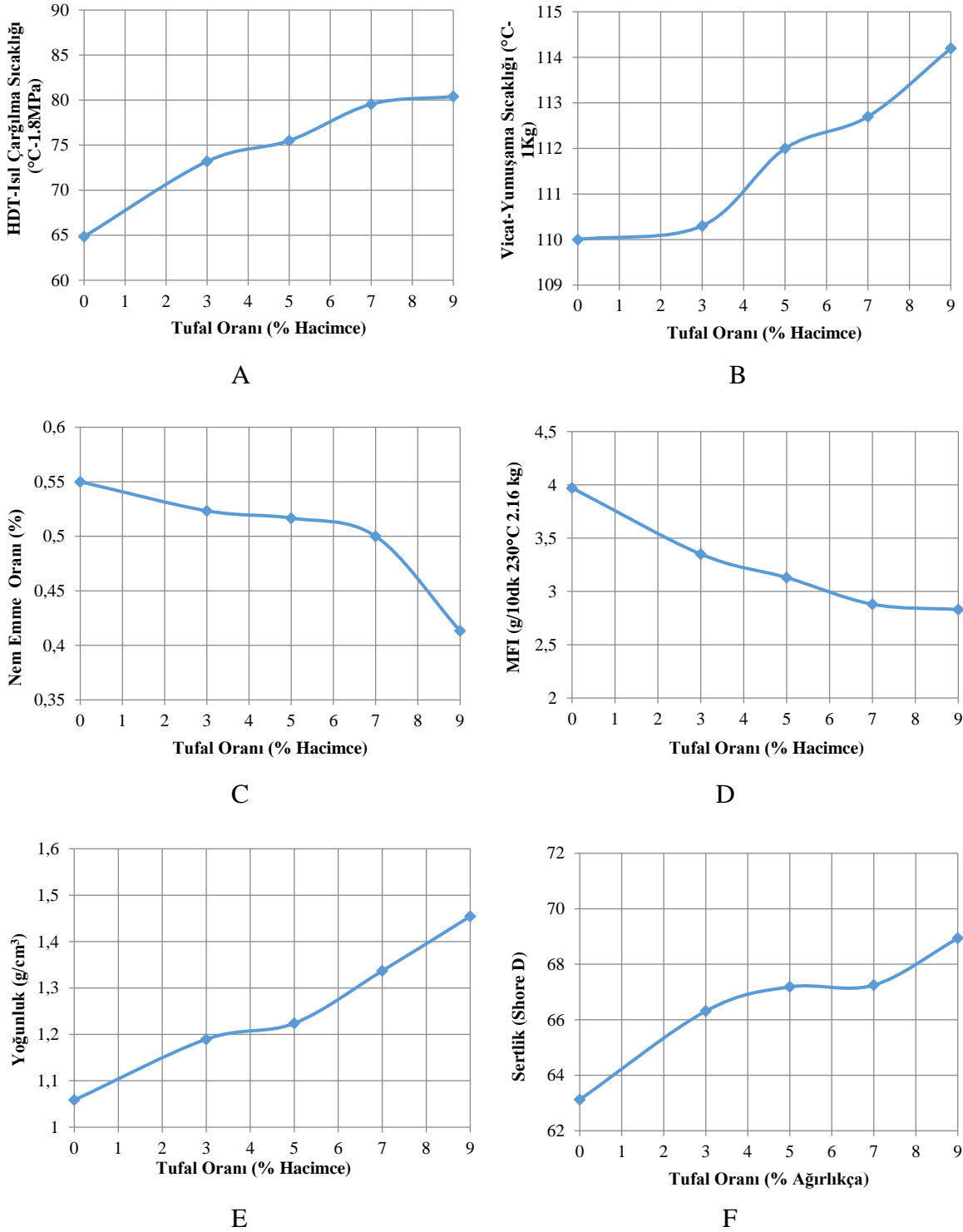
Sertlik testi ASTM D-1706-67 standardına uygun olarak Zwick marka test cihazında 6 ölçümün ortalaması alınarak yapılmıştır. Tane boyutu dağılımını saptamak için yapılan elek analizi testinde Retsch AS 200 marka test cihazı kullanılarak numuneler, farklı mesh numaralarından oluşan elek

düzeneğinde 15 dk boyunca sabit hızda titreşime maruz bırakılmıştır. Çelik tufalinin ABS matris içerisindeki dağılımını ve mikroyapısını incelemek için 20kV hızlanma voltajında SEM analizi (FEI Sirion XL30 FEG-Hollanda) yapılmıştır ve mikroyapı görüntüleri 5000 büyütme oranında incelenmiştir. Elektriksel şarjı önlemek için polimer kompozitlerin kırık yüzeyleri 20Å kalınlığında altın-paladyum karışımı ile kaplanmıştır. Şekil 3'te ABS/çelik tufali polimer kompozitinin üretim aşamaları ve kullanılan cihazlar verilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Çelik tufalinin ilavesi ile polimer kompozitinin termal etkisini incelemek için yapılan HDT ve vicat testlerine ait sonuçlar Şekil 4A ve 4B'de verilmiştir. Test sonuçlarına göre çelik tufali her iki testte de benzer etki göstermiştir. Saf ABS en düşük HDT ve vicat değerine sahipken, tufal ilavesi bu değerleri artırmıştır. Tufal miktarının artmasıyla her iki değer artmaya devam etmiştir. Bayraktar (Bayraktar, 2020), yapmış olduğu çalışmada tufal katkılı polietilen matrisli kompozitlerin tribolojik ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Test sonuçları incelendiğinde tufal ilavesiyle elde ettiği kompozitlerin ısı absorblama miktarı artış göstermiştir. Yani artan konsantrasyon ile birlikte malzemenin erime entalpisi artmış böylelikle bozunma entalpisi yükselmiştir. Çalışmamıza benzer şekilde Gülsoy ve Taşdemir (Gülsoy ve Taşdemir, 2006); polipropilen matris içerisine demir tozu ilavesiyle kompozitlerin fiziksel özelliklerini incelediği çalışmasında artan demir miktarı ile HDT ve vicat sıcaklıklarının arttığını gözlemlemiştir. Şekil 4C'de verilen nem testi sonuçları incelendiğinde; tufal ilavesiyle nem oranını azaldığı dolayısıyla neme karşı direnç kazandığı görülmektedir. Tufal konsantrasyonunun %5 ve 7 olduğu durumlarda nem miktarı ciddi bir değişiklik göstermemiştir; bunun aksine %9 oranında katılan tufal, saf ABS'nin nem çekme kapasitesini yaklaşık %25 oranında azaltmıştır. Polimer kompozitlere ait MFI değerleri Şekil 4D'de verilmiştir. Yapılan test sonuçları incelendiğinde; %3 oranında tufal ilavesi saf ABS'nin MFI değerini yaklaşık %15 oranında azaltmıştır ve tufal miktarı arttıkça bu değer düşmeye devam etmiştir. En düşük MFI değeri %9 oranında tufal içeren numunelerde görülmektedir. Şekil 4E'de yer alan yoğunluk testi sonuçları incelendiğinde; ABS polimer matrise katılan tufalin yoğunluğu artırdığı görülmektedir. Hacimce %9 oranında katılan çelik tufali ile elde edilen karışım en yüksek yoğunluk değerine sahiptir. Ulutaş ve arkadaşları (Ulutaş ve ark, 2021) çalışmalarında; bir başka endüstriyel atık olan ve yapısında demir, titanyum, alüminyum minerallerini barındıran kırmızı çamurun yüksek yoğunluklu polietilen ve düşük yoğunluklu polietilen üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Yapmış oldukları testler neticesinde; yoğunluk değerinde bu çalışmada elde edilen benzer sonuçlara ulaşmışlardır. Kullandıkları polimerlerden daha yüksek yoğunluğa sahip olan kırmızı çamur (2.5-2.7 g/cm³) ilavesinin polimer kompozitlerin yoğunluk değerini artırdığını ve artan konsantrasyonla birlikte bu değer artmaya devam ettiğini gözlemlemişlerdir. Şekil 4F'de verilen sertlik testi sonuçları incelendiğinde ABS içerisinde tufal katılmasıyla malzemenin sertliğinin arttığı görülmüştür. Yapısında bulundurduğu demir oksitli fazlardan dolayı daha sert bir yapıya sahip olan çelik tufali polimerin sertliğini artırmıştır ve tufal konsantrasyonundaki artışı bağlı olarak sertlik değeri artmaya devam etmiştir. Güngör'e ait bir çalışmada (Güngör, 2005) yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) içerisine demir tozu (%5, 10, 15 oranında) katarak elde ettiği polimer kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemiştir. Yapmış olduğu Shore sertlik testinde bu çalışma ile benzer sonuçlara ulaşmıştır. Fe partikülleri, YYPE'nin sertliğinde iyileştirici bir rol oynamıştır.

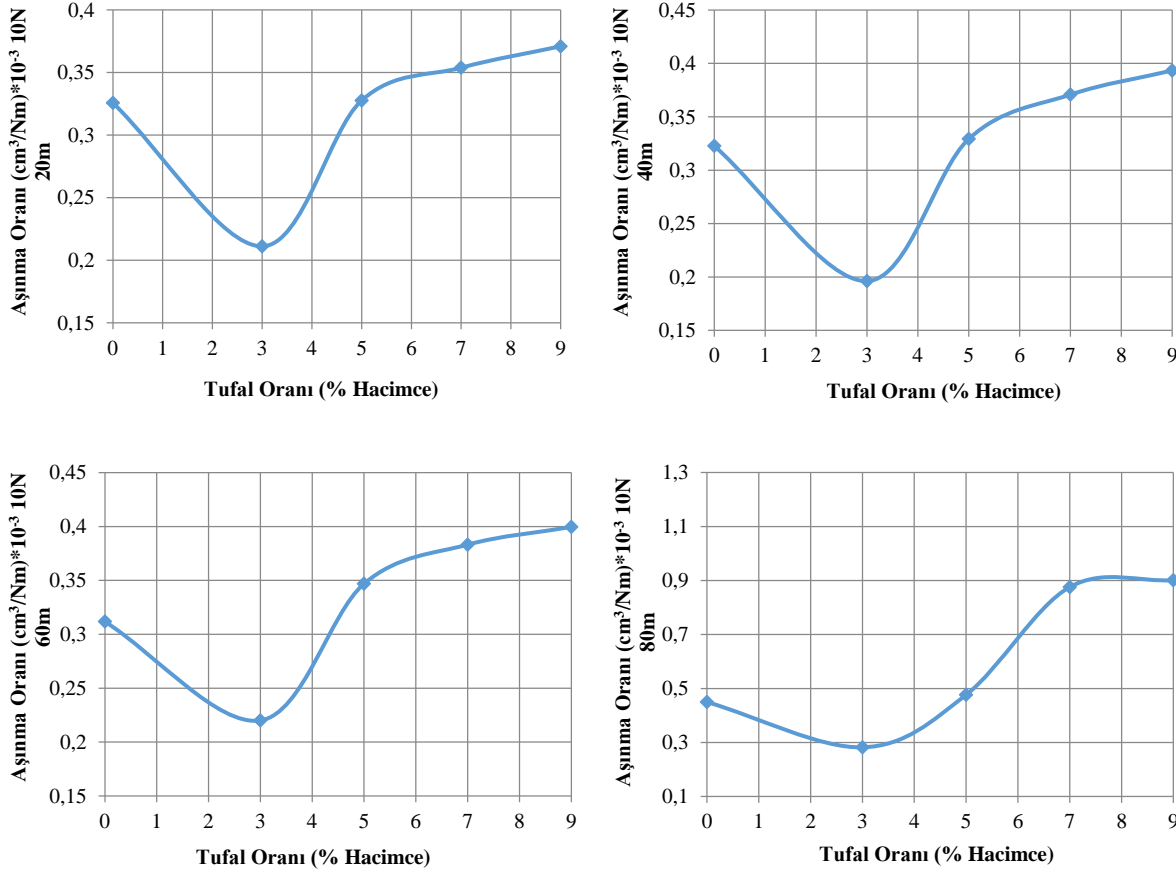
Elde edilen polimer kompozitlere ait aşınma testi sonuçları Şekil 5'te verilmiştir. Farklı aşındırma mesafelerindeki (20, 40, 60, 80 m) grafikler incelendiğinde; hacimce %3 oranında tufal içeren polimer kompozitlerin en düşük aşınma oranına sahip olduğu dolayısıyla daha yüksek aşınma direnci gösterdiği görülmektedir.



Şekil 4. ABS/çelik tufali polimer kompozitlerine ait fiziksel özellikler

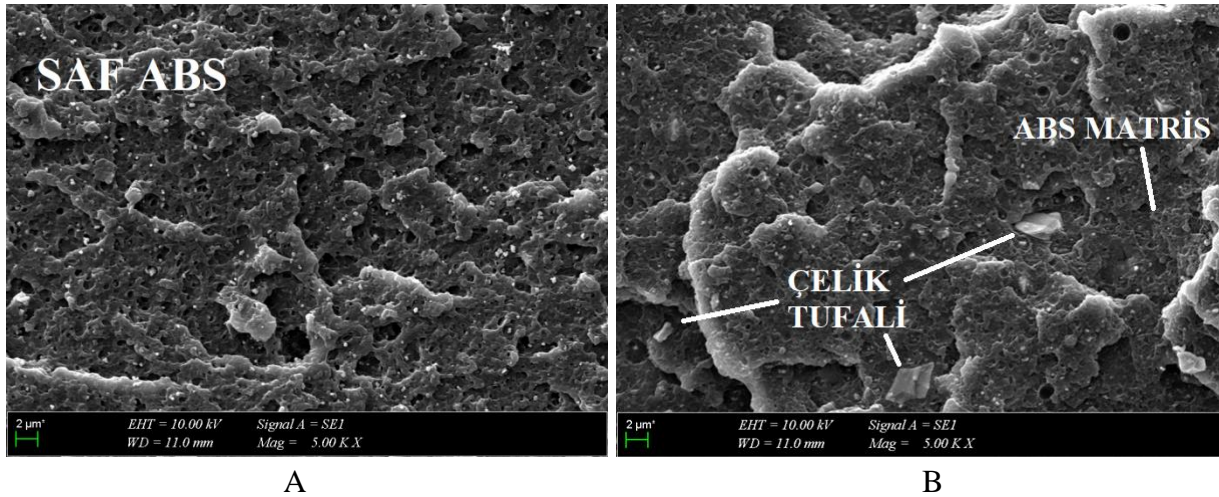
Bunun aksine matris içerisindeki tufal konsantrasyonu arttıkça aşınma oranı artış göstermiştir. Gök ve arkadaşları (Gök ve ark, 2018) ticari ismi clarofast olan bir polimer içerisine endüstriyel atık olan tufali katarak polimer kompozitlerin aşınma davranışını incelemişlerdir. Kompozitlerin aşınma davranışlarını inceledikleri çalışmalar sonucunda; takviye edici malzemenin konsantrasyonunun artmasıyla numunelerdeki hacim kütle kayıplarının azaldığını tespit etmişlerdir. Kiraz (Kiraz, 2019) yapmış olduğu çalışmada; oda sıcaklığında 5N ve 10N yük altında %5, 10, 15, 20 oranında demir oksit takviyeli polipropilenin aşınma davranışını incelemiştir. Deney sonuçlarına göre; en iyi aşınma direnci dolayısıyla en düşük hacim kaybı %5 oranında demir oksit içeren numunelerde görülmüştür ve demir

oksit içermeyen numuneler en yüksek hacim kaybı oranına sahiptir. Ayrıca artan yük ile birlikte hacim kaybı paralel olarak artmıştır. Aşınma davranışının incelendiği bir başka çalışmada Özcan (Özcan, 2019) polimer matrisli kompozit üretiminde kullandığı haddehane tufalinin etkilerini araştırmıştır. Abrasif aşındırıcı kullanarak gerçekleştirdiği deneylerde yüksek oranda sert takviye edici içeriğe sahip kompozitlerin aşınma dirençlerinin daha yüksek olduğunu belirlemiştir.



Şekil 5. ABS/çelik tufali polimer kompozitlerinin aşınma oranı değerleri

Taramalı elektron mikroskopu ile yapılan saf ABS'ye ait mikroyapı görüntüleri Şekil 6A'da verilmiştir. Ayrıca Şekil 6B'de verilen ABS/çelik tufali polimer kompozitine ait mikroyapı görüntüleri incelendiğinde; çelik tufalinin yapı içerisinde homojen bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Çelik tufal partiküllerinin polimer matrisine iyi tutunmadığı başka bir deyişle çelik tufali ve ABS arasındaki adezyonun çok iyi olmadığı görülmektedir. Toz metalurjisi ile üretilen tozlar küresel, yuvarlak, pul, düzensiz, çubuk, açılı ve geometrik olarak farklı şekillerde olabilir. Özcan'a ait bir tez çalışmasında ve Gök ve arkadaşlarına ait bir çalışmada SEM analizi sonucuna göre; öğütülmüş tufal partiküllerinin pulu ve girinti çıkıntılara sahip, köşeli geometrik bir görünüme sahip olduğu belirtilmiştir. ABS matris içerisinde gömülü olan tufal partiküllerinin keskin köşeleri bulunan geometrik bir yapıya sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 6. ABS/çelik tufali polimer kompozitlerine ait mikroyapı görüntüleri

SONUÇ

Çelik tufali 5.0122 g/cm^3 yoğunluğa sahip olduğundan daha düşük yoğunluktaki ABS polimer matris içerisine katıldığında karışımın yoğunluğunu artırmıştır. Ayrıca tufalin yapı içerisindeki miktarının artırılmasıyla yoğunluk artmaya devam etmiştir. En düşük HDT ve vicat değerine sahip olan saf ABS'e tufal ilavesiyle bu değerler artış göstermiştir. Dolayısıyla çelik tufalinin ilavesi polimere termal direnç kazandırmıştır ve bunun sebebinin ABS ve tufal arasında oluşan kimyasal etkileşimin zincir hareketini engellemesi olduğu düşünülmektedir. Polimerlerde aşınma davranışını deney şartları, kullanılan malzeme ve aşındırıcı özellikleri gibi birçok parametre etkilemektedir. Aşınma direncini etkileyen faktörlerin başında yoğunluk ve sertlik yer almaktadır. Bir cismin kendisine batmaya çalışan başka bir cisme karşı gösterdiği direnç sertlik olarak tanımlanmaktadır. Malzemenin sertliği arttıkça; aşındırıcı zımparaya karşı gösterilen direnç artacağından malzemenin aşınma direnci de artış gösterecektir. Yani; genellikle yoğunluk ve sertliğin artmasıyla malzemenin aşınma davranışı direnç kazanmaktadır. Polimere kıyasla daha yüksek sertliğe ve yoğunluğa sahip olan tufalin ABS matris içerisine katılmasıyla kompozitin sertlik ve yoğunluk değeri artış göstermiştir. Buna bağlı olarak %3 oranında tufal, polimerin aşınma direncinde artışa sebep olmuştur. Bunun sebebi tufalin; ABS yüzeyi ve zımpara arasında koruyucu bir yatak görevi üstlenerek aşındırıcı yüzeye karşı polimere sert ve dayanıklı bir yapı kazandırmasıdır. Bunun aksine takviye oranının artmasıyla tufalin polimerin aşınma direncine katkısı azalmıştır. Takviye elemanı ve matris arasında oluşan arayüzeyin bağlanma direnci aşınma direncinin artırılmasında önemli bir etkiye sahiptir. Takviye oranının düşük olduğu yapılarda homojen dağılım olasılığı artarken, takviye oranının artmasıyla yapıda topaklanmalar meydana gelebilir. Buna bağlı olarak arayüzey bağlanmasında zayıflama meydana gelecektir. Tufal oranının artmasıyla aşınma direncinde meydana gelen düşüşün sebebi artan takviye miktarına bağlı olarak matrisle oluşan ara yüzey bağ dokunun zayıflaması olarak düşünülmektedir. Artan oranla birlikte birim alan başına düşen ve düşük arayüzey bağlanmasına sahip tufal miktarı artar. Bunun sonucunda aşınma direncinde düşüş meydana gelir. SEM ile elde edilen mikroyapı görüntüleri; takviye oranının artmasıyla matris malzemesi ve tufal arasında güçlü bir yapılaşma olmadığını doğrulamaktadır. Dolayısıyla aşınmaya maruz kalan yüzeylerde tutunamayan tufal, iyi bir yapışma sağlayamadığı için çukurlar oluşturarak aşınma direncinin azalmasına neden olmuştur. Bu olumsuz etkinin azaltılması için polimer ve takviye elemanı arasındaki yapışmayı arttıracak uyumlaştırıcı bir malzeme kullanılması önerilir. Polimerlerin aynı şartlara sahip olduklarını anlamamıza yardımcı olan MFI testi aynı zamanda polimerlerin işleme şartlarını belirlemede ve akışkanlığı hakkında yorum yapmamızda öncü bir test yöntemidir. MFI değerindeki düşüş akışkanlığın

azaldığını yani polimerin viskozitesinin arttığını ifade etmektedir. Çelik tufali, ABS matris içerisine ilave edildiğinde polimerin MFI değerini düşürmüştür. Bu durumda polimer kompozitler daha az akışkan yani yüksek viskoziteli bir yapıya geçmiştir.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

- Anonim, (2015) https://www.bilecikdemircelik.com.tr/wp-content/uploads/2021/02/EFRS_Celik-Uretiminde-Surdurulebilir-Kaynaklarinin-Degerlendirilmesi-Makale-002-rev-MB.pdf (Şubat, 2022)
- Arancı E, (2018). Manyetit Cevheri Konsantrasyonunun Karbonize Çay Tesis Atıkları İle Mikrodalga Redüksiyonuna Mekanik Aktivasyon İşleminin Etkisinin Araştırılması, Fırat Üniversitesi, Doktora Tezi (Basılmış).
- Arıcı E, Keleştemur O, (2018). Tufal Katkılı Harçların Basınç Dayanımının Taguchi Metodu ile Analizi. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. 30(3), 145-151.
- Arıcı E, Keleştemur O, (2021). Gri İlişkisel Analiz Yöntemi İle Tufal Katkılı Harçların Basınç Dayanımı Ve Porozitesinin Optimizasyonu. Politeknik Dergisi, 24(4), 1445-1452.
- Bayraktar G, (2020). Tufal Katkılı PE Matrisli Kompozitlerin Tribolojik Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Erciyes Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Cihangiroglu E, (2021). Demir Çelik Atıklarından Olan Tufalin Alternatif Yöntemlerle Değerlendirilmesi, Fırat Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Das B, Prakash S, Redy PSR, Misra VN, (2007). An Overview of Utilization of Slag and Sludge from Steel Industries. Resources, Conservation and Recycling. 50, 40-57.
- Ganeshprabhu P, Chandrasekaran P, Farzana AS, (2018). Mechanical And MicroStructural Characteristics Of Steel Mill Scale As A Partial Replacement For Fine Aggregate İn Concrete, Taga Jörn, 14, 306-322.
- Ghosh K, Maiti SN, (1996). Mechanical Properties of Silver-Powder-Filled Polypropylene Composites, Journal of Applied Polymer Science. 60(3), 323-331.
- Göçmen E, Özgüven A, Köybaşı Ö, Aydınarı AO, Yeşil K, Göknaş Yaşar Ö, Coşkun SH, Vural EU, (2020). Tufalin, Öğütme Ve Peletlemeye Hazır Hale Getirilip Atık Olarak Değerlendirilmesi ve Katma Değerinin Arttırılması. 3. Çevre Mühendisliği Kaynak Geri Kazanımı Uluslararası Kongresi. Güven Plus Grup Danışmanlık A.Ş. Yayınları. İstanbul. Prof. Dr. Mustafa TALAS, Doç. Dr. Gökşen ARAS.
- Gök MS, Çay VV, Koçyiğit F, (2018). Endüstriyel Atık (Tufal) Takviyeli Clarofastın Kuru-Kayma Aşınma Davranışları. International Engineering and Natural Sciences Conference (IENSC 2018). 1084-1090.
- Gökpınar B, Gökpınar S, (2019). Endüstriyel Yan Ürünlerin Yeniden Değerlendirilmesi. Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi, 2(3), 103-111.
- Gündoğdu N, (2013). Demir-Çelik Tesislerinde Açığa Çıkan Tufalden Demirin Geri Kazanımı, İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış)
- Güngör A, (2005). The Physical and Mechanical Properties of Polymer Composites Filled with Fe-Powder. Journal of Applied Polymer Science, 99(5), 2438-2442.

- Gülsoy HÖ, Taşdemir M, 2006. Physical and Mechanical Properties of Polypropylene Reinforced With Fe Particles. *International Journal of Polymeric Materials*. 55: 619-626.
- Kaya D, (2019). Demir Çelik Sektöründe Enerji Verimliliği. *Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(2)
- Keleştemur O, Arıcı E, (2020). Analysis Of Some Engineering Properties Of Mortars Containing Steel Scale Using Taguchi Based Grey Method. *Journal Of Building Engineering*. 29. <https://doi.org/10.1016/j.job.2019.101015>
- Kiraz AT, (2019). Polimer Matrisli Demir Oksit Takviyeli Kompozit Malzemenin Kuru Kayma Aşınma Davranışı, *Bartın Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış)*.
- Mohamed A, (2017). Investigation Of Gamma Radiation Shielding And Compressive Strength Properties Of Concrete Containing Scale And Granulated Lead-Zinc Slag Wastes, *J. Clean. Prod.* 166, 157-162.
- Motz H Geiseler J, (2001). Products Of Steel Slags An Opportunity To Save Natural Resources. *Waste Management*. 21, 285-293.
- Murthy Y, Agarwal A, Pandey A, 2017. Characterization Of Mill Scale For Potential Application In Construction Industry, *Indian J. Engineering*. 14 (35): 71-76.
- Özcan M, (2019). Haddehane Tufalinin Polimer Matrisli Kompozit Üretiminde Kullanımı, *Bartın Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış)*.
- Roslan NH, İsmail M, Yusuf TO, (2013). Evaluation of By-Product from Steel Industry as Cement Replacement. *4th International Graduate Conference on Engineering Science & Humanity, Johor, Malezya*.
- Rusu M, Rusu D, (2001). Mechanical and Thermal Properties of Zinc Powder Filled High Density Polyethylene Composites, *Polymer Testing*. 20, 409-417.
- Taşdemir M, Gülsoy HÖ, (2006). Physical and Mechanical Properties on Iron Powder Filled Polystyrene Composites. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*. 45, 1207-1211.
- Tuna Kayılı M, Çelebi G, Gültaş A, (2018). Sürdürülebilir Yapı Malzemesi Hedefiyle Demir Çelik ve Plastik Endüstrisi Atıklarının Geri Kazanımı, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 33(2), 33-44.
- Turhan, E, (2019). SHS Yöntemi İle Tufal Kullanılarak $AlFe_2B_2$ İntermetalik Bileşiğinin Üretimi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış)*.
- Ulutaş E, Yazgan ZH, Uzun Kart E, Taşdemir M, (2021). Metalurjik Atık Takviyesinin HDPE ve LDPE Polimer Kompozitler Üzerine Etkileri. *UMÜFED Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*. 3(2), 33-46.

Atf İçin: Aydoğmuş, R., Uysal, T. ve Erdemoğlu, M. (2023). Pirofillit Cevherinden Alümina Üretimine Zenginleştirme Yöntemlerinin Etkisi. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 1297-1305.

To Cite: Aydoğmuş, R., Uysal, T. & Erdemoğlu, M. (2023). The Effect of Beneficiation Methods on Alumina Production from Pyrophyllite Ore. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 1297-1305.

Pirofillit Cevherinden Alümina Üretimine Zenginleştirme Yöntemlerinin Etkisi

Ramazan AYDOĞMUŞ¹, Turan UYSAL^{2*}, Murat ERDEMOĞLU¹

Öne Çıkanlar:

- Pirofillit cevherinin flotasyon ve aşındırma yıkama yöntemiyle zenginleştirilmesi
- Zenginleştirilen konsantreden asit liçi ile Al kazanımı
- Zenginleştirme yöntemlerinin Al kazanımına etkisi

ÖZET:

Bu çalışmada, pirofillit cevherinden alüminyum (Al) kazanımı üzerine farklı zenginleştirme yöntemlerinin etkisi araştırılmıştır. Zenginleştirme yöntemleri pirofillitin doğal hidrofob yapısından dolayı flotasyon yöntemi, kırılabilirlik farklılığından dolayı ise Aşındırma Yıkama (AY) yöntemi kullanılmıştır. Zenginleştirme sonucu konsantre numunelere HCl ile liç işlemi yapılmış, liç sonucu çözültüye geçen Al miktarları karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Pirofillit cevherinin AY yöntemi ile zenginleştirilmesi sonucu %54.79 verimle %27.44 Al₂O₃ tenörlü bir konsantre, flotasyon yöntemi ile ise %30.49 verimle %28.05 Al₂O₃ tenörlü bir konsantre elde edilmiştir. Buna göre zenginleştirme verimi açısından AY yöntemi daha verimli iken liç verimi açısından ise flotasyon yönteminin daha verimli olduğu belirlenmiştir. Tüvenan cevhere göre nihai alümina miktarı ve saflığı birlikte değerlendirildiğinde doğrudan liç ve AY konsantresi değerlerinin birbirine yakın olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak pirofillit cevherinden alümina üretimi için ayrıntılı ekonomik analiz yapılarak uygun yöntemin belirlenmesinin daha doğru olacağı değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler:

- Pirofillit
- Aşındırma yıkama
- Flotasyon
- Liç
- Alümina

The Effect of Beneficiation Methods on Alumina Production from Pyrophyllite Ore

Highlights:

- Beneficiation of pyrophyllite ore by flotation and attrition scrubbing method
- Al recovery from the enriched concentrate by acid leaching
- The effect of beneficiation methods on Al recovery

ABSTRACT:

In this study, the effect of different beneficiation methods on aluminum recovery from pyrophyllite ore was investigated. Flotation method was used due to the naturally hydrophobic structure of pyrophyllite, and Attrition Scrubbing (AS) methods was used due to the difference in fragility. As a result of the beneficiation, concentrated samples were leached with HCl, and the amount of Al transferred to the solution as a result of the leaching was compared and evaluated. As a result of the beneficiation of the pyrophyllite ore with the AY method, a concentrate with a grade of 27.44% Al₂O₃ with a recovery of 54.79%, and a concentrate with a grade of 28.05% Al₂O₃ with a recovery of 30.49% by the flotation method. Accordingly, it was determined that the attrition scrubbing method was more efficient in terms of beneficiation efficiency, while the flotation method was more efficient in terms of leaching efficiency. When the final alumina amount and purity according to the raw ore were evaluated together, it was determined that the values of direct leaching and AY concentrate were close to each other. As a result, it is considered that it would be more accurate to determine the appropriate method by performing detailed economic analysis for the production of alumina from pyrophyllite ore.

Keywords:

- Pyrophyllite
- Attrition scrubbing
- Flotation
- Leaching
- Alumina

¹ Ramazan AYDOĞMUŞ ([Orcid ID: 0000-0002-8127-6775](https://orcid.org/0000-0002-8127-6775)), Murat ERDEMOĞLU ([Orcid ID: 0000-0003-2922-7965](https://orcid.org/0000-0003-2922-7965)), İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü Malatya, Türkiye

^{2*} Turan UYSAL ([Orcid ID: 0000-0003-1643-6725](https://orcid.org/0000-0003-1643-6725)), Munzur Üniversitesi, Nadir Toprak Elementleri Araştırma ve Uygulama Merkezi, Tunceli, Türkiye

***Sorumlu Yazar/Corresponding Author:** Turan UYSAL, e-mail: turanuysal@munzur.edu.tr

Etik Kurul Onayı / Ethics Committee Approval: Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler

GİRİŞ

Pirofillit ($Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$), teorik olarak %28.3 Al_2O_3 içeren fillosilikat yapıları bir kil mineralidir. Sahip olduğu bazı termal üstünlükler nedeniyle değişik seramik ve refrakter malzemeler üretiminde katkı olarak ve daha çok beyaz çimento üretimi için tüketilen bir kil mineralidir (Birinci, 2002). Dünyadaki bazı pirofillit yatakları özellikle demir içeriğinin yüksek olması nedeniyle kullanılmamaktadır. Ocaklarda sadece seramik için uygun cevherler işletilmekte, diğer kısımlar atıl olarak kalmaktadır. Bu tür cevherlerin kullanılması durumunda pirofillit için yeni bir tüketim alanı doğmuş olacaktır. Bunun yanında özellikle düşük kalitedeki pirofillit cevherlerinin katma değeri yüksek yeni bir ürüne dönüştürülmüş olmasıyla pirofillit çok daha kıymetli hammadde haline gelecektir (Erdemoğlu ve ark., 2018a). Kısaca, doğada bol bulunan ve madenciliği daha ekonomik olan yüksek alüminalı ve safsızlık sorunundan dolayı seramik ve çimento sektöründe kullanılmayan kil minerallerinin alümina üretimi için değerlendirilmesinin sürdürülebilir kaynak kullanımının sağlanacağı ve daha çevreci olacağı değerlendirilmektedir.

Dünyanın her bölgesinde bulunabilen şeyller (Miao ve ark., 2011), alunite (Li ve ark., 2018), nefelinli siyenit (Arlyuk vd., 1992; Jorjani ve Amirhosseini, 2007), uçucu küller (Shemi ve ark., 2014; Xu ve ark., 2016; Tripathy ve ark., 2019) ve özellikle kaolinit (ElDeeb vd., 2019) ve pirofillit (Erdemoğlu ve ark., 2017; Birinci ve ark., 2017; Erdemoğlu ve ark., 2018; Uysal, 2018) gibi yüksek alüminyum içerikli kil mineralleri boksit dışı kaynak olarak oldukça dikkat çekmektedir. Dünyada boksit dışı kaynaklardan alümina üretimine örnek olarak Rusya'da RusAl firmasının nefelin siyenitinden alümina üretimi, İran'da Sadrab Sanat firmasının nefelin siyenitten pilot ölçekli alümina üretimi ve Kanada'da AEM firmasının kaolinit ve uçucu külden yüksek saflıkta alümina üretimi verilebilir.

Erdemoğlu ve Sarıkaya (1999), Pütürge pirofillit cevherinin farklı köpürtücü reaktifler varlığında flotasyon yöntemiyle zenginleştirmede Dietil Hegzanol (DEH) kullanılarak, %26.55 Al_2O_3 ve %65.71 SiO_2 içerikli bir konsantre elde etmişlerdir. Birinci (2002), %13.90 Al_2O_3 içeriğine sahip Pütürge pirofillit cevherini AY yöntemiyle zenginleştirme sonucu %27.30 Al_2O_3 tenörlü bir konsantre elde etmiştir. Birinci ve Erdemoğlu (2016), Pütürge pirofillit cevherinin zenginleştirilmesinde -75 μm tane boyutunda Metil İzobütül Karbinol (MIBC) köpürtücü kullanarak yaptıkları flotasyon deneyleri sonucunda, saf pirofillitin Al_2O_3 içeriğine yakın ve düşük SiO_2 içerikli konsantreler elde etmişlerdir.

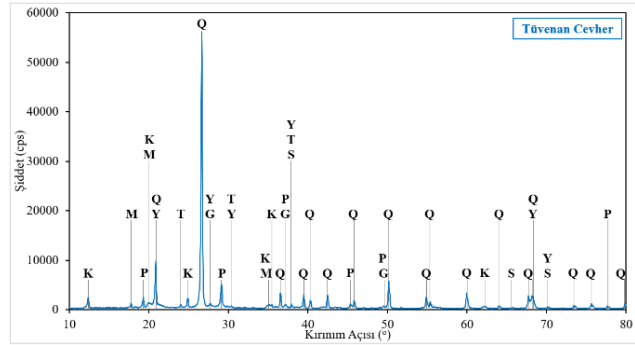
Bu çalışmada da kil minerali olan Pütürge pirofillit cevherinin zenginleştirilmesi çalışılmıştır. Çalışma kapsamında AY ve flotasyon yöntemleri ile zenginleştirme yapılmıştır. Bu yöntemlerle elde edilen konsantreler için HCl liçi yapılmış ve çözeltiye geçen Al miktarları belirlenerek zenginleştirme yöntemleri değerlendirilmiştir.

MATERYAL VE METOT

Materyal

Çalışmada kil minerali olarak Malatya ili Pütürge ilçesindeki Şahantepe pirofillit ocaklarından parça iriliğinde pirofillit cevheri alınmıştır. Cevheri oluşturan minerallerin tespit edilmesi amacıyla yapılan X-Işını Difraksiyonu (XRD) analizi sonucu Şekil 1'de verilmiştir. Pirofillit cevherinin element içeriği İndüktif Eşleşmiş Plazma (ICP-OES) analizi ile belirlenmiş ve analiz sonucu ise Çizelge 1'de verilmiştir.

Kimyasal analiz ve XRD verilerine göre yapılan mineralojik analiz sonucu cevher başlıca; kuvars (SiO_2), pirofillit ($\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$; PDF# 46-1308), kaolinit ($\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$; PDF# 29-1488), kyanit (Al_2OSiO_4 ; PDF# 46-1045), muskovit ($\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$; PDF#07-0042), paragonit ($\text{NaAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$; PDF# 12-165), diyaspör ($\text{AlO}(\text{OH})$; PDF# 11-46) ve topaz ($\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{F},\text{OH})_2$; PDF# 12-765) minerallerinden oluşmaktadır.



Şekil 1. Pirofillit cevherinin XRD analizi (P: Pirofillit, Q: Kuvars, K: Kaolinit, M: Muskovit, Y: Kyanit, T: Topaz, G: Paragonit, S: Diyaspör)

Çizelge 1. Pirofillit cevherinin ICP-OES analizi sonucu

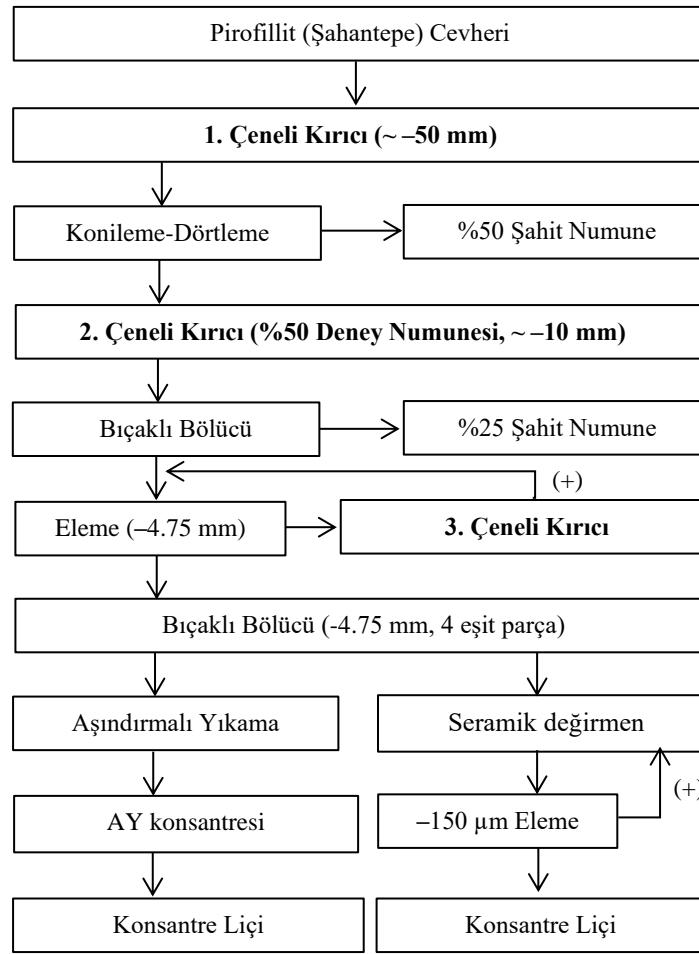
%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%Fe ₂ O ₃	%MgO	%CaO	%TiO ₂	%K ₂ O	%Na ₂ O	%P ₂ O ₅	%MnO	A.K*
72.92	20.64	0.18	0.07	0.29	0.44	0.86	0.15	0.25	<0.01	4.10

A.K.: Ateşte Kayıp (1000 °C)

Yöntem

Pirofillit cevheri boyut küçültme amacıyla sistematik olarak kırılmıştır. Kırma işlemi çıkış açıklığı ayarlanabilen Pulverisette I model (Fritsch) çeneli kırıcı ile kademeli olarak -4,75 mm boyutuna kırılmıştır. Kırılan numunenin öğütülmesinde, değirmen iç çeperlerindeki aşınmanın numuneyi kirletmemesi için çelik yerine laboratuvar tipi seramik değirmen ve 10 mm çapında alümina bilyalar ile öğütme yapılmıştır. Öğütülmüş cevher ASTM E-11 tip test elekleriyle -0,5 mm boyutuna elenmiş sonra döner örnekleyici ile eşit parçalara bölünerek örnek alma işlemi yapılmıştır (Şekil 2).

AY deneyleri, IKA RW20 mekanik karıştırıcı ve cam hücre ile oluşturulmuş bir sistemde yapılmıştır. AY ile zenginleştirme parametreleri, Birinci (2002) ve Birinci, Erdemoğlu (2016) tarafından yapılan Pütürge pirofillit cevherinin zenginleştirilmesi çalışmasında ideal sonucu elde ettikleri parametreler temel alınarak deneysel çalışmalar yapılmıştır. Buna göre çalışma parametreleri; 500 g cevher, 214 ml orta sertlikte 60-120 TDS değerine sahip şebeke suyu, %70 ağırlıkça pülpte katı oranı, 1500 devir/dakika karıştırma hızı ve 60 dakika karıştırma süresinde çalışılmıştır. AY işleminden sonra 75 µm gözenek açıklığına sahip eleklerle yaş eleme yapılmış ve elek altı kısım "AY Konsantresi", elek üstü kısım ise "AY Artığı" olarak ayrılmış olup 105 °C sıcaklıkta 24 saat süre ile etüvde (Nüve FN120) kurutulmuştur. Elek boyutu seçiminde Birinci ve Sarıkaya (2004), Malatya-Pütürge pirofillit cevherinin AY yöntemiyle zenginleştirilmesini araştırdıkları çalışmadan yararlanılmıştır. Bu çalışmaya göre farklı tane boyutuna sahip besleme malzemeleriyle yapılan aşındırma yıkama işlemleri neticesinde tane boyu küçüldükçe Al₂O₃ tenörünün arttığı, SiO₂ tenörünün azaldığı belirlenmiştir. AY işleminden sonra en yüksek Al₂O₃ tenörüne en ince elek fraksiyonu olan -75 µm tane boyutunda ulaşılmış, pirofillit ve kaolinit bu boyutun altında kuvarstan büyük ölçüde ayrılmıştır.



Şekil 2. Pirofillit cevheri hazırlama, zenginleştirme ve liç deney akım şeması

Flotasyon deneyleri, Denver D-12 laboratuvar tipi flotasyon cihazı ile yapılmıştır. Zenginleştirme işleminde, Erdemoğlu ve Sarıkaya (1999) tarafından yapılan Pütürge pirofillit cevherinin flotasyonla zenginleştirme çalışmasından yararlanılmıştır. Flotasyon işlemi parametreleri şu şekildedir;

- Tane boyutu: -75 µm ve -150 µm
- Su miktarı: 1100 ml şebeke suyu
- Ağırlıkça katı oranı: %22.5 (310 g cevher)
- Karıştırma hızı: 1035 devir/dakika
- Koşullandırma süreleri: 10 dakika
- Köpürtücü miktarı: 100 g/ton PPG, DEH
- Köpük toplama süresi: 30 dakika

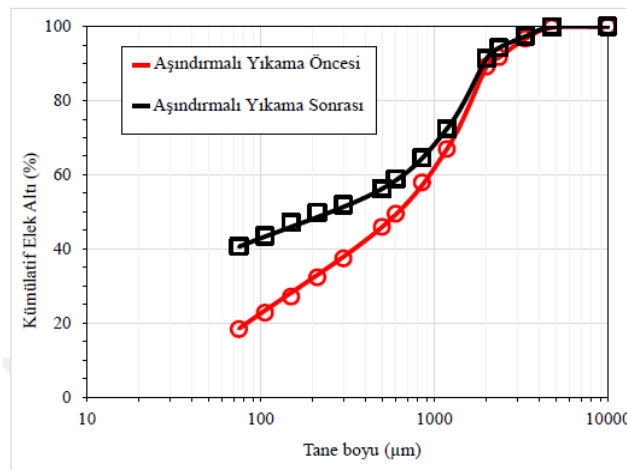
Her flotasyon işleminden sonra alınan konsantre ve artıklar etüvde 105 °C'de 24 saat süre ile kurutulmuştur. Liç işlemi, balon ısıtıcı cihazında 500 cm³ cam balonda, manyetik karıştırıcıyla karıştırılabilen geri soğutucu altında, çözelti sıcaklığının sürekli olarak gözetlendiği, çeker ocak içerisinde kurulmuş bir düzenele gerçekleştirilmiştir. Liç çalışmalarında Uysal (2018) Pütürge pirofillit cevherinden alümina üretimi üzerine yapmış olduğu doktora tez çalışmasında belirlenen ideal liç parametreleri temel alınarak yapılmıştır. Buna göre ideal liç koşulları; 4 M HCl, 108 °C, 24 saat, çözelti-cevher oranı 20 l/kg, -0.5 mm tane boyu, 600 devir/dakika karıştırma hızı olarak belirlenmiştir. Liç sonunda, ısıtma ve karıştırma işlemi durdurulmuş vakum süzme yoluyla katı-sıvı ayırımı yapılmıştır. Yüklü liç çözeltilerinin Al tayini iCE 3000 model Alevli Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi (FAAS) cihazı ile yapılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Aşındırmalı Yıkama Yöntemi ile Zenginleştirme

AY ile zenginleştirmede-4.75 mm boyutlu besleme malzemesi ve AY sonrası kümülatif elek altı eğrileri Şekil 3’de verilmiştir. Kümülatif elek altı eğrileri ile hesaplanan d_{90} kıyaslandığında, AY öncesi 2060 μm iken AY sonrası bu değer 1900 μm ’ye düştüğü, AY ile birlikte tane boyutunun azaldığı görülmektedir. Yani cevherde Al içeren pirofillit, kaolinit ve muskovit gibi kil minerallerinin AY yönteminin etkisiyle ince boyuta geçtiği çıkarımı yapılmıştır. AY ile zenginleştirme işlemleri sonunda, elde edilen konsantrenin ICP-OES analizi sonucu Çizelge 2’de verilmiştir. Buna göre %54.79 zenginleştirme verimi ile %27.44 Al_2O_3 tenörlü konsantre elde edilmiştir. Zenginleştirme oranı beslenen cevher ağırlığının, elde edilen konsantrenin ağırlığına oranıyla hesaplanmış ve 2.42 olarak bulunmuştur. ICP-OES analizi sonuçlarına göre, AY konsantresinin SiO_2 içeriği azalırken, Al_2O_3 , K_2O ve Na_2O içerikleri artmıştır. Konsantre ve artıkların XRD analiz sonucu Şekil 4’de verilmiştir.

AY ve flotasyon deneylerinde zenginleştirme tane boyutundan bağımsız olarak en iyi zenginleştirme verimlerinin elde edildiği parametrelerde çalışılmıştır.



Şekil 3. Zenginleştirme öncesi ve zenginleştirme sonrası elde edilen ürünün kümülatif elek altı eğrileri

Çizelge 1. Aşındırmalı yıkama konsantresinin (-75 μm) ve artığının (+75 μm) ICP-OES analizi sonucu

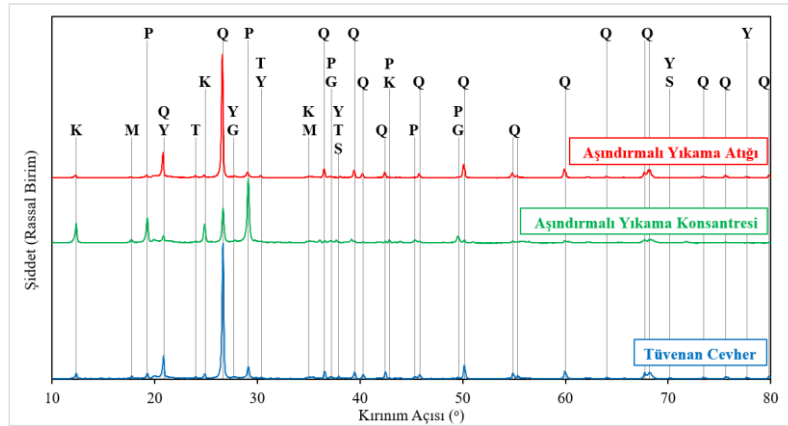
	% SiO_2	% Al_2O_3	% Fe_2O_3	% MgO	% CaO	% Na_2O	% K_2O	% TiO_2	% P_2O_5	A.K*
+75 μm	82.58	13.47	0.05	0.04	0.19	0.09	0.44	0.42	0.17	2.40
-75 μm	64.11	27.44	0.31	0.08	0.36	0.18	1.18	0.34	0.29	5.60

*A.K.: Ateşte Kayıp (1000 °C)

Cevherde bulunan ve Mohs sertlikleri 1-3 arasında değişen pirofillit, kaolinit, muskovit ve paragonit minerallerinin ince boyutlara ufalanarak konsantreye geçmesi, Mohs sertlikleri 5.5-7 arasında değişen kuvars, topaz, kyanit ve diyasporun ise ince boyutlara ufalanmayarak artıktaki kalması beklenmektedir. Şekil 4’deki AY konsantresi ve atığının XRD desenleri bu durumu desteklemektedir. Tüvenan cevhere kıyasla, sertliği yüksek olan minerallerin toz kırınım şiddetleri artıktaki artarken sertliği düşük olan kırılğan minerallerin toz kırınım şiddetleri konsantrede artmaktadır. Bu durum, aynı zamanda AY konsantresinin kimyasal analizinde görülen Al_2O_3 , K_2O ve Na_2O içeriklerinin artışı da açıklamaktadır. Sertliği düşük olup ufalanarak konsantreye geçen tüm mineraller Al içerirken, muskovit K ve paragonit ise Na içermektedir. Dolayısı ile konsantrede Al, K ve Na içerikleri artmıştır.

AY konsantresinde, tüvenan cevhere göre artan Fe_2O_3 içeriğinin sebebi, çelikten üretilmiş pervanelerin ince boyutlarda aşınarak konsantreye geçmesinden kaynaklanmaktadır. Böyle bir durumda konsantredeki Fe asit liçi ile çözünerek, elde edilecek alüminanın saflığını azaltacaktır. Bu nedenle çelik

yerine asitlere karşı dayanıklı olan teflon karıştırıcı kullanılması konsantrenin demir içeriğinin artmasını engelleyecektir (Aydoğmuş, 2020).



Şekil 4. Tüvenan cevher, AY konsantresi ve atığının XRD analizi

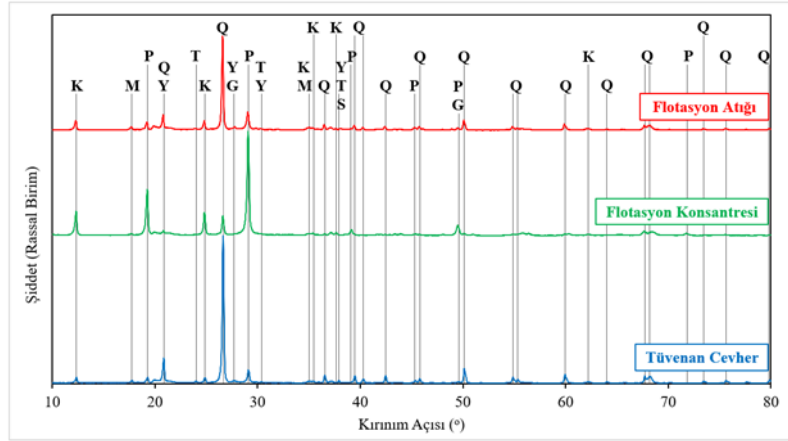
Flotasyon Yöntemi ile Zenginleştirme

Zenginleştirme işleminde Dietil Hegzanol (DEH) ve Polipropilen Glikol (PPG) köpürtücülerin farklı dozajlarda kullanıldığı bu çalışmada elde edilen veriler ile ön testler yapılmıştır. Oluşan pülp 1000 devir/dakika hızda 10 dakika karıştırılmış, 100 g/ton miktarında köpürtücü eklenerek, 10 dakika karıştırılmış ve hava verilerek 30 dakika süresince köpük alınmıştır. Bu çalışmada tane boyutunun flotasyon verimini etkisinin belirlenmesi amacıyla tane boyutu etkisi çalışılmıştır. Yöntem kısmında verilen parametreler temel alınarak yapılan flotasyon testleri sonucu konsantre ve artıkların ICP-OES analizi Çizelge 3'te verilmiştir. Flotasyon sonucu elde edilen konsantreden alınan temsili numunenin XRD analizi ise Şekil 5'de verilmiştir.

Çizelge 3'de, -150 µm boyutundaki konsantrelerin alümina içerikleri, -75 µm boyutundaki konsantrelere nispeten daha yüksek olduğu ve öğütme maliyeti de değerlendirildiğinde, çalışma tane boyutu -150 µm olarak belirlenmiştir. Bu tane boyutunda elde edilen konsantrelerin alümina içerikleri birbirlerine çok yakın olmasına rağmen PPG köpürtücünün zenginleştirme verimi daha yüksektir. Bu yüzden deneylerde PPG köpürtücü kullanılmıştır. Flotasyon işlemi için zenginleştirme oranı 5,13 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 2. Flotasyon ile zenginleştirme sonucu konsantre ve artıkların kimyasal analizi

Tane Boyutu, µm	Köpürtücü	Ürünler	%Miktar	%Al ₂ O ₃	%SiO ₂	Al ₂ O ₃ Verimi, %
-75	PPG	Besleme	100	20.64	73.41	29.43
		Konsantre	24.21	25.09	68.15	
		Artık	75.79	19.24	74.37	
	DEH	Besleme	100	20.64	73.41	39.42
		Konsantre	33.76	24.10	68.99	
		Artık	66.24	18.92	74.80	
-150	PPG	Besleme	100	20.64	73.41	30.49
		Konsantre	22.44	28.05	64.37	
		Artık	77.56	18.47	75.45	
	DEH	Besleme	100	20.64	73.41	22.06
		Konsantre	16.07	28.35	64.21	
		Artık	83.93	19.12	74.77	

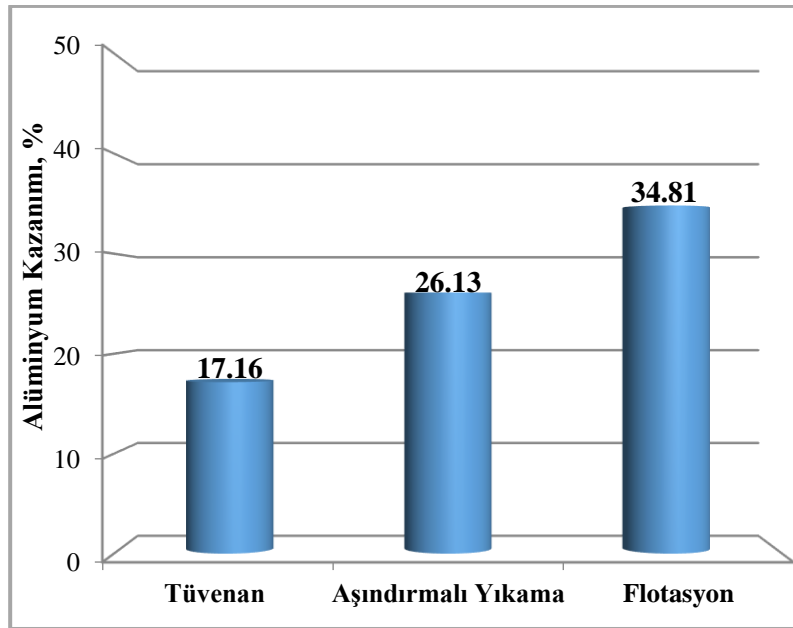


Şekil 5. Tüvenan pirofillit cevheri, flotasyon konsantresi ve atığının XRD analizi

Şekil 5'deki XRD desenleri ile ICP-OES sonuçları birbirini desteklemektedir. Konsantrenin kuvars pik şiddeti, tüvenan cevhere göre azalırken, pirofillit, kaolinit ve muskovit pik şiddetleri artmaktadır. Artıkta ise, tüvenan cevhere göre pirofillit, kaolinit ve muskovit pik şiddetlerinde belirli bir değişiklik gözlenmemiştir.

Liç Deney Sonuçları

Liç çalışmalarında Uysal (2018) Pütürge pirofillit cevherinden alümina üretimi üzerine yapmış olduğu doktora tez çalışmasında belirlenen ideal liç parametreleri temel alınarak yapılmıştır. Bu belirlenen liç parametrelerinde tüvenan cevher, AY ve flotasyon konsantrelerinin HCl liçi sonucu Al kazanımları Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Tüvenan cevher, aşındırmalı yıkama ve flotasyon konsantrelerinin liçi sonucu Al kazanım değerleri (Liç koşulları; 4 M HCl, 108 °C, 24 saat, çözelti-cevher oranı 20 l/kg, 600 devir/dakika karıştırma hızı)

Şekil 6'da liç verimleri incelendiğinde, flotasyon ile zenginleştirme yönteminin AY ile zenginleştirme yöntemine göre %8.68 daha yüksek Al kazanımı sağladığı belirlenmiştir. Tüvenan cevherden direkt liç sonucu Al elementinin %17.2'si kazanılmıştır. Uysal (2018) tez çalışmasında aynı yatağa ait ancak farklı yerlerden alınmış Pütürge pirofillit cevheri tüvenan cevher için liç verimi %10.57 olarak bulunmuştur. Bu farklılığın sebebinin yüklü çözeltilerden analiz yöntemi farklılığından, cevherin aynı ocak içerisinde farklı konumlardan alınması, içeriğinin farklı olmasından kaynaklanabileceği

düşünülmektedir. Uysal (2018) yüklü liç çözeltisinden Al analizini gravimetrik yöntemle yapmışken bu çalışmada AAS ile yapılmıştır.

Aşındırmalı yıkama işleminde %54.79 verimle zenginleştirme sonucu tüvenanın yaklaşık yarısının konsantre olarak alındığı ve %26.13 liç verimi ile kazanılması sonucu tüvenan cevhere göre nihai kazanım değeri %14 ($26.13 \cdot 0.548$) olmaktadır. Flotasyon için ise bu değer %11 ($34.81 \cdot 0.31$) olmaktadır. Her ne kadar tüvenan cevhere göre liç verimi açısından direkt liç daha verimli olsada, zenginleştirme verimi, nihai olarak elde edilecek alümina miktarı ve saflığı birlikte değerlendirildiğinde AY konsantresinin biraz daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Böylece nihai alümina miktarları 100 kg tüvenan cevher için 3.54 kg ($17.16 \cdot 0.206$) ve AY konsantresi için ise 3.93 kg ($14.31 \cdot 0.274$) olmaktadır. Bu değerlerin birbirine yakın olduğu ayrıntılı ekonomik analiz ile birlikte değerlendirme yapmanın daha doğru olacağı düşünülmektedir. Ayrıca, zenginleştirme yapılmasına rağmen Al kazanım değerlerinin düşük olduğu bunun için konsantrelerin liç öncesi mekanik aktivasyonla (aşırı öğütme) aktifleştirilmesi önerilmektedir (Aydoğmuş, 2019).

SONUÇ

Bu çalışmada, Pütürge pirofillit cevherinden alümina üretimi üzerine farklı zenginleştirme yöntemlerinin etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda yapılan çalışmaya göre aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Pütürge pirofillit cevherinin başlıca mineralleri; kuvars, pirofillit, kaolinit ve muskovit olduğu ve %20.64 Al_2O_3 ile %72.92 SiO_2 içerdiği belirlenmiştir.
2. Pirofillit cevheri AY yöntemi ile %54.79 verimle %27.44 Al_2O_3 tenörlü bir konsantre, flotasyon yöntemi ile ise %30.49 verimle %28.05 Al_2O_3 tenörlü bir konsantre elde edilmiştir.
3. Tüvenan, aşındırmalı yıkama ve flotasyon konsantrelerinin HCl liçi sonucu Al kazanım verimleri sırasıyla %17.16; %26.13 ve %34.81 olarak bulunmuştur. Tüvenan cevhere göre hesaplanan liç verimleri ise tüvenan %17.16; AY verimi %14.31; flotasyon verimi %10.6 olarak bulunmuştur. Tüvenan cevhere göre liç verimi açısından direkt liç daha verimli olsa da nihai olarak elde edilecek alümina miktarı ve saflığı birlikte değerlendirildiğinde AY konsantresinin biraz daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Nihai alümina değerlerinin birbirine yakın olduğu ekonomik analiz ile birlikte uygun yöntemin belirlenmesinin daha doğru olacağı düşünülmektedir.
4. Sonuç olarak pirofillit cevherinden alümina üretimi için nihai olarak elde edilecek alümina miktarı ve saflığı birlikte değerlendirildiğinde aşındırmalı yıkama yönteminin daha yüksek değere sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca liç verimlerinin oldukça düşük olduğu bu yüzden cevherin mekanik olarak aktifleştirilmesi önerilmektedir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, projeyi destekleyen İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine (FYL-1533 nolu proje) teşekkür ederler.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Bu çalışmada; Ramazan Aydoğmuş ve Murat ERDEMOĞLU literatür araştırması, deneylerin gerçekleştirilmesinde, sonuçların değerlendirilmesi ve makale yazımında, Turan UYSAL literatür araştırması, sonuçların değerlendirilmesi ve makale yazımında katkı sağlamışlardır.

KAYNAKLAR

- Arlyuk, B.I., So. D., Pivnev, A.I. (1992). *Efficiency of Nepheline Ore Processing for Alumina Production All-union Aluminum and Magnesium*. Leningrad, In: Peterson, W.S. (Ed.), Light Metals, Wiley-VCH.
- Aydoğmuş, R. (2019). *Zenginleştirilmiş Malatya-Pütürge Pirofillit Cevherinin Alümina Üretimi İçin Aktifleştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Malatya.
- Birinci, M. (2002). *Pirofillit Cevherinin Zenginleştirme Olanaklarının İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Malatya.
- Birinci, M. ve Erdemoğlu, M. (2016). Enrichment of Pütürge (Malatya, Turkey) Low-Grade Pyrophyllite Ore by Attrition-Scrubbing and Flotation. 15th International Mineral Processing Symposium, October 19-21, İstanbul.
- Birinci, M., Uysal, T., Erdemoğlu, M., Porgalı, E. ve Barry, T.S. (2017). Acidic Leaching of Thermally Activated Pyrophyllite Ore from Pütürge (Malatya, Turkey) Deposit. XVII. Balkan Mineral Processing Congress, November 1-3, Antalya.
- ElDeeb, A.B., Brichkin, V.H., Kurtenkov, R.V. ve Bormotov, I.S. (2019). Extraction of Alumina from Kaolin by A Combination of Pyro- and Hydro-metallurgical Processes. *Applied Clay Science*, 172, 146-154.
- Erdemoğlu, M. ve Sarıkaya, M. (1999). Malatya-Pütürge Pirofillit Cevherinin Flotasyonla Zenginleştirilmesi (sf: 124-131). 3. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 14-15 Ekim, İzmir.
- Erdemoğlu, M., Birinci, M. ve Uysal, T. (2018a). Kil Minerallerinden Alümina Üretimi: Güncel Değerlendirmeler. *Politeknik Dergisi*, 21(2), 387-396.
- Erdemoğlu, M., Birinci, M., Uysal, T., Tüzer, E. ve Barry, T.S. (2017). Acid Leaching Performance of Mechanically Activated Pyrophyllite Ore for Al₂O₃ Extraction. 9. International Conference on Mechanochemistry and Mechanical Alloying, September 3-7, Kosice.
- Erdemoğlu, M., Birinci, M., Uysal, T., Tüzer, E. ve Barry, T.S. (2018). Mechanical Activation of Pyrophyllite Ore for Aluminum Extraction by Acidic Leaching. *Journal of Material Science*, 53(19), 13801-13812.
- Jorjani, E. ve Amirhosseini, M. (2007). Alumina Production Process from Nepheline Ore in Razgah- Iran (pp: 111-115). International Seminar on Mineral Processing Technology (MPT-2007), Indian Institute of Mineral Engineers, February 22-24, Mumbai.
- Li, D., Jiang, K., Jiang, X., Wang, S., Fan, Y. ve Liu, W. (2018). The Recovery of Potassium Oxide and Alumina from Alunite Concentrate. *Hydrometallurgy*, 176, 1-8.
- Miao, L., Ji, G., Gao, G., Li, G. ve Gan, S. (2011). Extraction of Alumina Powders from the Oil Shale Ash by Hydrometallurgical Technology. *Powder Technology*, 207(1-3), 343-347.
- Shemi A., Ndlovu S., Sibanda V. ve van Dyk L.D. (2014). Extraction of Aluminum from Coal Fly Ash: Identification and Optimization of Influential Factors Using Statistical Design of Experiments. *International Journal of Mineral Processing*, 127, 10-15.
- Tripathy, B.K., Behera, B., Aishvarya, V., Sheik, A.R., Dash, B., Sarangi, C.K., Tripathy, B.C., Sanjay, K. and Bhattacharya, I.K. (2019). Sodium Fluoride Assisted Acid Leaching of Coal Fly Ash for the Extraction of Alumina. *Minerals Engineering*, 131, 140-145.
- Uysal, T. (2018). *Asit Liç Yöntemi ile Pirofillit Cevherinden Alümina Üretiminde Aktifleştirme Koşullarının Araştırılması*. Doktora Tezi, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye.
- Xu, D., Li, H., Bao, W. and Wang, C. (2016). A New Process of Extracting Alumina from High-alumina Coal Fly Ash in NH₄HSO₄ + H₂SO₄ Mixed Solution. *Hydrometallurgy*, 165(2), 336-344.

Atf İçin: Müdük, B. ve Zencirkıran, M. (2023). Bursa İli Mudanya İlçesi Aktif Yeşil Alanları Peyzaj Bitkileri Varlığı Üzerine Bir Araştırma. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 1306-1322.

To Cite: Müdük, B. & Zencirkıran, M. (2023). A Research on the Presence of Landscape Plants in Active Green Areas of Mudanya District of Bursa Province. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 1306-1322.

Bursa İli Mudanya İlçesi Aktif Yeşil Alanları Peyzaj Bitkileri Varlığı Üzerine Bir Araştırma

Burcu MÜDÜK¹, Murat ZENCİRKIRAN^{1*}

Öne Çıkanlar:

- Odunsu peyzaj bitkileri
- Aktif yeşil alanlar
- Bursa-Mudanya

ÖZET:

Mudanya ilçesi aktif yeşil alanlarında bulunan odunsu peyzaj bitkileri takson çeşitliliği ve dağılımlarının incelendiği bu çalışmada, Mudanya ilçesi aktif yeşil alanlarında 112 odunsu peyzaj bitki taksonu tespiti yapılmıştır. Mahallerde tespit edilen bu taksonların 41 familya ve 75 cins içerisinde yer aldıkları görülmüştür. Taksonların 74 adedinin ağaç, 38 adedinin çalı formunda oldukları belirlenmiştir. Mahalle parklarında 56, çocuk oyun alanlarında 37, spor alanlarında ise 15 farklı taksonun yer aldığı görülmüştür. 26 adet aktif yeşil alanda ise odunsu peyzaj bitkileri taksonu olmadığı belirlenmiştir.

Anahtar

Kelimeler:

- Mudanya
- Aktif yeşil alanlar
- Peyzaj bitkileri

A Research on the Presence of Landscape Plants in Active Green Areas of Mudanya District of Bursa Province

Highlights:

- Woody landscape plants
- Active green areas
- Bursa-Mudanya

ABSTRACT:

In this study, taxa diversity and distribution of woody landscape plants in the active green areas of Mudanya district were examined, and 112 woody landscape plant taxa were determined in the active green areas of Mudanya district. It has been observed that these taxa identified in the neighbourhoods are included in 41 families and 75 genera. It has been determined that 74 taxa were in the form of trees and 38 of them were in the form of bushes. It has been observed that there are 56 different taxa in the neighbourhood parks, 37 different taxa in the playgrounds and 15 different taxa in the sports areas. It was determined that there were no woody landscape plant taxa in 26 active green areas.

Keywords:

- Mudanya
- Active green areas
- Landscape plants

¹Burcu MÜDÜK ([Orcid ID: 0000-0001-8260-5043](https://orcid.org/0000-0001-8260-5043)), Murat ZENCİRKIRAN ([Orcid ID: 0000-0003-0051-8937](https://orcid.org/0000-0003-0051-8937)), Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Ana Bilim Dalı, Bursa, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Murat ZENCİRKIRAN, e-mail: zencirkiran@uludag.edu.tr

Bu çalışma Burcu MÜDÜK'ün Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

GİRİŞ

Günümüzde büyük kentlerde hızlı ve plansız gelişme, plan kararlarına aykırı yapılaşma, kentsel dönüşüm kararları gibi nedenler ile konut alanlarında yapı ve insan yoğunluğu hızlı bir şekilde artmaktadır. Bu durum, kentsel yeşil alanların hızla tahrip edilmesi, azalması ve kaybolması durumunu da beraberinde getirmekte, kentlerde yaşayan insanların doğa ile ilişkisinin kopmasına yol açmaktadır. Ayrıca, çalışma hayatındaki rekabet, gündelik hayattaki sorunlar, stres, gerginlik gibi olumsuz durumlardaki artış, insanları kendilerini yenileyebilecek mekânlar arayışına itmekte ancak kentleşme baskıları nedeni ile doğa ve çevre ile ilişkisi bozulan insanın kendisini yenileyebileceği mekânlar ve imkânlar giderek azalmaktadır (Aydoğdu Bıçak ve Erkan, 2020; Köşe ve Kara, 2021). Kentleşme insanlar için bir yandan sosyal ve kültürel bazı yararlar sunmakta diğer yandan yapay ve sağlıksız bir çevrede yaşama mecburiyeti oluşturmaktadır. Bu sebebler, kentsel alanlarda ekolojik dengeyi bozarak kişi başına düşen yeşil alan miktarını ve beraberinde peyzaj bitkilerinin varlığını da azaltmaktadır. Bu yüzden hızla kentleşen bir düzende sağlıklı ekolojik dengeden söz etmek oldukça zordur (Önder ve Polat, 2012).

Diğer yandan içinde bulunduğumuz son birkaç on yıldır daha fazla hissetmeye başladığımız küresel ısınmanın etkileri de kentsel yeşil alanları ve yeşil alanlarda kullanılan peyzaj bitkilerini tehdit etmektedir.

Yeşil alanların ana tasarım unsurlarından birisi olan aynı zamanda kentin ekosistemine; nem sağlama, hava kirliliğini önleme, fauna ve flora yaşam ortamı hazırlama, gürültüyü ve sera etkilerini azaltma, ışık yansımalarını önleme gibi fonksiyonel katkıları ile estetik değer katma katkılarına sahip olan peyzaj bitkilerinin, başarılı ve sürdürülebilir kullanımı için çevresel ve ekolojik özelliklerin göz önünde bulundurulması seçimi, doğru bitkinin doğru yerde kullanılması büyük önem arz etmektedir (Yılmaz ve Irmak, 2004; Zencirkıran, 2009; Zencirkıran ve Akdeniz Seyidoğlu, 2017). Bütün bu olumsuzluklardan yola çıkarak kent içi aktif yeşil alanlarda kullanılan peyzaj bitkilerinde (dolayısıyla aktif yeşil alanlarda) sürdürülebilirliğin yönetimi için mevcut bitki varlığının bilinmesi gereklidir.

Benzer çalışmalar olarak; Dural, 1985 Cihanbeyli Tuz gölü, Tekel Yavşan Tuzlası bölgesinin bitki türleri floristik açıdan değerlendirilmiştir. Türkmen, 1987'de Çukurova Üniversitesi Kampüs alanının doğal bitkileri, hayat formları ve habitatlarını incelemiştir. Türkmen ve Düzenli, 1998'de Hatay ili Dört Yol ve Erzin ilçelerinin florasını incelemiştir. Küçük, 2002 Isparta kenti yol ağaçlandırmaları üzerine değerlendirme yapmıştır. Ekici ve Sarıbaş, 2006'de yapılan çalışmada Bartın kenti peyzaj düzenlemelerinde kullanılan bitki materyali incelenmiştir. Güzelmansur, 2006 Ülkemizde ithal edilen Süs Ağaç Türlerinin Doğu Akdeniz Bölgesi yeşil alanlarında kullanımlarını irdelemiştir. Altay ve Karahan 2012'de Tayfur Sökmen Kampüsü (Antakya-Hatay) ve çevresinde bulunan bitkiler üzerine etnobotanik bir çalışmada bulunmuş ve 28 familyaya ait 43 taksondan 65 yöresel kullanım tespit edilmiştir.

Bu çalışma, Bursa ili Mudanya ilçesi aktif yeşil alanlarında kullanılan odunsu peyzaj bitkilerinin tespiti ve değerlendirilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir.

MATERYAL VE METOT

Materyal

Bursa ili Mudanya ilçesinde yer alan aktif yeşil alanlarda kullanılan odunsu peyzaj bitkileri bu araştırmanın materyalini oluşturmuştur.

Çalışma kapsamında incelenen aktif yeşil alanların yer aldığı Mudanya ilçesi; Bursa ilinin kuzey kesiminde, 28°-29° doğu boylamları ve 40°-41° kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. Doğusunda Gemlik, Batısında Karacabey ilçeleri, Güneyinde Osmangazi ve Nilüfer ilçeleri, Kuzeyinde Gemlik

Körfezi ile komşudur. Gemlik'ten başlayarak Esence Körfezi'ne kadar uzanan Mudanya Dağları, Bursa Ovası ve Marmara Denizi arasında bir set oluşturmaktadır (Seyidoğlu Akdeniz ve ark., 2020). Mudanya İlçesi, Marmara Bölgesinin genelinde Akdeniz ve Karadeniz iklimleri arasında geçiş özelliği göstererek daha çok Akdeniz iklimi özelliklerine sahiptir. Bu sebeple doğal bitki örtüsünü Akdeniz bitkileri oluşturur. Hâkim rüzgâr yönünün kuzeydoğu (poyraz) olması sebebiyle yağışlar çoğunlukla kuzeyden Marmara denizinden gelmektedir. Yazları sıcak, az yağışlı ve çok nemli, kışları ise soğuk, yağışlı ve sert rüzgârlı (poyraz) olarak geçer (Anonim, 2022).

Metot

Çalışmanın yürütüleceği aktif yeşil alanlar (mahalle parkları, çocuk oyun alanları ve spor alanları) Mudanya Belediyesinden temin edilen isim ve konum listesinden hareketle belirlenmiştir. Bu kapsamda belirlenen 123 adet aktif yeşil alanda odunsu peyzaj bitkileri taksonları incelenmiştir. Bunun için; ilk aşamada aktif yeşil alanlar tek tek ziyaret edilmiş, alanda var olan bitki taksonlarının tespiti amacıyla örnekler alınmış ve fotoğraflar çekilmiştir. Örneklenen taksonlar, Davis, 1965-1988; Polunin, 1969; Polunin ve Huxley, 1981; Krusmann, 1984-1986; Davis et al., 1988; Dirr, 1992; Yaltrık, 1993; Anonymous, 1998; Güner ve ark., 2000; Zencirkıran, 2004; Zencirkıran, 2009; Zencirkıran, 2013 gibi farklı kaynaklardan yararlanılarak tespit edilmiştir. Tespit edilen taksonların yaşam formları ve taksonomik gruplara dağılımları Anonymus 1998; Zencirkıran, 2004; Zencirkıran, 2013'den yararlanılarak gerçekleştirilmiştir. Yaşam formları için Ağaç ve çalı olmak üzere iki grup üzerinden değerlendirme yapıldığı için sarılıcı özellikte olan taksonlarda çalı grubu içerisinde değerlendirilmiştir.

İkinci aşamada tespit edilen taksonların familya, cins, tür dağılımları, yaşam formlarına ve taksonomik gruplara göre dağılımları, aktif yeşil alan türlerine göre dağılımları tablo ve grafikler halinde verilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Mudanya ilçesi aktif yeşil alanlarında gerçekleştirilen incelemeler sonucunda 41 familyaya ait 75 cins içerisinde dağılım gösteren toplam 112 takson tespit edilmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Aktif Yeşil Alanlarda Belirlenen Taksonlar ve Dağılımları

Familya	Cins	Takson	Taksonomik grup	Yaşam Formu	Adet
Aceraceae	Acer	<i>Acer monspessulanum</i> L.	A	Ağaç	1
		<i>Acer negundo</i> L.	A	Ağaç	7
		<i>Acer platanoides</i> L.	A	Ağaç	1
		<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	A	Ağaç	3
		<i>Acer saccharinum</i> L.	A	Ağaç	1
Agavaceae	<i>Agave</i>	<i>Agave americana</i> L.	A	Çalı	1
	<i>Yucca</i>	<i>Yucca filamentosa</i> L.	A	Çalı	4
Apocynaceae	<i>Nerium</i>	<i>Nerium oleander</i> L.	A	Çalı	26
Araliaceae	<i>Hedera</i>	<i>Hedera helix</i> L.	A	Çalı (Sarılıcı)	3
Arecaceae	Chamaerops	<i>Chamaerops excelsa</i> Thunb.	A	Ağaç	9
		<i>Chamaerops humilis</i> L.	A	Ağaç	1
	<i>Washingtonia</i>	<i>Washingtonia filifera</i> (Lindl.) H.Wendl.	A	Ağaç	5
		<i>Washingtonia robusta</i> H.Wendl.	A	Ağaç	5
Berberidaceae	<i>Berberis</i>	<i>Berberis thunbergii</i> DC. 'Atropurpurea'	A	Çalı	1
Betulaceae	<i>Betula</i>	<i>Betula pendula</i> Roth.	A	Ağaç	1
	<i>Corylus</i>	<i>Corylus avellana</i> L.	A	Ağaç	2
Bignoniaceae	<i>Catalpa</i>	<i>Catalpa bignonioides</i> Walter	A	Ağaç	4

Çizelge 1. Aktif Yeşil Alanlarda Belirlenen Taksonlar ve Dağılımları (Devamı)

Buxaceae	<i>Buxus</i>	<i>Buxus microphylla</i> Siebold. & Zucc. <i>Buxus sempervirens</i> L.	A A	Çalı Çalı	3 4
	<i>Abelia</i>	<i>Abelia x grandiflora</i> (Rovelli ex Andre) Rehder (<i>A.chinensis</i> x <i>A.uniflora</i>)	A	Çalı	1
	<i>Lonicera</i>	<i>Lonicera caprifolium</i> L.	A	Çalı (Sarılıcı)	2
Caprifoliaceae	<i>Symphoricarpos</i>	<i>Symphoricarpos orbiculatus</i> Moench.	A	Çalı	1
	<i>Viburnum</i>	<i>Viburnum lucidum</i> Mill. <i>Viburnum tinus</i> L.	A A	Çalı Çalı	1 5
Celastraceae	<i>Euonymus</i>	<i>Euonymus japonicus</i> Thunb. <i>Euonymus japonicus</i> Thunb. 'Aurea'	A A	Çalı Çalı	4 4
Cornaceae	<i>Aucuba</i>	<i>Aucuba japonica</i> Thunb.	A	Çalı	1
	<i>Chamaecyparis</i>	<i>Chamaecyparis lawsoniana</i> (A.Murray bis) Parl.	G	Ağaç	3
		<i>Cupressus arizonica</i> Greene	G	Ağaç	2
	<i>Cupressus</i>	<i>Cupressus sempervirens</i> L. <i>Cupressus sempervirens</i> L. 'Pyramidalis' <i>Cupressus macrocarpa</i> Gord. 'Goldcrest'	G G G	Ağaç Ağaç Ağaç	4 1 7
Cupressaceae	x <i>Cupressocyparis</i>	x <i>Cupressocyparis leylandii</i> (A.B. Jacks. & Dallim.) Dallim.	G	Ağaç	6
		x <i>Cupressocyparis leylandii</i> (A.B. Jacks. & Dallim.) Dallim. 'Harlequin'	G	Ağaç	1
	<i>Juniperus</i>	<i>Juniperus horizontalis</i> Moench.	G	Çalı	2
	<i>Thuja</i>	<i>Thuja occidentalis</i> L. <i>Thuja orientalis</i> L.	G G	Çalı Çalı	2 2
Cycadaceae	<i>Cycas</i>	<i>Cycas revoluta</i> Thunb.	G	Ağaç	2
Elaeagnaceae	<i>Elaeagnus</i>	<i>Elaeagnus angustifolia</i> L. <i>Elaeagnus pungens</i> Thunb. 'Maculata Aurea'	A A	Ağaç Çalı	10 1
	<i>Albizzia</i>	<i>Albizzia julibrissin</i> Durazz.	A	Ağaç	1
	<i>Cercis</i>	<i>Cercis siliquastrum</i> L.	A	Ağaç	8
Fabaceae	<i>Gleditsia</i>	<i>Gleditsia triacanthos</i> L.	A	Ağaç	2
	<i>Robinia</i>	<i>Robinia pseudoacacia</i> L. <i>Robinia pseudoacacia</i> L. 'Umbraculifera'	A A	Ağaç Ağaç	25 22
	<i>Sophora</i>	<i>Sophora japonica</i> L.	A	Ağaç	2
Fagaceae	<i>Castanea</i>	<i>Castanea sativa</i> Mill.	A	Ağaç	1
Ginkgoaceae	<i>Ginkgo</i>	<i>Ginkgo biloba</i> L.	G	Ağaç	1
Hamamelidaceae	<i>Liquidambar</i>	<i>Liquidambar orientalis</i> Mill.	A	Ağaç	1
Hippocastanaceae	<i>Aesculus</i>	<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	A	Ağaç	2
Juglandaceae	<i>Juglans</i>	<i>Juglans regia</i> L.	A	Ağaç	2
Lamiaceae	<i>Lavandula</i>	<i>Lavandula angustifolia</i> Mill.	A	Çalı	1
	<i>Rosmarinus</i>	<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	A	Çalı	1
Lauraceae	<i>Laurus</i>	<i>Laurus nobilis</i> L.	A	Çalı	3
Lythraceae	<i>Lagerstromieia</i>	<i>Lagerstroemia indica</i> L.	A	Ağaç	7
	<i>Liriodendron</i>	<i>Liriodendron tulipifera</i> L. <i>Magnolia grandiflora</i> L.	A A	Ağaç Ağaç	1 2
Magnoliaceae	<i>Magnolia</i>	<i>Magnolia x soulangeana</i> Soul.-Bod.	A	Ağaç	3
Malvaceae	<i>Hibiscus</i>	<i>Hibiscus syriacus</i> L.	A	Çalı	11
	<i>Tilia</i>	<i>Tilia tomentosa</i> Moench.	A	Ağaç	35
Moraceae	<i>Ficus</i>	<i>Ficus carica</i> L.	A	Ağaç	16
	<i>Morus</i>	<i>Morus alba</i> L.	A	Ağaç	15
	<i>Fraxinus</i>	<i>Fraxinus excelsior</i> L.	A	Ağaç	2
		<i>Ligustrum ovalifolium</i> Hassk. <i>Ligustrum ovalifolium</i> Hassk. 'Aureum'	A A	Çalı Çalı	2 2
Oleaceae	<i>Ligustrum</i>	<i>Ligustrum japonicum</i> Thunb. <i>Ligustrum vulgare</i> L.	A A	Çalı Çalı	5 14
	<i>Olea</i>	<i>Olea europaea</i> L.	A	Ağaç	27

Çizelge 1. Aktif Yeşil Alanlarda Belirlenen Taksonlar ve Dağılımları (Devamı)

Palmaceae	<i>Phoenix</i>	<i>Phoenix canariensis</i> Chabaud.	A	Ağaç	3	
Phytolaccaceae	<i>Phytolacca</i>	<i>Phytolacca americana</i> L.	A	Çalı	1	
Pinaceae	<i>Cedrus</i>	<i>Cedrus atlantica</i> (Endl.) Manetti ex Carrière	G	Ağaç	6	
		<i>Cedrus deodara</i> (Roxb. ex D.Don) G. Don	G	Ağaç	3	
		<i>Picea glauca</i> (Moench) Voss. ‘Conica’	G	Ağaç	2	
	<i>Picea</i>	<i>Picea orientalis</i> (L.) Link	G	Ağaç	2	
		<i>Picea pungens</i> Engelm.	G	Ağaç	2	
		<i>Pinus nigra</i> J. F. Arnold	G	Ağaç	8	
	<i>Pinus</i>	<i>Pinus pinaster</i> Aiton	G	Ağaç	5	
		<i>Pinus pinea</i> L.	G	Ağaç	13	
		<i>Pinus sylvestris</i> L.	G	Ağaç	2	
Platanaceae	<i>Platanus</i>	<i>Platanus occidentalis</i> L.	A	Ağaç	8	
		<i>Platanus orientalis</i> L.	A	Ağaç	16	
		<i>Platanus x acerifolia</i> (Aiton) Willd.	A	Ağaç	2	
Pittosporaceae	<i>Pittosporum</i>	<i>Pittosporum tobira</i> (Thunb.) W.T. Aiton	A	Çalı	3	
		<i>Pittosporum tobira</i> (Thunb.) W.T. Aiton ‘Nana’	A	Çalı	6	
Punicaceae	<i>Punica</i>	<i>Punica granatum</i> L.	A	Ağaç	4	
Rosaceae	<i>Cotoneaster</i>	<i>Cotoneaster franchetii</i> Bois.	A	Çalı	2	
	<i>Cydonia</i>	<i>Cydonia oblonga</i> Mill.	A	Ağaç	1	
	<i>Eriobotrya</i>	<i>Eriobotrya japonica</i> (Thunb.) Lindl.	A	Ağaç	4	
	<i>Laurocerasus</i>	<i>s</i>	<i>Laurocerasus officinalis</i> M.Roem.	A	Ağaç	6
			<i>Malus floribunda</i> Siebold ex Van Houtte	A	Ağaç	10
	<i>Photinia</i>	<i>Photinia serrulata</i> Siebold & Zucc.	A	Çalı	1	
	<i>Prunus</i>	<i>Prunus cerasifera</i> Ehrh.	<i>Prunus cerasifera</i> Ehrh. ‘Atropurpurea’	A	Ağaç	1
		<i>Prunus cerasifera</i> Ehrh. ‘Pissardii Nigra’	<i>Prunus cerasifera</i> Ehrh. ‘Pissardii Nigra’	A	Ağaç	25
		<i>Prunus domestica</i> L.	<i>Prunus domestica</i> L.	A	Ağaç	7
		<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch	<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch	A	Ağaç	1
		<i>Prunus serrulata</i> Lindl. ‘Kanzan’	<i>Prunus serrulata</i> Lindl. ‘Kanzan’	A	Ağaç	5
		<i>Pyracantha</i>	<i>Pyracantha coccinea</i> M. Roem.	A	Çalı	9
	<i>Pyrus</i>	<i>Pyrus communis</i> L.	A	Ağaç	1	
	<i>Rosa</i>	<i>Rosa</i> sp. L.	A	Çalı	7	
<i>Rubus</i>	<i>Rubus fruticosus</i> L.	A	Çalı	1		
Rutaceae	<i>Citrus</i>	<i>Citrus japonica</i> Thunb.	A	Çalı	1	
		<i>Citrus reticulata</i> Blanco	A	Ağaç	5	
		<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck	A	Ağaç	1	
Salicaceae	<i>Populus</i>	<i>Populus alba</i> L.	A	Ağaç	1	
		<i>Salix babylonica</i> L.	A	Ağaç	3	
		<i>Salix caprea</i> L.	A	Ağaç	2	
Scrophulariaceae	<i>Paulownia</i>	<i>Paulownia tomentosa</i> (Thunb.) Steud.	A	Ağaç	1	
Simaroubaceae	<i>Ailanthus</i>	<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle	A	Ağaç	3	
Ulmaceae	<i>Celtis</i>	<i>Celtis australis</i> L.	A	Ağaç	1	
Vitaceae	<i>Parthenocissus</i>	<i>Parthenocissus quinquefolia</i> (L.) Planch.	A	Çalı(Sarılcı)	3	
		<i>Vitis</i>	<i>Vitis vinifera</i> L.	A	Çalı (Sarılcı)	3

Taksonomik Grup: A-Angiospermae, G-Gymnospermae

En fazla cins içeren familyanın %26.82 ile Rosaceae familyası olduğu ve bunu %12.20 ile Cupressaceae ve Fabaceae familyalarının izlediği görülmüştür (Çizelge 2).

Çizelge 2. Tespit Edilen Taksonların Familyalara Göre Oransal Dağılımları

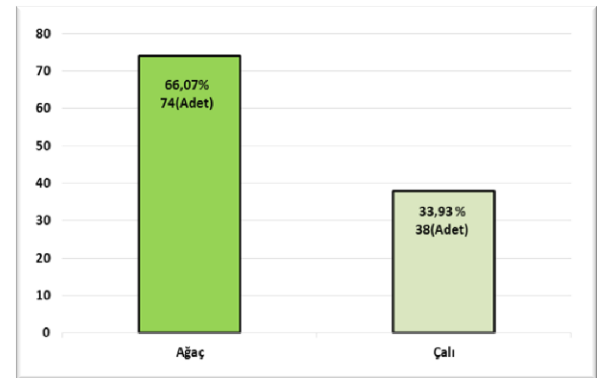
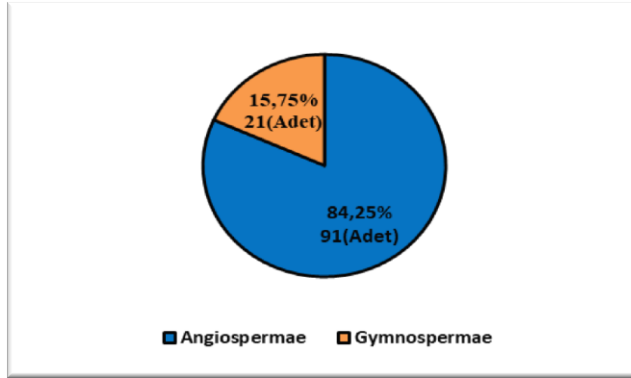
FAMİLYA	CİNS	%	FAMİLYA	CİNS	%
Aceraceae	1	2.44	Juglandaceae	1	2.44
Agavaceae	2	4.88	Lythraceae	1	2.44
Apocynaceae	1	2.44	Magnoliaceae	2	4.88
Araliaceae	1	2.44	Malvaceae	2	4.88
Arecaceae	2	4.88	Moraceae	2	4.88
Berberidaceae	1	2.44	Oleaceae	3	3.85

Betulaceae	2	4.88	Palmaceae	1	2.44
Bignoniaceae	1	2.44	Phytolaccaceae	1	2.44

Çizelge 2. Tespit Edilen Taksonların Familyalara Göre Oransal Dağılımları (Devamı)

Buxaceae	1	2.44	Pinaceae	3	3.85
Caprifoliaceae	4	9.76	Platanaceae	1	2.44
Celastraceae	1	2.44	Pittosporaceae	1	2.44
Cornaceae	1	2.44	Punicaceae	1	2.44
Cupressaceae	5	12.20	Rosaceae	11	26.82
Cycadaceae	1	2.44	Rutaceae	1	2.44
Elaeagnaceae	1	2.44	Salicaceae	2	4.88
Fabaceae	5	12.20	Scrophulariaceae	1	2.44
Fagaceae	1	2.44	Simaroubaceae	1	2.44
Ginkgoaceae	1	2.44	Ulmaceae	1	2.44
Hamamelidaceae	1	2.44	Vitaceae	2	4.88
Hippocastanaceae	1	2.44			
Lamiaceae	2	4.88			
Lauraceae	1	2.44			

Yapılan değerlendirmeler sonucunda tespit edilen 91 taksonun (%84.25) Angiospermae ve 21 taksonun (%15.75) ise Gymnospermae alt grubu içerisinde yer aldıkları, 38 adedinin (%33.93) çalı, 74 adedinin (%66.07) ise ağaç formunda oldukları belirlenmiştir (Şekil 1).



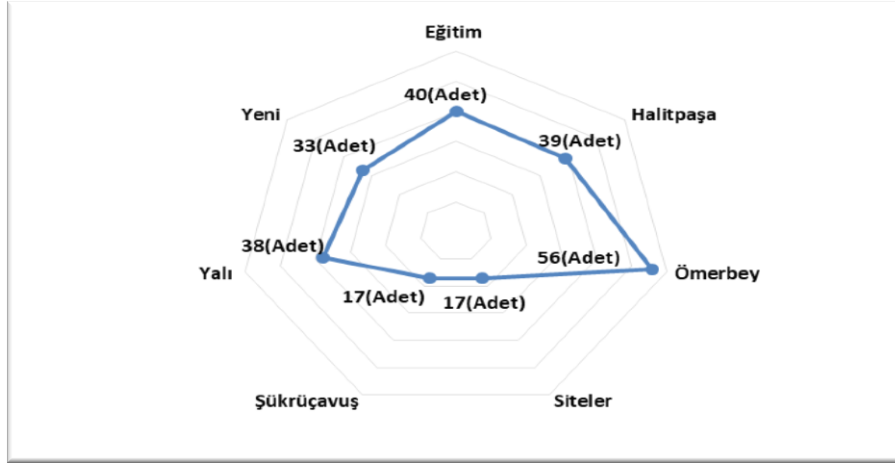
Şekil 1. Taksonların Taksonomik Gruplara ve Yaşam Formlarına Göre Dağılımları

Takson sayılarının aktif yeşil alanlara dağılımları incelendiğinde en fazla taksonun 27 adet ile Ömerbey mahallesinde yer alan Atatürk parkında olduğu, bunu 14 adet ile aynı mahallede yer alan Tekel parkının (Şekil 2), 13 adet ile Şükrüçavuş mahallesinde bulunan Yel değirmeni, Yalı mahallesinde bulunan Safınaz, Yeni mahallede bulunan Misket ve Örümcek adam parklarının izledikleri belirlenmiştir (Çizelge 3).



Şekil 2. Ömerbey Mahallesi Atatürk Parkı (1) ve Tekel parkı (2)

Takson sayılarının mahalle ölçeğinde dağılımları değerlendirildiğinde, en fazla taksonun 56 adet ile Ömerbey mahallesinde yer alan aktif yeşil alanlarda olduğu, bunu 40 adet ile Eğitim, 39 adet ile Halitpaşa ve 38 adet ile Yalı mahallelerinde yer alan aktif yeşil alanların izledikleri tespit edilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Takson Sayılarının Mahalle Ölçeğinde Dağılımları

Çizelge 3. Taksonların Aktif Yeşil Alanlarda Dağılımları

AKTİF YEŞİL ALANLAR	ADI	MAHALLE	TAKSON		TAKSON SAYISI
			Angiospermae	Gymnospermae	
+ Mahalle Parkı	Akköy Dinlenme Parkı	Akköy	-	-	-
	Bademli Cumhuriyet Parkı	Bademli	<i>Platanus x acerifolia, Aesculus hippocastanum, Chamaerops humilis, Nerium oleander, Prunus cerasifera 'Pissardii Nigra', Pittosporum tobira 'Nana', Laurocerasus officinalis</i>	<i>Juniperus horizontalis, Cupressus macrocarpa 'Goldcrest'</i>	9
	Bademli Dinlenme Parkı	Bademli	<i>Olea europaea</i>	<i>Cedrus deodara</i>	2
	Bademli Park	Bademli	<i>Lagerstroemia indica, Tilia tomentosa, Platanus orientalis</i>	<i>x Cupressocyparis leylandii</i>	4
	Şehit Burhan Zeytinci Parkı	Burgaz	<i>Elaeagnus angustifolia, Nerium oleander, Washingtonia robusta, Platanus orientalis, Platanus occidentalis</i>	<i>Thuja orientalis</i>	6
	Şehit Piyade Binbaşı Mehmet Ercüment Türkmen Parkı	Burgaz	<i>Nerium oleander</i>	-	1
	Çekrice Dinlenme Parkı	Çekrice	-	-	-
	Çepni Dinlenme Parkı	Çepni	<i>Morus alba, Platanus orientalis</i>	<i>Pinus nigra</i>	3
	Çınarlı Dinlenme Parkı	Çınarlı	-	-	-
	Dede Dinlenme Parkı	Dede	-	<i>Pinus sylvestris</i>	1
	Dere Dinlenme Parkı	Dere	<i>Ligustrum vulgare, Ficus carica, Olea europaea, Robinia pseudoacacia</i>	<i>Pinus pinea, Thuja orientalis</i>	6

Çizelge 3. Taksonların Aktif Yeşil Alanlarda Dağılımları (Devamı)

Arabayolu Parkı	Eğitim	<i>Robinia pseudoacacia</i> ‘Umbraculifera’, <i>Nerium oleander</i> , <i>Prunus cerasifera</i>	-	3
Bariş Park	Eğitim	<i>Nerium oleander</i> , <i>Prunus cerasifera</i> , <i>Chamaerops excelsa</i> , <i>Morus alba</i> , <i>Cercis siliquastrum</i>	-	5
Eğitim Dinlenme Parkı	Eğitim	<i>Platanus orientalis</i> , <i>Magnolia grandiflora</i> , <i>Olea europaea</i> , <i>Tilia tomentosa</i> , <i>Chamaerops excelsa</i> ,	x <i>Cupressocyparis leylandii</i>	6
Kooperatifçi Süleyman Parkı	Eğitim	<i>Ficus carica</i> , <i>Ailanthus altissima</i>	<i>Pinus nigra</i> , x <i>Cupressocyparis leylandii</i> ‘Harlequin’	4
Şirinler Parkı	Eğitim	<i>Olea europaea</i> , <i>Ligustrum vulgare</i> , <i>Pyracantha coccinea</i> , <i>Viburnum lucidum</i> , <i>Rosa</i> sp., <i>Platanus occidentalis</i> , <i>Lavandula angustifolia</i> , <i>Laurocerasus officinalis</i> , <i>Rosmarinus officinalis</i> , <i>Tilia tomentosa</i> , <i>Platanus orientalis</i>	<i>Picea orientalis</i>	12
Arı Maya Parkı	Halitpaşa	<i>Robinia pseudoacacia</i> ‘Umbraculifera’, <i>Cercis siliquastrum</i> , <i>Prunus cerasifera</i> ‘Atropurpurea’, <i>Malus floribunda</i> , <i>Catalpa bignonioides</i> , <i>Tilia tomentosa</i>	-	6
Atom Karınca Parkı	Halitpaşa	<i>Tilia tomentosa</i> , <i>Nerium oleander</i> , <i>Olea europaea</i> , <i>Robinia pseudoacacia</i> ‘Umbraculifera’, <i>Platanus occidentalis</i>	-	5
Deniz Yıldızı Parkı (Engelli)	Halitpaşa	<i>Ligustrum japonicum</i> , <i>Fraxinus excelsior</i> , <i>Morus alba</i> , <i>Elaeagnus angustifolia</i>	<i>Cupressus sempervirens</i>	5
Dere Park	Halitpaşa	<i>Platanus orientalis</i>	<i>Pinus pinea</i>	2
Halitpaşa Dinlenme Parkı	Halitpaşa	<i>Olea europaea</i> , <i>Hibiscus syriacus</i> , <i>Chamaerops excelsa</i> , <i>Laurocerasus officinalis</i>	<i>Picea glauca</i> ‘Conica’	5
Masal Çocuk Parkı	Halitpaşa	-	-	-
Pamuk Şekeri Parkı	Halitpaşa	<i>Nerium oleander</i> , <i>Elaeagnus angustifolia</i> , <i>Prunus serrulata</i> ‘Kanzan’, <i>Ficus carica</i> , <i>Ligustrum vulgare</i> , <i>Viburnum tinus</i> , <i>Agave americana</i> , <i>Chamaerops excelsa</i>	<i>Cupressus macrocarpa</i> ‘Goldcrest’	9
Samanyolu Parkı	Halitpaşa	<i>Tilia tomentosa</i> , <i>Morus alba</i> , <i>Olea europaea</i>	x <i>Cupressocyparis leylandii</i> , <i>Pittosporum tobira</i> ‘Nana’	5
Temel Reis Parkı	Halitpaşa	<i>Malus floribunda</i> , <i>Prunus cerasifera</i> ‘Atropurpurea’, <i>Cercis siliquastrum</i> , <i>Chamaerops excelsa</i>	-	4
Yıldıztepe Dinlenme Alanı	Halitpaşa	<i>Nerium oleander</i> , <i>Pyracantha coccinea</i> , <i>Elaeagnus angustifolia</i> , <i>Robinia pseudoacacia</i>	<i>Pinus pinea</i> , <i>Pinus pinaster</i> , <i>Cedrus atlantica</i> , <i>Cupressus sempervirens</i> , <i>Thuja occidentalis</i>	9
Hançerli Mahallesi Çocuk Parkı	Hançerli	<i>Ficus carica</i> , <i>Vitis vinifera</i> , <i>Cydonia oblonga</i> , <i>Prunus domestica</i> , <i>Robinia pseudoacacia</i> , <i>Gleditsia triacanthos</i>	<i>Pinus pinea</i>	7
Bayramyeri Parkı	Hasanbey	<i>Elaeagnus angustifolia</i> , <i>Robinia pseudoacacia</i> ‘Umbraculifera’, <i>Buxus sempervirens</i> , <i>Tilia tomentosa</i> , <i>Sophora japonica</i> , <i>Platanus occidentalis</i>	<i>Pinus pinea</i> , <i>Pinus pinaster</i> , <i>Cupressus sempervirens</i> ‘Pyramidalis’, <i>Pinus sylvestris</i>	10
Şeker Park	Hasanbey	<i>Ficus carica</i> , <i>Juglans regia</i>	-	2
Tekke-i Atik Dinlenme Alanı	Hasanbey	<i>Elaeagnus angustifolia</i> , <i>Platanus occidentalis</i> , <i>Rosa</i> sp., <i>Platanus orientalis</i> , <i>Tilia tomentosa</i>	-	4
Has Park	Hasköy	<i>Morus alba</i>	<i>Pinus nigra</i> , <i>Cedrus atlantica</i>	3
Işıkli Dinlenme Parkı	Işıkli	<i>Buxus sempervirens</i>	-	1

Çizelge 3. Taksonların Aktif Yeşil Alanlarda Dağılımları (Devamı)

İpekyayla Dinlenme Parkı	İpekyayla	-	<i>Pinus pinea</i>	1
Kumyaka Dinlenme Parkı	Kumyaka	-	-	-
Küçükyenice Dinlenme Parkı	Küçükyenice	<i>Punica granatum, Ficus carica, Morus alba, Nerium oleander, Ailanthus altissima</i>	<i>Cedrus atlantica, Pinus nigra</i>	7
İnönü Parkı	Mütareke	<i>Pittosporum tobira 'Nana', Nerium oleander, Catalpa bignonioides, Olea europaea, Pyracantha coccinea, Citrus sinensis, Platanus x acerifolia, Acer pseudoplatanus, Acer platanoides, Acer negundo, Washingtonia filifera, Albizzia julibrissin, Platanus orientalis</i>	-	13
Ata Park	Ömerbey	<i>Tilia tomentosa, Robinia pseudoacacia, Elaeagnus angustifolia</i>	-	3
Atatürk Parkı	Ömerbey	<i>Yucca filamentosa, Pittosporum tobira 'Nana', Olea europaea, Washingtonia filifera, Viburnum tinus, Nerium oleander, Cotoneaster franchetii, Prunus cerasifera, Acer negundo, Euonymus japonicus, Platanus occidentalis, Robinia pseudoacacia, Eriobotrya japonica, Malus floribunda, Hibiscus syriacus, Platanus orientalis, Aesculus hippocastanum, Ligustrum vulgare, Acer pseudoplatanus, Parthenocissus quinquefolia, Lagerstroemia indica, Punica granatum, Washingtonia robusta, Corylus avellana</i>	<i>Pinus nigra, Cupressus sempervirens, Cupressus macrocarpa 'Goldcrest'</i>	27
Çakmak Taş Parkı	Ömerbey	<i>Prunus cerasifera, Nerium oleander, Robinia pseudoacacia</i>	<i>Cedrus atlantica, Cupressus arizonica</i>	5
Demirhane Parkı	Ömerbey	<i>Pittosporum tobira 'Nana', Juglans regia, Eriobotrya japonica, Washingtonia robusta, Ficus carica, Yucca filamentosa, Olea europaea, Acer negundo, Rosa sp., Phytolacca americana</i>	<i>Pinus nigra, Picea pungens, Thuja orientalis</i>	13
Papatya Parkı (Engelli)	Ömerbey	<i>Olea europaea, Tilia tomentosa, Nerium oleander, Pittosporum tobira 'Nana', Viburnum tinus, Morus alba, Laurocerasus officinalis</i>	-	7
Şükriçavuş Parkı	Ömerbey	<i>Nerium oleander, Lagerstroemia indica, Eriobotrya japonica, Olea europaea, Betula pendula</i>	<i>Chamaecyparis lawsoniana, Thuja orientalis, Juniperus horizontalis</i>	8
Tekel Park	Ömerbey	<i>Pyracantha coccinea, Euonymus japonicus, Chamaerops excelsa, Phoenix canariensis, Citrus reticulata, Ligustrum vulgare, Laurus nobilis, Platanus orientalis, Tilia tomentosa, Robinia pseudoacacia, Lonicera sp., Acer negundo</i>	<i>Pinus pinaster, Ginkgo biloba</i>	14
Hür Park	Siteler	<i>Robinia pseudoacacia 'Umbraculifera', Tilia tomentosa, Prunus cerasifera, Cercis siliquastrum, Ligustrum vulgare, Malus floribunda, Nerium oleander</i>	-	7
Siteler Dinlenme Parkı	Siteler	<i>Robinia pseudoacacia 'Umbraculifera', Hibiscus syriacus, Photinia serrulata, Laurocerasus officinalis</i>	-	4
Pamuk Prenses Parkı	Siteler	<i>Robinia pseudoacacia 'Umbraculifera', Prunus cerasifera, Tilia tomentosa, Buxus microphylla</i>	-	4
Şehit Ahmet Aydın Parkı	Siteler	<i>Robinia pseudoacacia 'Umbraculifera', Tilia tomentosa, Prunus cerasifera, Cercis siliquastrum, Ligustrum vulgare, Malus floribunda</i>	-	6

Çizelge 3. Taksonların Aktif Yeşil Alanlarda Dağılımları (Devamı)

Şirinler Parkı	Siteler	<i>Olea europaea, Buxus microphylla, Robinia pseudoacacia 'Umbraculifera', Tilia tomentosa, Ligustrum vulgare, Prunus cerasifera, Acer negundo</i>	-	7
Mudanya Dinlenme Alanı	Şükriçavuş	<i>Platanus orientalis, Pyracantha coccinea, Washingtonia filifera, Washingtonia robusta</i>	-	4
Yel Değirmen Parkı	Şükriçavuş	<i>Robinia pseudoacacia, Robinia pseudoacacia 'Umbraculifera', Nerium oleander, Hedera helix, Pyracantha coccinea, Lagerstroemia indica, Symphoricarpos orbiculatus</i>	<i>Pinus pinea, Pinus nigra, Pinus pinaster, x Cupressocyparis leylandii, Thuja orientalis</i>	13
Yalı 1'nolu Dinlenme Parkı	Yalı	<i>Nerium oleander, Euonymus japonicus, Aucuba japonica, Rosa sp., Prunus cerasifera, Ligustrum vulgare, Viburnum tinus, Tilia tomentosa</i>	<i>Cupressus macrocarpa 'Goldcrest', Thuja orientalis, Picea pungens</i>	11
Yalı 2'nolu Dinlenme Parkı	Yalı	<i>Buxus microphylla, Olea europaea, Robinia pseudoacacia 'Umbraculifera'</i>	-	3
Özgür Park	Yalı	<i>Robinia pseudoacacia, Tilia tomentosa, Prunus cerasifera, Catalpa bignonioides, Salix caprea</i>	<i>Thuja orientalis</i>	6
Pınar Park	Yalı	<i>Prunus cerasifera, Hibiscus syriacus, Robinia pseudoacacia 'Umbraculifera', Acer pseudoplatanus, Malus floribunda, Salix caprea, Morus alba, Tilia tomentosa</i>	<i>Pinus pinea, Cupressus macrocarpa 'Goldcrest'</i>	10
Pinokyo Parkı	Yalı	<i>Prunus cerasifera, Robinia pseudoacacia 'Umbraculifera', Cercis siliquastrum, Ficus carica, Rubus fruticosus, Salix babylonica, Citrus japonica, Catalpa bignonioides</i>	-	8
Safınaz Park	Yalı	<i>Robinia pseudoacacia 'Umbraculifera', Ficus carica, Prunus cerasifera, Robinia pseudoacacia, Hibiscus syriacus, Olea europaea, Platanus orientalis, Acer monspessulanum, Prunus serrulata 'Kanzan', Morus alba, Tilia tomentosa,</i>	<i>Cupressus macrocarpa 'Goldcrest', Cedrus atlantica</i>	13
Şehit Feyyaz İlhan Parkı (Engelli)	Yalı	<i>Nerium oleander, Rosa sp., Ligustrum vulgare, Robinia pseudoacacia, Cercis siliquastrum, Platanus orientalis</i>	<i>Pinus pinea</i>	7
Çiçek Park	Yeni	<i>Olea europaea</i>	-	1
Örümcek Adam Parkı	Yeni	<i>Olea europaea, Hedera helix, Lonicera sp., Ailanthus altissima, Vitis vinifera, Yucca filamentosa, Chamaerops excelsa, Pyracantha coccinea</i>	<i>Cupressus macrocarpa 'Goldcrest', Thuja orientalis, x Cupressocyparis leylandii, Pinus pinea</i>	13
Pembe Panter Parkı	Yeni	<i>Robinia pseudoacacia, Robinia pseudoacacia 'Umbraculifera', Lagerstroemia indica</i>	<i>Thuja orientalis</i>	4
Zeytin Park	Yeni	<i>Malus floribunda, Ficus carica, Prunus serrulata 'Kanzan', Viburnum tinus, Magnolia x soulangeana, Pyrus communis</i>	-	6
Aydınpınar Çocuk ve Dinlenme Parkı	Aydınpınar	<i>Tilia tomentosa, Ligustrum vulgare</i>	-	2
Altıntaş Çocuk ve Dinlenme Parkı	Altıntaş	-	-	-
Balabancık Çocuk ve Dinlenme Parkı	Balabancık	-	-	-
Kayıp Balık Parkı	Burgaz	<i>Phoenix canariensis, Nerium oleander, Tilia tomentosa</i>	-	3
Şehit Mehmet Parkı	Burgaz	-	-	-

Çocuk
Oyun Alanı

Çizelge 3. Taksonların Aktif Yeşil Alanlarda Dağılımları (Devamı)

Çağrıışan Çocuk ve Dinlenme Parkı	Çağrıışan	-	-	-
Çayönü Çocuk ve Dinlenme Parkı	Çayönü	-	-	-
Eğerce Çocuk ve Dinlenme Parkı	Eğerce	<i>Olea europaea</i>	<i>Pinus pinea</i>	2
Eğitim Çocuk ve Dinlenme Parkı	Eğitim	<i>Phoenix canariensis, Washingtonia filifera, Aesculus hippocastanum, Tilia tomentosa, Eleagnus pungens 'Maculata Aurea', Platanus orientalis, Prunus cerasifera, Pittosporum tobira, Paulownia tomentosa</i>	<i>Cedrus atlantica, Chamaecyparis lawsoniana</i>	11
Güneş Parkı	Eğitim	<i>Parthenocissus quinquefolia, Washingtonia robusta, Prunus cerasifera 'Atropurpurea', Magnolia grandiflora, Lagerstroemia indica, Tilia tomentosa, Sophora japonica, Malus floribunda</i>	<i>Picea orientalis</i>	10
Huzur Parkı	Eğitim	-	-	-
Mini Park	Eğitim	<i>Tilia tomentosa, Robinia pseudoacacia, Prunus cerasifera 'Atropurpurea'</i>	-	3
Taş Devri Parkı	Eğitim	<i>Tilia tomentosa, Robinia pseudoacacia 'Umbraculifera', Hibiscus syriacus, Prunus cerasifera</i>	-	4
Esence Çocuk ve Dinlenme Parkı	Esence	<i>Robinia pseudoacacia, Eriobotrya japonica, Lagerstroemia indica, Acer saccharinum, Ligustrum vulgare</i>	<i>Ginkgo biloba</i>	6
Göynüklü Mahallesi Çocuk Parkı	Göynüklü	<i>Rosa sp.</i>	<i>Cupressus sempervirens, Pinus nigra,</i>	3
Göynüklü Çocuk ve Dinlenme Parkı	Göynüklü	-	-	-
Afacan Parkı	Halitpaşa	<i>Olea europaea, Ficus carica, Robinia pseudoacacia 'Umbraculifera', Platanus orientalis</i>	<i>Pinus pinaster, Pinus pinea</i>	6
Halitpaşa Çocuk ve Dinlenme Parkı	Halitpaşa	<i>Tilia tomentosa, Nerium oleander, Ligustrum japonicum, Chamaerops excelsa, Olea europaea, Ficus carica, Citrus reticulata, Punica granatum, Prunus serrulata 'Kanzan', Abelia x grandiflora</i>	-	10
Leylekli Parkı	Halitpaşa	<i>Citrus reticulata, Elaeagnus angustifolia, Robinia pseudoacacia 'Umbraculifera', Buxus sempervirens</i>	-	4
Liman Parkı	Halitpaşa	<i>Robinia pseudoacacia 'Umbraculifera', Buxus sempervirens</i>	-	2
Papatya Parkı	Halitpaşa	<i>Morus alba, Ficus carica, Ligustrum japonicum, Lagerstroemia indica, Fraxinus excelsior, Pyracantha coccinea, Nerium oleander, Olea europaea, Robinia pseudoacacia, Tilia tomentosa, Platanus orientalis, Citrus reticulata</i>	<i>Cycas revoluta</i>	13
Tepe Parkı	Halitpaşa	-	-	-
Uzay Parkı	Halitpaşa	<i>Olea europaea, Citrus reticulata, Robinia pseudoacacia 'Umbraculifera'</i>	-	3
Yıldız Parkı	Halitpaşa	<i>Robinia pseudoacacia 'Umbraculifera', Olea europaea, Pyracantha coccinea</i>	-	3
Deniz Parkı	Hasanbey	<i>Hibiscus syriacus, Ligustrum ovalifolium 'Aureum', Nerium oleander, Robinia pseudoacacia 'Umbraculifera', Acer negundo</i>	<i>Thuja occidentalis, Thuja orientalis</i>	7

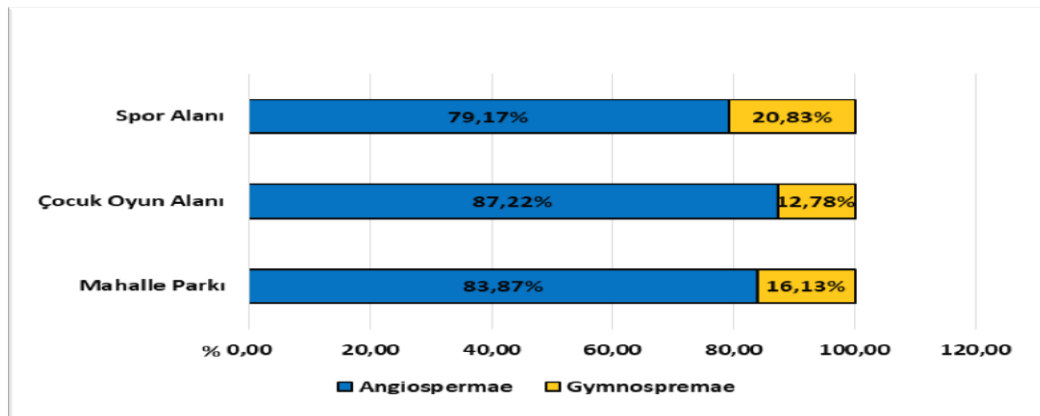
Çizelge 3. Taksonların Aktif Yeşil Alanlarda Dağılımları (Devamı)

Sindirella Parkı	Hasanbey	<i>Robinia pseudoacacia</i> 'Umbraculifera', <i>Ligustrum vulgare</i> , <i>Cercis siliquastrum</i> , <i>Elaeagnus angustifolia</i> , <i>Malus floribunda</i> , <i>Tilia tomentosa</i>	<i>Thuja orientalis</i>	7
Şirin Park	Hasanbey	<i>Tilia tomentosa</i> , <i>Robinia pseudoacacia</i> 'Umbraculifera'	-	2
Kaymakoba Çocuk ve Dinlenme Parkı	Kaymakoba	-	-	-
Mesudiye Çocuk ve Dinlenme Parkı	Mesudiye	<i>Morus alba</i>	-	1
Mirzaoba Çocuk ve Dinlenme Parkı	Mirzaoba	-	-	-
Mürsel 1'nolu Çocuk ve Dinlenme Parkı	Mürsel	<i>Morus alba</i> , <i>Vitis vinifera</i>	-	2
Mürsel 2'nolu Çocuk ve Dinlenme Parkı	Mürsel	-	-	-
Sahil Park	Mütareke	-	-	-
Gümüş Park	Ömerbey	<i>Chamaerops excelsa</i>	-	1
Güven Park	Ömerbey	<i>Parthenocissus quinquefolia</i> , <i>Morus alba</i> , <i>Tilia tomentosa</i> , <i>Acer negundo</i> , <i>Hibiscus syriacus</i> , <i>Populus alba</i> , <i>Punica granatum</i> , <i>Castanea sativa</i>	<i>Cupressus arizonica</i>	9
Halit Ahman Parkı	Ömerbey	-	-	-
Rüya Park	Ömerbey	<i>Morus alba</i> , <i>Nerium oleander</i> , <i>Yucca filamentosa</i> , <i>Laurus nobilis</i> , <i>Elaeagnus angustifolia</i> ,	<i>Thuja orientalis</i> , <i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	7
Zirve Park	Ömerbey	<i>Robinia pseudoacacia</i> 'Umbraculifera', <i>Hedera helix</i>	-	2
Mavi Park	Siteler	<i>Parthenocissus quinquefolia</i> , <i>Robinia pseudoacacia</i> 'Umbraculifera', <i>Ligustrum vulgare</i>	<i>Thuja orientalis</i> , <i>Cedrus deodara</i>	5
Şükrüçavuş Parkı	Şükrüçavuş	<i>Robinia pseudoacacia</i> , <i>Platanus orientalis</i> , <i>Platanus occidentalis</i>	-	3
Zambak Park	Şükrüçavuş	<i>Olea europaea</i> , <i>Tilia tomentosa</i> , <i>Robinia pseudoacacia</i> , <i>Prunus cerasifera</i>	-	4
Kırmızı Başlıklı Kız Parkı	Yalı	<i>Washingtonia filifera</i> , <i>Hibiscus syriacus</i> , <i>Pittosporum tobira</i> , <i>Nerium oleander</i> , <i>Euonymus japonicus</i> 'Aurea', <i>Laurocerasus officinalis</i> , <i>Ligustrum ovalifolium</i>	-	7
Tuğtaş Park	Yalı	<i>Ficus carica</i> , <i>Tilia tomentosa</i> , <i>Ligustrum japonicum</i>	-	3
1924 Yalıçiftlik Çocuk Parkı	Yalıçiftlik	-	-	-
Yaman Mahallesi Çocuk Parkı	Yaman	<i>Punica granatum</i>	-	1
Yaylacık Çocuk ve Dinlenme Parkı	Yaylacık	-	-	-
Batman Parkı	Yeni	<i>Olea europaea</i>	-	1

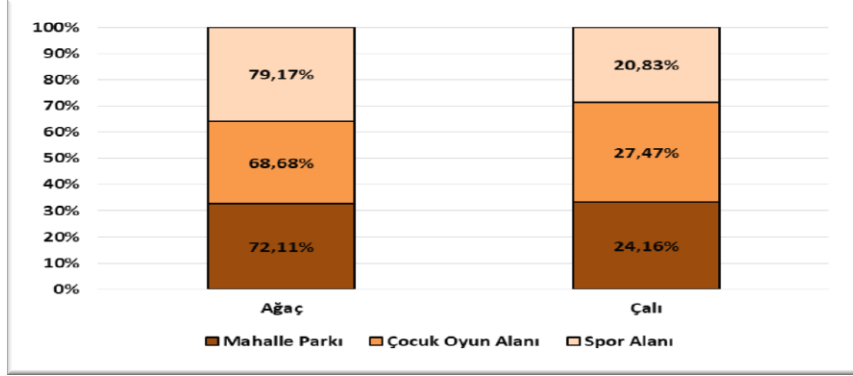
Çizelge 3. Taksonların Aktif Yeşil Alanlarda Dağılımları (Devamı)

Misket Parkı	Yeni	<i>Rosa sp., Berberis thunbergii 'Atropurpurea', Gleditsia triacanthos, Ligustrum vulgare, Cotoneaster franchetii, Laurus nobilis, Robinia pseudoacacia, Olea europaea, Pittosporum tobira, Nerium oleander, Hibiscus syriacus, Prunus cerasifera</i>	<i>Cedrus deodara, Cycas revoluta</i>	13
Zeytinbağı 1'nolu Çocuk ve Dinlenme Parkı	Zeytinbağı	<i>Robinia pseudoacacia 'Umbraculifera', Prunus cerasifera, Tilia tomentosa, Salix babylonica</i>	-	4
Zeytinbağı 2'nolu Çocuk ve Dinlenme Parkı	Zeytinbağı	<i>Ficus carica, Tilia tomentosa, Ligustrum japonicum</i>	-	3
Zeytinbağı 3'nolu Çocuk ve Dinlenme Parkı	Zeytinbağı	<i>Malus floribunda, Ficus carica, Prunus serrulata 'Kanzan', Magnolia x soulangeana</i>	-	4
Spor Alanı				
Halitpaşa Spor ve Dinlenme parkı	Halitpaşa	<i>Robinia pseudoacacia 'Umbraculifera', Olea europaea</i>	<i>Picea glauca 'Conica'</i>	3
Şelale Park	Halitpaşa	-	-	-
Tenis Kordu	Halitpaşa	-	-	-
Deniz Kızı Parkı	Ömerbey	<i>Platanus occidentalis</i>	<i>Pinus pinea</i>	2
Siteler Mahallesi Spor Alanı	Siteler	-	-	-
Siteler Spor ve Dinlenme Parkı	Siteler	<i>Robinia pseudoacacia 'Umbraculifera', Prunus cerasifera, Tilia tomentosa, Salix babylonica</i>	-	4
Gökkuşluğu Parkı	Şükrüçavuş	-	-	-
Yunuslar Parkı	Şükrüçavuş	<i>Magnolia x soulangeana, Prunus cerasifera 'Atropurpurea', Hibiscus syriacus, Liriodendron tulipifera, Liquidambar orientalis</i>	<i>x Cupressocyparis leylandii, Thuja orientalis</i>	7
Çağlayan Spor Alanı	Yalı	<i>Nerium oleander., Morus alba</i>	<i>Thuja orientalis</i>	3
Yeni Spor ve Dinlenme Parkı	Yeni	-	-	-
Oyun parkı	Yeni	-	-	-

Farklı taksonomik gruplarda yer alan taksonların aktif yeşil alan tiplerine göre dağılımları incelendiğinde kullanılan taksonların büyük bir çoğunluğunun Angiospermae alt grubunda yer aldıkları ve bu gruba giren taksonların çocuk oyun alanlarında en yüksek oranda buldukları görülmüştür (Şekil 4).

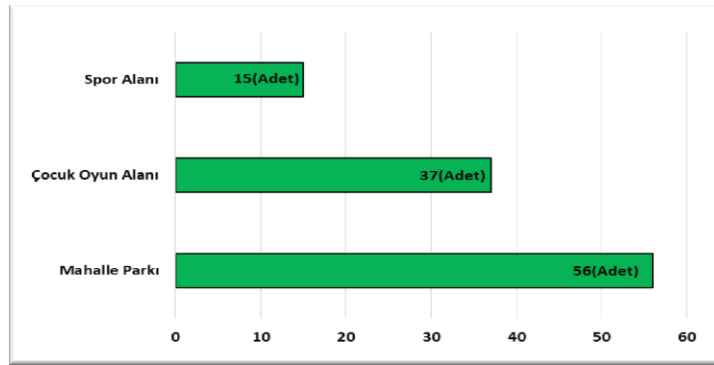
**Şekil 4. Taksonomik Gruplarda Yer Alan Taksonların Aktif Yeşil Alan Tiplerine Göre Dağılımları**

Yaşam formları bakımından gerçekleştirilen değerlendirmeler; mahalle parklarında yer alan taksonların %72.11'inin ağaç, %24.16'sının çalı, çocuk oyun alanlarında %68.68'inin ağaç, %27.47'sinin çalı, spor alanlarında ise %79.17'sinin ağaç, %20.83'ünün çalı formunda olduklarını göstermiştir (Şekil 5).



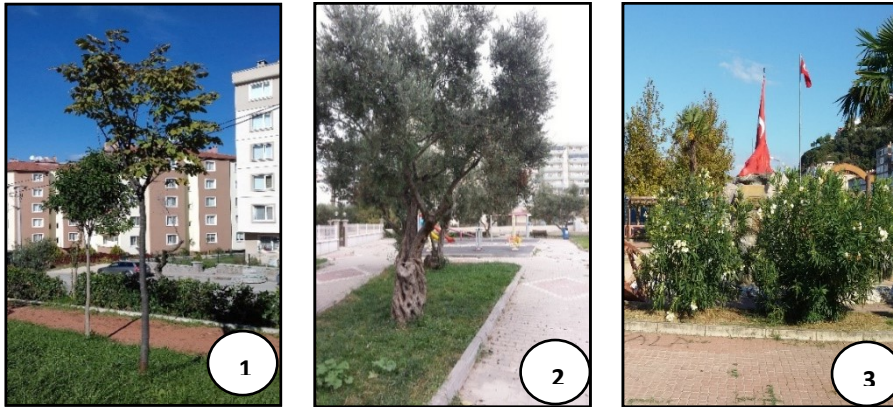
Şekil 5. Yaşam Formlarına Göre Taksonların Aktif Yeşil Alan Tiplerine Göre Dağılımları

Tespit edilen taksonların 56 adedinin mahalle parklarında, 37 adedinin çocuk oyun alanlarında ve 15 adedinin ise spor alanlarında yer aldıkları belirlenmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Taksonların Aktif Yeşil Alan Tiplerine Göre Dağılımları

İlçede yer alan aktif yeşil alanlarda en çok kullanılan peyzaj bitki taksonu sıralamasında *Tilia tomentosa* Moench., *Olea europaea* L., *Nerium oleander* L.'nin yer aldığı ve bunların sırası ile 35, 27 ve 26 aktif yeşil alanda kullanıldıkları görülmüştür (Şekil 7).



Şekil 7. *Tilia tomentosa* Moench. (1-Şirinler Parkı), *Olea europaea* L. (2-Samanyolu Parkı), *Nerium oleander* L.(3-Şehit Burhan Zeytinci Parkı) örnekleri

SONUÇ

Mudanya ilçesinde yürütülen bu çalışma kapsamında; mahallerdeki aktif yeşil alanlar ve aktif yeşil alanlarda bulunan taksonların tespiti, taksonların mahallere göre dağılımları ile elde edilen veriler ışığında taksonomik gruplara, yaşam formlarına, familyalara göre cins dağılımları ve cinslere göre takson dağılımları incelenmiştir.

Mahallelerde incelenen aktif yeşil alanlarda yer alan odunsu peyzaj bitkileri sayısının en fazla 316 adet ile Ömerbey mahallesinde olduğu, bunu 293 daet ile Halitpaşa, 213 adet ile Yalı, 172 adet ile Eğitim, 120 adet ile Yeni mahallenin izlediği görülmüştür. Toplam 11 mahallede (Akköy, Altıntaş, Balabancık, Çağrısan, Çekrice, Çınarlı, Çayönü, Kaymakoba, Kumyaka, Mirzaoba, Yalıçiftlik) ise odunsu peyzaj bitkisi tespiti yapılamamıştır. Bu mahallelerde yer alan aktif yeşil alanlarda tasarım amaçları ve ilkelerine uygun bitkilendirmenin yapılması, bitki sayısının artırılması gereklidir.

Yener 2012'nin peyzaj çalışmalarında kullanılan odunsu bitkilerin alan kullanımlarıyla çeşitliliği, yoğunluğu ve ekolojik uyum değerlendirmesi yaptığı çalışmasında, peyzaj tasarımlarında dayanıklılık, estetik ve fonksiyonel özelliklerin dikkate alınarak taksonların kullanılması gerektiği değerlendirilmiştir. Kösa 2019, çalışmasında bitki taksonlarını bitkisel tasarım ilkeleri ile değerlendirmiş ve bitki tür sayısının önemini belirtmiştir.

Erduran ve Kabaş 2010'da aktif yeşil alanlarda bitki materyallerinin kullanımlarının uygun şekilde artırılmasının dikkat çekmeyi arttıracığını ve insanların bu alanlardan faydalanma sıklıklarının çoğaltacağını bildirmiştir.

Diğer yandan, Ekici ve Sarıbaş, 2006; Öztürk ve ark., 2017'ye göre; peyzaj amaçlı kullanılan bitkilerin çeşitlilik için değerli olduğunu ve çalışma bölgesinde bulunan ekolojik yaşam türlerinin gelişmelerine ve üretimine katkı sağlayacağını ve gelecekte yapılması muhtemel peyzaj düzenlemelerinde bölgenin ekolojik dokusuna uygun bitkilerin kullanılmasının önem arz ettiğini belirtmişlerdir.

Çevre bilincinin en iyi anlatılacağı ve bilincin artmasında önemli işleve sahip olan kentsel doku içerisinde yer alan aktif yeşil alanların (Yılmaz, 1995; Doygün ve Ok, 2006) sayıca Mudanya'da artırılması, aynı zamanda bu alanlar içerisinde yer alan taksonlar için tanıtım levhalarının hazırlanması da büyük önem taşımaktadır.

Rekreasyon faaliyetleri yürütme, kent gelişimini ilerletme, kent estetiğine katkı sağlama (yönlendirme, vurgu, perdeleme, estetik algılama, mekan oluşturma, sınırlama, güvenlik, gölgeleme) gibi (Altay, 2012) olumlu etkilere sahip olan aktif yeşil alanlar aynı zamanda çevresindeki yapı ve alanların mülk değerini artırarak o bölgedeki ekonomiye katkı sağlamaktadır (Mc Pherson, 1992; Tyruainen, 1997). Bu bakımdan, tasarım kriterlerine uygun, yeterli bitkisel çeşitliliğe sahip olan bu tip alanların sayıca artırılması ve mevcut olanlarda çeşitliliğin sağlanması düşünülmelidir. Ayrıca taksonların yönlendirme, vurgu, perdeleme, estetik algılama, mekân oluşturma, sınırlama, güvenlik, gölgeleme gibi (Altay, 2012) kullanımlara uygunluğu incelendiğinde, yeşil alanların büyük çoğunluğunda kullanıma uygun olacak şekilde bitkilendirme çalışması yapılmadığı görülmüştür. İlçede yeni tesis edilecek olan aktif yeşil alanlarda kullanımlara uygun bitki seçimleri yapılmalı ve hali hazırda bulunan aktif yeşil alanlara ilave edilecek olan taksonların kullanım amaçlarına uygun olarak belirlenmelidir.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

- Akdeniz, N.S., Batman, Z.P., Çelik A., Ender E. ve Zencirkıran, M. (2020). Bursa İli Mudanya İlçesi Kıyı Şeridinin Kullanıcı İstekleri Doğrultusunda Rekreatif Olanaklılığının Değerlendirilmesi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 22 (2), 307-318.
- Altay, V. (2012). Mustafa Kemal Üniversitesi Tayfur Ata Sökmen Kampüsü (Hatay)*nün Süs Bitkileri. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 2 (6), 11-26.
- Altay, V. ve Karahan, F. (2012). Tayfur Sökmen Kampüsü (Antakya-Hatay) ve Çevresinde Bulunan Bitkiler Üzerine Etnobotanik Bir Araştırma. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 2 (7), 13-28.
- Anonim. (2022). Mudanya iklim ve bitki örtüsü. URL: <http://www.mudanya.gov.tr/tarihi-ve-cografi-yapisi-> [Erişim Tarihi: 29.06.2022].
- Anonymous, (1998). *The Hillier Manual of Trees And Shrubs*. Pocket edition. A David and Charles Book.
- Aydoğdu, S.B. ve Erkan, N.Ç. (2020). Yeşil Alan ve Fiziksel Aktivitenin İnsan Mutluluğu Üzerindeki Etkisinin Saptanmasında Bir Yöntem. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 48, 345-362.
- Davis, P.H. (1965-1988). *Flora of Turkey and The East Aegean Islands*. Edinburgh University Press. Volume 1-10. Edinburgh.
- Davis, P.H., Mill, R. ve Tan, K. (1988). *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*. Edinburgh Univ. Press. Vol.10. Edinburgh.
- Durr, M.A. (1992). *Manual of Woody Landscape Plants: Their Identification, Ornamental Characteristics, Culture Propagation and Uses*. Varsity Press.
- Doygun, H. ve Ok, T. (2006). Kahramanmaraş Kenti Açık-Yeşil Alanlarında Ağaçlandırma Çalışmalarının Değerlendirilmesi ve Öneriler. *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 9 (2), 94-103.
- Dural, H. (1985). *Obruk Yaylası ve Karacadağ (Karapınar) Florası*. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (Basılmamış).
- Ekici, B. ve Sarıbaş, M. (2006). Bartın Kenti Peyzaj Düzenlemelerinde Kullanılan Bitki Materyali Üzerine Bir Araştırma. *Z.K.Ü. Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 8 (9), 1-9.
- Erduran, F. ve Kabaş, S. (2010). Parklarda Ekolojik Koşullarla Dengeli, İşlevsel ve Estetik Bitkilendirme İlkelerinin Çanakkale Halk Bahçesi Örneğinde İrdelenmesi. *Ekoloji*. 19 (74), 190-199.
- Güner, A., Özhatay, N., Ekim, T. ve Başer, K.H. (2000). *Flora of Turkey and the East Aegean Island*. Vol. 11. Edinburgh Univ. Press Vol. 11, Edinburgh, 656 pp.
- Güzelmansur, A. (2006). Ülkemizde İthal Edilen Süs Ağaç Türlerinin Doğu Akdeniz Bölgesi Yeşil Alanlarında Kullanımlarının İrdelenmesi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmamış)*.
- Kösa, S. (2019). Antalya Parklarında Budanarak Kullanılan Bitki Türlerinin Belirlenmesi ve Bitkisel Tasarım Bağlamında Değerlendirilmesi. *I. Uluslararası Süs Bitkileri Kongresi*, 236-237, Bursa.
- Köşe, H. ve Kara, B. (2021). Söke (Aydın) Kenti Aktif Açık-Yeşil Alanlarının Yeterliliğinin İncelenmesi. *Kent Kültürü ve Yönetimi Dergisi*, Cilt: 14 Sayı: 2, Yaz 2021.
- Krussman, G. (1984-1986). *Manual Of Cultivated Broad-Leaved Trees and Shrubs*. Timber Press, Portland, Oregon.
- Küçük, V. (2002). Isparta Kenti Yol Ağaçlandırmaları Üzerine Araştırmalar. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmamış)*.

- Önder, S. ve Polat, A.T. (2012). Kentsel Açık-Yeşil Alanların Kent Yaşamındaki Yeri ve Önemi, Kentsel Peyzaj Alanlarının Oluşumu ve Bakım Esasları Semineri, Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 19 Mayıs 2012, Konya.
- Öztürk, F., Erkan, C., Ölçücü, C., Çiriğ, N., Özok, N. ve Ögün, E. (2017). Van İli Peyzaj Bitkilerinin Arıcılık Açısından Değerlendirilmesi. YYU. J. AGR. SCI. 27 (4), 601-607.
- Polunin, O. (1969). *Flowers of Europe*. Oxford Univ. Press. London.
- Polunin, O. ve Huxley, A. (1981). *Flowers of the Mediterranean*. Chatto and Windus. London.
- Türkmen, N. (1987). Çukurova Üniversitesi Kampus Alanının Doğal Bitkileri, Hayat Formları ve Habitatları. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmamış).
- Türkmen, N. ve Düzenli, A. (1989). Çukurova Üniversitesi Kampus Alanının Doğal Bitkileri, Habitatları ve Hayat Formları. Çukurova Üniversitesi Fen ve Müh. Bil. Dergisi, vol.3, no.1, 151-168.
- Türkmen, N. ve Düzenli, A. (1998). The Flora of Dörtyol and Erzin District of Hatay Province of Turkey. *Turkish Journal of Botany*. 22 (2), 121-141.
- Tyruainen, L. (1997). The Amenity Value of the Urban Forest an Application of the Hedonic Pricing Method. *Landscape and Urban Planning* 37, 211-222.
- Yaltrık, F. (1993). *Dendrology Textbook II. Angiospermae (Angiosperms) Vol. I*. Istanbul.
- Yener, D.Y. (2012). İstanbul'da Peyzaj Düzenlemelerinde Kullanılan Odunsu Bitkiler Üzerine Araştırmalar. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Doktora Tezi.
- Yılmaz, H. (1995). Erzurum Kenti Okul Bahçelerinin Peyzaj Mimarlığı İlkeleri Yönünden İncelenmesi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 26 (4), 537-547.
- Yılmaz, H. ve Irmak, M.A. (2004). Atatürk Üniversitesi Merkez Yerleşimi Odunsu Bitkileri. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 35 (1-2), 89-96.
- Zencirkıran, M. (2004). Plant Species to be Used in the City of Bursa Landscape and Identification of Domestic and Foreign Origin Plant can be Used for this Purpose. *Uludağ Univ Research Project Number: 2002/24*.
- Zencirkıran, M. (2009). Determination of Native Woody Landscape Plants in Bursa and Uludağ. *African J of Biotechn.* 8, 5737-5746.
- Zencirkıran, M. (2013). *Peyzaj Bitkileri I. (Açık Tohumlu Bitkiler-Gymnospermae)*. 1. Basım. Nobel Akademik Yayıncılık Yayın Nu:605, Fen Bilimleri Nu:57, Ankara. 475 s.

Atf İçin: Karadaş, K., Kadirhanoğulları, İ. H. ve Konu Kadirhanoğulları, M. (2023). Karpuz (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. & Nakai) Üretimini Etkileyen Faktörlerin Veri Madenciliği ile Tahmini. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 1323-1334.

To Cite: Karadaş, K., Kadirhanoğulları, İ. H. & Konu Kadirhanoğulları, M. (2023). Prediction of The Factors Affecting Watermelon (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. & Nakai) Yield Using Data Mining. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 1323-1334.

Karpuz (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. & Nakai) Üretimini Etkileyen Faktörlerin Veri Madenciliği ile Tahmini

Köksal KARADAŞ^{1*}, İbrahim Hakkı KADİRHANOĞULLARI², Meryem KONU KADİRHANOĞULLARI³

Öne Çıkanlar:

- Karpuz üretiminin tahmin edilmesi
- Karpuz verimini etkileyen faktörler
- Karpuz verimi ve veri madenciliği

Anahtar Kelimeler:

- Veri madenciliği
- Regresyon ağacı
- Karpuz
- Diyarbakır

ÖZET:

Bu çalışmanın amacı Diyarbakır ilinde karpuz verimini etkileyen faktörleri belirlemektir. Veri Madenciliği Regresyon Ağacı yönteminden Ki-kare otomatik etkileşim detektörü (CHAID) algoritması kullanılan çalışmanın verileri Basit Tesadüfi Örneklem Yöntemi'ne göre belirlenen 80 adet karpuz üreticisinden elde edilmiştir. Oluşturulan model de Bağımlı değişken WY (karpuz verimi), bağımsız değişkenler R (bölge), AF (çiftçinin yaşı), EL (eğitim düzeyi), CA (ekim alanı), FD (gübreleme zamanı), FA (gübre miktarı), DS (ilaçlama zamanı), AS (ilaç miktarı), NI (sulama sayısı), IT (sulama süresi), AN (çapa sayısı) ve HT (hasat zamanı) olarak belirlenmiştir. Dekar başına ortalama 4488.9 kg karpuz verimi elde edilmiş ve çapa sayısı karpuz verimini en çok etkileyen değişken olmuştur. Sonuç olarak birim alandan daha yüksek verim alabilmek için karpuz üreticilerinin 4 defadan fazla çapa, 2 saatten az olmak üzere 5-6 defa sulama yapmaları ve Mayıs ayında gübre uygulamaları yapmaları gerekmektedir. Ayrıca Çermik, Eğil, Yenişehir ve Bismil karpuz üretimi için daha uygun bölgeler olarak belirlenmiştir.

Prediction of The Factors Affecting Watermelon (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. & Nakai) Yield Using Data Mining

Highlights:

- Forecasting watermelon production
- Watermelon yield and data mining
- Factors affecting watermelon yield

Keywords:

- Data mining
- Regression tree
- Watermelon
- Diyarbakır

ABSTRACT:

The aim of this study was to evaluate the factors of affecting watermelon yield in Diyarbakır province. The data was obtained from surveying of 80 watermelon farmers in Diyarbakır province, Turkey by Simple Random Sampling Method using the Chi-square automatic interaction detector (EXHAUSTIVE CHAID) algorithm of the Data Mining Regression Tree methods. In the model created, the dependent variable was WY (watermelon yield), and the independent variables were determined as R (region), AF (age of farmer), EL (education level), CA (cultivation are), FD (fertilization date), FA (amount of fertilization), DS (date of spraying), AS (amount of spraying), NI (number of irrigation), IT (irrigation time), AN (anchor number), HT (harvest time). As a result of the study, the factors that significantly affect the yield of watermelon; AN, NI, HT, CA, R has been determined. An average of 4488.9 kg watermelon yield per decare was obtained and the number of hoes was the variable that most affected the watermelon yield. As a result in order to get a higher yield per unit area, watermelon producers should anchor number more than 4 times, irrigate 5 to 6 times at less than 2 hours, and apply fertilizer in May. In addition, Çermik, Eğil, Yenişehir and Bismil were determined as more suitable regions for watermelon production.

^{1*} Köksal KARADAŞ ([Orcid ID: 0000-0003-1176-3313](https://orcid.org/0000-0003-1176-3313)), İğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, İğdır, Türkiye

² İbrahim Hakkı KADİRHANOĞULLARI ([Orcid ID: 0000-0002-9640-8910](https://orcid.org/0000-0002-9640-8910)), İğdır Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Organik Tarım İşletmeciliği Bölümü, İğdır, Türkiye

³ Meryem KONU KADİRHANOĞULLARI ([Orcid ID: 0000-0001-7359-7061](https://orcid.org/0000-0001-7359-7061)), Kafkas Üniversitesi, Sosyal Bilimler MYO, Çocuk Gelişimi Bölümü, Kars, Türkiye

*Corresponding Author: Köksal KARADAŞ, e-mail: kkaradas2002@gmail.com

Ethics Committee Approval: Bu makalede yer alan anket çalışması için "İğdır Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Yayın Etik Kurulu Başkanlığı'nın Tarih: 25.01.2021 Toplantı No 2021-04 sayılı kararı ile Etik Kurul Onayı almıştır.

INTRODUCTION

Vegetables are very important for human nutrition due to their abundant mineral, vitamin and antioxidant contents (Özçınar, 2020). The origin of watermelon, of which cultivation dates back for a long time, is Africa (Wehner, 2010; Erincik, 2015). Watermelon (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. & Nakai) and melon (*Cucumis melo* L.), which are the members of *Cucurbitaceae* family and are highly economically important species, are cultivated in warm regions (Güner and Wehner 2004; Öztürk, 2018).

The lycopene content, that prevents the occurrence of some diseases, of watermelon is higher compared to the other red-colored fruit species (Güner and Wehner 2004; Öztürk, 2018). Watermelon contains 8-14% sugar, while it is poor in protein, fat, and calories. However, in addition, the watermelon is rich in vitamins B, C and A, and contains calcium (Ca), iron (Fe), phosphorus (P) and magnesium (Mg) (Anonymous, 2005; Öztürk, 2018). Watermelon, which consists of 95% water, is usually consumed fresh, but also used in the production of syrup, fruit juice, jam, pickle or canned food. The seeds of watermelon are used in the cosmetic and pharmaceutical industry, and the shells can also be used in animal nutrition (Güneş and Aşkın, 2016). Watermelon is named as New world watermelon, Mottled watermelon, Black watermelon (black ice watermelon), Gülle watermelon, Washington watermelon and Diyarbakır watermelon based on the shape, color and, place of cultivation (Altaş, 2015).

Watermelon production of the world in 2021 was 104 136 387 million tons, and China ranked the first with 63 024 614 million tons and followed by Turkey with 4 031 174 million tons of production (Anonymous, 2021). Watermelon and melon are among the most produced species of the cucurbit family, which has a share of 40% in vegetable production in Turkey (Çat et al., 2016; Özçınar, 2020). Watermelon cultivation is carried out in 73 provinces of Turkey, and the highest production in 2021 was carried out in Adana province with 689 212 tons, while Diyarbakır ranked the 7th with 121 749 tons of watermelon production. Antalya, İzmir, Mardin and Şanlıurfa provinces are the other provinces where watermelon is produced the most in Turkey (TUİK, 2021).

Watermelon cultivation is mostly carried out in greenhouses in Adana, Antalya and Mersin, so the amount of watermelon production in open field conditions in Diyarbakır is too important to be underestimated. Watermelon has a special importance for Diyarbakır province, where watermelon has been produced for a long time and, it is identified with the watermelon (Koçkaya, 2019). Diyarbakır watermelon is grown in loamy, sandy and, pebbly lands next to the Tigris River with methods unique to Diyarbakır and has an important place in social, folkloric, and economic life of the region. The unique feature of Diyarbakır watermelon is its size and taste (Okumuş, 2010).

Studies on watermelon yield reported that main vine length and number of side branches affect watermelon yield (Ban et al., 2011), and watermelon yield can be increased at different spacing and mulching levels (Sylvestre et al., 2014). Similarly, the decrease in plant density increased fruit weight and fruit yield of watermelons (Kavut et al., 2014), and watermelon yield in irrigated fields (37.28 tons/ha) was higher than the yield (9.98 tons/ha) recorded in non-irrigated lands (Pejic et al., 2016). According to in addition, Filho et al. (2019) stated that application of 120 kg/ha NPK fertilizer increased watermelon yield, nutrient accumulation and fruit quality. In another study, watermelon yield significantly increased with direct application of nitrogen in drip irrigation system (Rolbiecki et al., 2020).

Data Mining Decision Tree models are used recently in evaluating agricultural production and yield data, determining, and evaluating product, input, and yield relationships. Decision Tree Model has been mostly used in livestock farming (Aytekin et al., 2018; Celik et al., 2018; Karadas and Birinci, 2019; Zaborski et al., 2019), while studies on crop production are very limited (Küçükönder et al., 2015;

Irmak and Ercan, 2017; Bostancı and Eren Atay, 2018). The aim of this study is to determine the factors affecting watermelon yield in Diyarbakır province by using Data Mining Regression Tree Method.

MATERIALS AND METHODS

Data Collection Phase

The material of the research consists of the data obtained from the questionnaires made with 80 watermelon producers registered in the Agricultural Information System (AIS) of Diyarbakır Provincial Directorate of Agriculture and Forestry, Department of Crop Production. In addition, other studies related to the subject, domestic and foreign publications, records and statistical data of public institutions and organizations were also used in the study. The surveys were conducted between August and September 2019.

Diyarbakır province, which ranks 7th in Turkey's watermelon production (TUİK, 2021), have been selected as the study area. (Fig.1). Diyarbakır province is in located the central part of Southeastern Anatolia Region of Turkey, lies between 37° 56' latitude and 40° 13' longitude and the altitude is average 650 m (Anonymous, 2019a)



Figure 1. Location of study area

There were 326 watermelon growers registered in the Agricultural Information System (AIS) in Diyarbakır province (Anonymous, 2019b), and 80 producers were selected with "Simple Random Sampling Method" using the Equation 1 (Yamane, 2010) to best represent the watermelon grower's population. The data obtained in the surveys conducted with the producers were evaluated. In the evaluation, the watermelon production areas of the growers were taken into consideration.

$$n = \frac{NS^2}{(N-1)D^2 + S^2} \quad (1)$$

Where, n is the number of persons to be sampled, N is the size of surveyed farmers (326 producers), S² is the variance of the persons (90.06) and D is the correction factor, that has been calculated using following equation (Eq. 2).

$$(D) = (E/t)^2 \quad (2)$$

In the equation, coefficient of t is accepted as 1.6445 within 90% of confidence interval. E is the error term (1.525), and it is 10% of the average of size population.

$$n = \left(\frac{326 \times (9.49)^2}{(326-1) \times (1.525/1.6445)^2 + (9.49)^2} \right) = 80$$

The sample size chosen was considered sufficient and the questionnaire was applied to 80 people. The districts where the surveys were covered and the number of the surveys are given in Table 1.

Table 1. The number of farmers and questionnaires by districts

	Number of Farmers	%	Number of Questionnaires
Sur	7	2	2
Çermik	93	29	23
Çınar	13	4	3
Dicle	9	3	2
Eğil	52	16	13
Ergani	73	22	18
Kayapınar	48	15	12
Kulp	5	2	1
Lice	11	3	3
Yenişehir	15	5	4
Total	326	100	80

Data Analysis Phase

Data mining was benefited as a method, and regression tree algorithm was used in the modeling phase of the study. Regression trees are advantageous algorithms for decision makers and are a data mining approach that is widely used for classification and prediction due to easy interpretation and comprehensibility (Karadas and Kadirhanogullari, 2017; Karakaya et al., 2018). CHAID (Chi-square automatic interaction detection), Exhaustive CHAID (exhaustive chi-square automatic interaction detection) and CART (Classification and Regression Tree) algorithms are effectively used in creating models with variables that have ordinal, nominal, and scale properties. The CART algorithm allows the creation of a decision tree structure based on binary split criteria by repeatedly splitting a node into two sub-nodes (Duru et al., 2017; Eydurun et al., 2017). The higher similarity rate among the members of result groups indicates that the splitting is more successful (Sun and Hui, 2008).

Some goodness of fit criteria reported by Grzesiak and Zaborski (2012) and Koç et al. (2017) were used to compare the regression tree algorithm performances (Table 2).

Where,

WY=Watermelon yield (kg/da)

R=Region (1:Çermik, 2:Sur, 3:Eğil, 4:Kayapınar, 5=Yenişehir, 6:Bismil)

AF=Age of farmer

EL=Education level, (1:illiterate, 2:literate, 3:primary school, 4:secondary school 5:high school 6:two-year degree, 7:bachelor's degree)

CA=Cultivation area (decare)

FD=Fertilization date (1:January, 2:February, 3:March, 4:April, 5:May)

FA=Amount of fertilization (kg/da)

DS=Date of spraying (1:January, 2:February, 3:March, 4:April, 5:May)

AS=Amount of Spraying (ml/da)

NI= Number of irrigation

IT= Irrigation time (hour)

AN=Anchor number

HT=Harvest time (6:June, 7:July)

Table 2. Goodness of Fit Criteria

Coefficient of Determination	$R^2 = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \right] * 100$
Adjusted Coefficient of Determination	$\bar{R}^2 = \left[1 - \frac{\frac{1}{n-k-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \right] * 100$
Coefficient of Variation	$CV = \sqrt{\frac{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})^2}{\bar{Y}}} * 100$
Standard Deviation Ratio	$SD = \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})^2}}{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}$
Relative Approximation Error	$RAE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n Y_i^2}}$
Root-mean-square error	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}}$
Mean absolute percentage error	$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left \frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \right * 100$

$\varepsilon_i = Y_i - \hat{Y}_i$ (Actual WYF – Predicted WYF); WYF is watermelon yield factors, n is the number of watermelon (n), i..... 1,2,..., n (treatment), \bar{Y} overall mean, \hat{Y}_ii. predicted value of watermelon, ε_i chance related error value of watermelon, $\bar{\varepsilon}$ mean error value depending on chance error values, Y_i I represent the WFY value of watermelon.

The goodness of fit criteria specified in Table 3 were used in the selection of the most suitable model. The criteria for goodness of fit were calculated in the R STUDIO program using the estimated values and observed (real) values of the dependent variable. Model comparisons were carried out based on the lowest RMSE, MAPE, RAE, coeffvar, SDratio and MAD values and the highest Pearson correlation coefficient, Rsq and ARsq values (Tatlıyer, 2020).

Table 3. Goodness of Fit of Regression Tree Algorithms for Factors Affecting Watermelon Production

	CHAID	EXHAUSTIVE CHAID	CART
Rsq	0.745	0.785	0.775
ARsq	0.670	0.722	0.709
R	0.863	0.886	0.880
SDratio	0.505	0.464	0.475
RAE	0.021	0.018	0.019
CV	15.240	13.990	14.330
MAPE	13.684	12.195	13.624
MAD	491.540	474.512	485.034
RMSE	679.902	624.129	639.193

The parent-child node was set to 6:3 and the cross-validation value to 10 to determine the highest predictive performance.

RESULTS AND DISCUSSION

While evaluating the results, first of all, demographic data of watermelon producers were evaluated. The most crowded age group of watermelon farmers was between 15 and 49 (71.3%) with 57 people, and the literate group was the major crowded group in education status with 53 people (66.3). The highest number of individuals in the family was between 3 and 7 with 36 farmers (45.0%), and the average density for the number of individuals in a family was 5 individuals. The number of producers who do not have an additional income was 44 (55%), other producers earn additional income by working in private sector or plant and animal production. Sixty-three producers (77.5%) were landowner and only 19 producers (23.8%) had an agricultural insurance. Büyükkalay (2019) stated in her study titled Watermelon Production and Marketing Structure in Antalya Province that 84% of producers are between the ages of 30-60, 80% are secondary school graduates and 50% have a family size of 4 people. According to Seçer et al. (2020) In his study titled The Factors Affecting the Producers' Decision to Grow Fruit Tree and Their Expectations for the Future in Ağrı Province, 47% of producers were between the ages of 40-50, 74% were secondary school graduates, and 59% had family size less than 6 people. According to Simsek et al. (2020) found the average age of producers to be 54 and their education period to be 8 years in their study titled Determination of Approaches of the Stone Fruit Producers to the Phytopathological Problems of Uşak Province.

Table 4. Demographic Data of Watermelon Producers

		N	%
Age Range	15-49	57	71.3
	50-64	22	27.5
	65+	1	1.3
Education Status	Illiterate	1	1.3
	Literate	53	66.3
	Elementary School	4	5.0
	Secondary School	20	25.0
Number of family members	High School	2	2.5
	3.00	1	1.3
	4.00	25	31.3
	5.00	36	45.0
	6.00	15	18.8
District	7.00	3	3.8
	Çermik	10	12.5
	Sur	9	11.3
	Eğil	22	27.5
	Kayapınar	26	32.5
	Yenişehir	2	2.5
Additional Income	Bismil	11	13.8
	Livestock	11	13.8
	Crop and Animal production	10	12.5
	Private Sector	12	15.0
	Government official	3	3.8
Land Entity	No additional income	44	55.0
	Sharecropper	2	2.5
	Owner	62	77.5
Agricultural Insurance Holders	Rent and Property	16	20.0
	Yes	19	23.8
	No	61	76.3

Model Fit Criteria evaluation revealed that the most suitable model is the regression decision tree diagram formed by Exhaustive CHAID algorithm (Figure 2). Celik et al. (2017) CART model is the most suitable, Karadas et al. (2017) found the CHAID model as the most suitable, and Karadas and

Prediction of The Factors Affecting Watermelon (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. & Nakai) Yield Using Data Mining

Birinci (2019) MARS model is the most suitable model. The most important factors affecting the watermelon yield in the regression decision tree diagram were determined Anchor number (AN), number of irrigation (NI), harvest time (HT), cultivation area (CA), region (R), and irrigation time (IT). Gungor and Balkaya (2015) reported that plant density had a positive effect on watermelon yield. Kuşcu et al. (2015) stated that irrigation water affects the yield of watermelon.

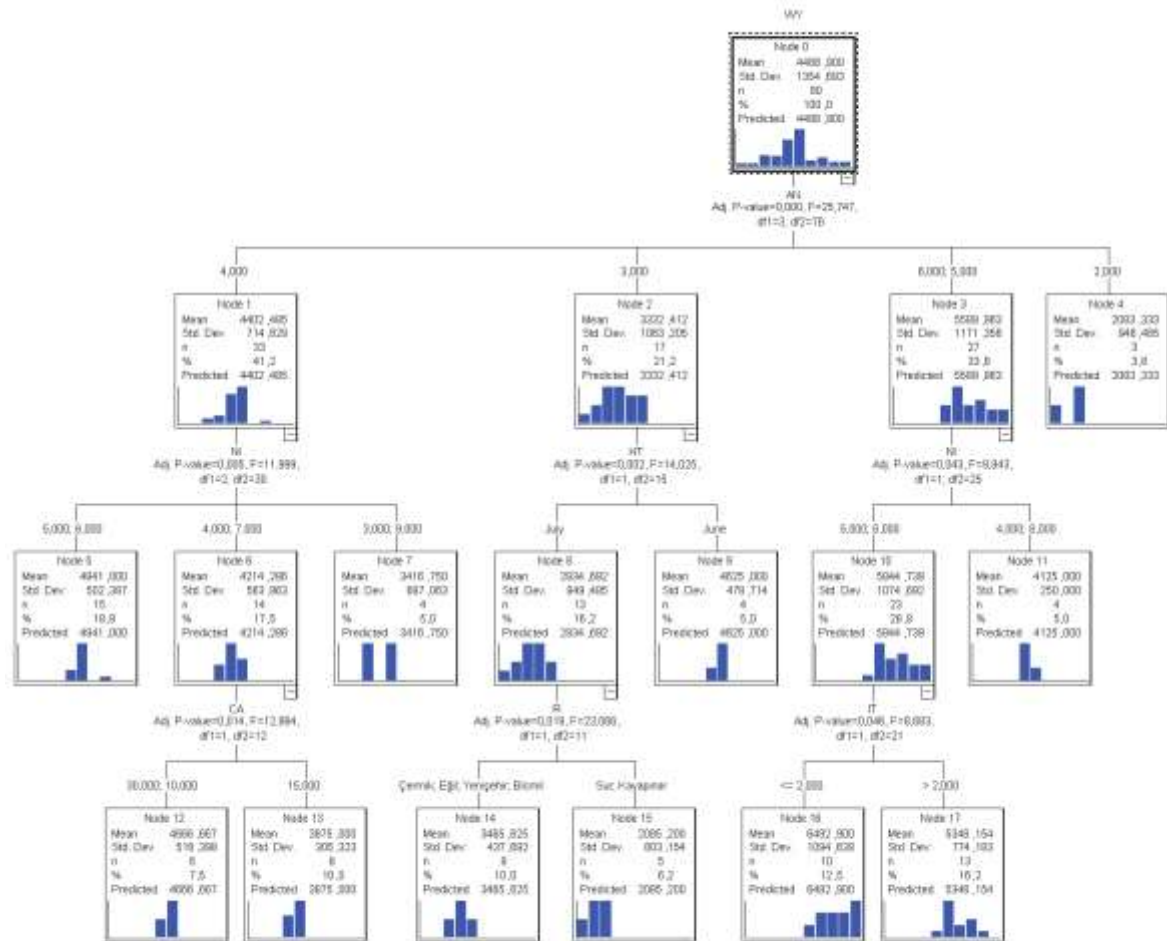


Figure 1. Regression Tree of Factors Affecting Watermelon Yield

The coefficient of determination estimated in the Exhausted CHAID algorithm was 79%. The regression decision tree diagram showed that an average watermelon yield (WY) of 80 producers who attended the questionnaire, in Node 0 was 4 488.9 kg/da (S:1 354). Watermelon yield determined in this study is higher than the WY (3 770 kg/da) determined by Tuna and Ozer (2005) in Muğla and the WY (3 832 kg/da) determined by Oktay and Doran (2005) in Diyarbakır province. The WY is like that (3 500-10 600 kg/da) reported by Koleboshina and Varivoda (2020) in the Volgograd region of Russia. However, the WY is lower than the WY (9 340 kg/da) determined by Yavuz et al (2020) in Konya Plain and the WY (19 400-24 900 kg/da) recorded by Malueva and Bocherova (2020) in Russia. Although studies have been conducted to determine WY under different regions and ecological conditions, data mining algorithms have not previously been used to determine the factors affecting WY. Therefore, it is estimated that this study will be one of the first studies in which data mining algorithms are used to determine the factors affecting WY.

The regression tree formed by the Exhaustive CHAID algorithm consists of three tree depths. Node 0 is divided into four child-nodes (Nodes 1, 2, 3 and 4) (Adj. P value=0.000, F=25.747, df1=3 and df2=76) according to the anchor number (AN). Node 1, where 33 watermelon producers applied 4 anchor (AN=4), constituted the first subgroup. Node 2 is the second subgroup (AN=3), and Node 3 comprise of the third group (AN=5 and 6). Node 4 is the terminal Node, which is the fourth subgroup, and is the Node 4 where the lowest WY was obtained. The average WY were 4 402 kg in Node 1 (S=714), 3 332 kg in Node 2 (S=1 063), 5 589 kg in Node 3 (S=1 171) and 2 083 kg in Node 4 (S=946), respectively. The hoeing in field crops is carried out for weed control, soil aeration and moisture conservation, and it increases the crop yield (Baydar, 2012). In addition, Şanlı et al. (2009) stated that hoeing and herbicide applications generally increased plant height in chickpea, where different herbicides and hoeing times were applied for weed control, compared to control plots. Node 3 in the decision tree indicated that the producers who applied 5-6 anchor obtained higher WY, therefore, 5-6 anchor operations in watermelon production can be recommended to obtain high WY.

Node 1 is divided into the fifth, sixth and seventh child-nodes as Nodes 5, 6 and 7 according to the NI. The Node 5 and 7 are the terminal nodes. The average WY of Node 5, 6 and 7 are 4 841 (S=502), 4 214 (S=563) and 3 416 (S=687) kg, respectively. Node 2 is divided into eighth and ninth child-nodes, based on the HT. Node 8 shows the producers harvesting watermelon in July and node 9 in June, and yields were determined as 2 934 (S=849) and 4 625 (S=478) kg, respectively. The differences in WY recorded in different time can be attributed to the effect of HT on WY. The producers harvesting in June obtain higher yield, therefore, harvesting in June can be recommended to the regional watermelon producers. The results of Tokgöz et al. (2015), who evaluated some quality parameters of two different watermelon cultivars grafted on three different rootstocks and harvested at two different times. It has been stated that the use of grafted seedlings provides an advantage in terms of mineral matter, and the samples taken from the second harvest period are more advantageous than the first harvest period.

Node 3 is divided into tenth and eleventh child-nodes as Nodes 10 and 11 based on the NI. The WY of Nodes 10 and 11 are 5 844 (S=1 074) and 4 125 (S=250) kg, and Node 11 is the terminal Node. Producers who irrigate 5 and 6 times obtained the highest yield. Producers irrigating less or more than 5-6 times obtained less yield. The insufficient water delays the maturation of watermelon plants, while excess water accelerates the vegetative growth and negatively affects the yield (Anonymous, 2020). In addition, Vural and Dağdelen (2008) stated the importance of irrigation intervals including water levels on the number of leaves per plant and on yield and agronomic characteristics of watermelon. The most appropriate irrigation is needed for higher yields, therefore 5-6 times irrigation can be recommended in watermelon cultivation to obtain optimum yield in the region.

Node 6 is divided into the twelfth and thirteenth child-nodes as Node 12 and Node 13 based on cultivation area, and the resulting WY was 4 666 (S=516) and 3 875 (S=305) kg, respectively. Node 8 is divided into fourteenth and fifteenth child-nodes as Node 14 and Node 15 in terms of region. Çermik, Eğil, Yenişehir and Bismil districts located in Node 14 and the average WY was 3 465 kg/da (S=437). Sur and Kayapınar districts located at Node 15, and the average WY was 2 085 kg/da (S=603). Node 10 was divided into sixteenth and seventeenth child-nodes as Node 16 and Node 17 based on IT. Ten producers in Node 16 among all watermelon producers, irrigated 2 hours or less obtained the highest WY yield (6492 kg/da). The results revealed that the irrigation is needed to obtain high WY, and the most appropriate amount of water should be given in irrigation.

CONCLUSION

Data mining method is not adequately known and is not widely used in scientific studies related to crop production of agricultural activities. Investigated factors affecting the yield in crop production and the predictions carried out with the algorithms in the regression tree analysis method can be effective in crop production. The watermelon yield obtained in the study area and in the year of the study (4 488 kg/da) was found above the World (3 262 kg/da) and Turkey (4 404 kg/da) average (FAO, 2019). The results revealed that watermelon producers in Diyarbakir should apply 5-6 hoeing, and 5-6 irrigation less than 2 hours, and harvest watermelon in June. Estimating the factors affecting the yield with the regression tree algorithms in the crop productions planned in the future will make a great contribution to scientific research in theory and practice.

Conflict of Interest

The article authors declare that there is no conflict of interest between them.

Author's Contributions

The authors declare that they have contributed equally to the article.

REFERENCES

- Altaş, S, (2015). Investigation of In Vivo and In Vitro Antioxidant Activities of Diyarbakir Watermelon. (Doctoral Thesis). Dicle University Institute of Science, Diyarbakir. (In Turkish).
- Anonymous, (2005). Watermelon cultivation, T.R. Ministry of Agriculture and Forestry, Samsun Provincial Directorate of Agriculture and Forestry <https://samsun.tarimorman.gov.tr/Belgeler/Yayinlar/Lifletlerimiz/s-13.pdf>
- Anonymous, (2019a). Diyarbakir Metropolitan Municipality, Geography, Climate, Population Data. <https://www.diyarbakir.bel.tr/diyarbakir/genel-bilgiler/cograf-bilgiler.html> (In Turkish). (Date of access: 10 May 2022).
- Anonymous, (2019b). T.R. Ministry of Agriculture and Forestry, Diyarbakir Provincial Directorate of Agriculture and Forestry Crop Production Records. <https://diyarbakir.tarimorman.gov.tr/> (In Turkish). (Date of access: 10 May 2022).
- Anonymous, (2021). World Watermelon Production by Countries. <https://www.atlasbig.com/tr/ulkelerin-karpuz-uretimi>
- Aytekin, İ., Eydurhan, E., Karadas, K., Akşahan, R., Keskin, İ, (2018). Prediction of Fattening Final Live Weight from some Body Measurements and Fattening Period in Young Bulls of Crossbred and Exotic Breeds using MARS Data Mining Algorithm. R. Bras. Zootec., 50(1):189-195.
- Ban, D., Ban, SG., Oplanic, M., Horvat, J., Novak, B., Zanic, K., Znidarcic, D, (2011). Growth and Yield Response of Watermelon to In-Row Plant Spacing and Mycorrhiza. Chilean Journal of Agricultural Research 71(4):497-502.
- Bostancı, B., Eren Atay, C, (2018). Decision Support Tools for Barley Yield: The Case of Menemen – Turkey. Dokuz Eylul University Faculty of Engineering Science and Engineering Journal, 20(60): 1057-1067.
- Büyükkalay, H., 2019. Watermelon Production and Marketing Structure in Antalya Province. Antalya University, Institute of Science, Master's Thesis, page, 71.

- Çat, A., Yardımcı, N., Kılıç, HÇ, 2016. Determination of Viral Factors in Greenhouse Cucumber (*Cucumis sativus* L.) and Cabbage (*Cucurbita pepo* L.) Production Areas in Antalya Province and Districts. Süleyman Demirel University Journal of the Institute of Science. 1, 129-132. (In Turkish)
- Celik, S., Eyduran, E., Karadas, K., Tariq, MM., (2017). Comparison of predictive performance of data mining algorithms in predicting body weight in Mengali rams of Pakistan. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 46(11): 863-872.
- Celik, S., Eyduran, E., Tatliyer, A., Karadas, K., Kara, MK., Waheed, A, (2018). Comparing Predictive Performances of some Nonlinear Functions and Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS) for Describing the Growth of Daera Dın Panah (DDP) Goat in Pakistan. *Pakistan J. Zool.*, 50(3):1-4.
- Duru, M., Duru, A., Karadas, K., Eyduran, E., Cinli, H., Tariq, MM, (2017). Effect of carrot (*Daucus carota*) leaf powder on external and internal egg characteristics of hy-line white laying hens. *Pakistan Journal of zoology*, 49: 125-132. <https://doi.org/10.17582/journal.pjz/2017.49.1.125.132>.
- Eyduran, E., Zaborski, D., Waheed, A., Celik, S., Karadas, K., Grzesiak, W, (2017). Comparison of the predictive capabilities of several data mining algorithms and multiple linear regression in the prediction of body weight by means of body measurements in the indigenous beetal goat of Pakistan. *Pakistan Journal of zoology*, 49: 257-265. <https://doi.org/10.17582/journal.pjz/2017.49.1.257.265>.
- FAO, (2019). Food and Agricultural Organization of the United Nations. Crops and Livestock Products. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (Date of access: 16 May 2022).
- Filho, FSO., Pereira, FHF., Brito, MEB., Medeiros, JE., Lacerda, F. H. D., Junior, JE C, (2019). Yield, quality and nutrient accumulation in watermelon as a function of organo-mineral fertilization. *Comunicata Scientiae* 10(1): 141-149.
- Geçioğlu Erincik, B, (2015). The prevalence and intensity of watermelon fusarium wilt disease in Aydın, the breeds of the causative *Fusarium oxysporum* f. Sp. niveum (Fon), vegetative compatibility groups and the reactions of some watermelon varieties to the agent. (Doctoral Thesis). Adnan Menderes University Institute of Science, Aydın. (In Turkish).
- Grzesiak, W., Zaborski, D, (2012). Examples of the use of data mining methods in animal breeding. *Data mining applications in engineering and medicine*, 303-324.
- Güner, N. Wehner, T.C, (2004). The genes of watermelon. *Hortscience*, 39(6): 1175- 1182.
- Güneş, R Aşkın, B, 2016). Chemical properties and nutritional content of watermelon seed oil. *Food*, 41(1): 37-44. (In Turkish)
- Güngör, B, Balkaya, A., (2015). Mini Watermelon Cultivation. *Journal of Turkish Seed Growers Association*. 2: 26-29.
- Irmak, S., Ercan, U, (2017). Determination of Factors Affecting Vegetable Oil Consumption with Data Mining Methods. *Kafkas University Journal of Economics and Administrative Sciences Faculty*, 8(15): 57-79. (In Turkish).
- Karadas, K. and Kadirhanogullari, İH, (2017). Predicting Honey Production using Data Mining and Artificial Neural Network Algorithms in Apiculture. *Pakistan Journal of zoology* 49 (5):1611-1619.
- Karadas, K., Birinci, A, (2019). Determination of factors affecting dairy cattle: a case study of Ardahan province using data mining algorithms. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 48:1-11.

- Karadas, K., Tariq, M., Tariq, MM, Eyduran, E. (2017). Measuring Predictive Performance of Data Mining and Artificial Neural Network Algorithms for Predicting Lactation Milk Yield in Indigenous Akkaraman Sheep. *Pakistan Journal of zoology*, 49(1):1-7.
- Karakaya, E., Çelik, Ş., ve Taysı, MR, (2018). Investigation of Factors Affecting Fish Meat Consumption with CHAID Algorithm. *Gaziosmanpaşa University Journal of Agriculture Faculty*, 35 (2), 85-93. (In Turkish).
- Kavut, YT., Geren, H., Simiã, A, (2014). Effect of Different Plant Densities on The Fruit Yield and Some Related Parameters and Storage Losses of Fodder Watermelon (*Citrillus lanatus* var. Cit). *Turkish Journal of Field Crops*, 19(2), 226-230.
- Koç, Y., Eyduran, E., Akbulut, O, (2017). Application of Regression Tree Method for Different Data from Animal Science. *Pakistan Journal of zoology*, 49(2): 599-607.
- Koçkaya, MA, 2019. Effects of Different Fertilizer Types on Yield and Quality in Diyarbakır Watermelon (*Citrullus Lanatus*). (Master Thesis). Dicle University Institute of Science, Diyarbakır. (In Turkish).
- Koleboshina, T. G., Varivoda, E. A. 2020. Melon growing industry analysis in modern economic conditions. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 459, No. 6, p. 062075). IOP Publishing. april
- Küçükönder, H., Vursavuş, KK., Üçkardeş, F, 2015. Determining the Effect of Some Mechanical Properties on Color Maturity of Tomatoes by K-Star, Random Forest and Decision Tree (C4.5) Classification Algorithms. *Turkish Journal of Agriculture Food Science and Technology*, 3(5): 300-306. (in Turkish).
- Kuşçu, H., Turan, A., Özmen, N., Aydınol, P., Demir, AO., 2015. Effects of different irrigation regimes on water use efficiency, yield and fruit quality of watermelon under Bursa ecological conditions. *Journal of Akdeniz University Faculty of Agriculture*, 28(1): 21-26.
- Malueva, S. V., Bocherova, I. N., & Kornilova, M. S. 2020. Use of the source material in the selection of watermelon and melon. *News of FSVC*, (2), 68-72.
- Oktay, A., Doran, I. 2005. The Effects of Nitrogen Fertilization on Fruit Yield and Quality of Turkey's Largest Watermelon Spreading Variety. *Journal of Akdeniz University Faculty of Agriculture*, 18(3), 305-311.
- Okumuş, V, 2010. Biotechnological Research on the Micropropagation of Diyarbakır Watermelon Genotypes (*Citrullus Lanatus* Cv. 'White Winter', 'Karakış' and 'Spread'). (Doctoral Thesis). Dicle University Institute of Science, Diyarbakır. (In Turkish).
- Özçınar, S, 2020. A Characterization of Watermelon Mosaic Virus (Watermelon Mosaic Virus, Wmv) in Watermelon and Melon Fields of Calf and Mersin Provinces. (Master Thesis). Çukurova University Institute of Science, Adana. (In Turkish)
- Öztürk, N, 2018. Quantitative Real Time PCR Diagnosis and Detection of Watermelon Bacterial Fruit Spot Disease *Acidovorax Citrulli* and Investigation of Sensitivity Reactions of Watermelon and Melon Varieties. (Doctoral Thesis) Akdeniz University Institute of Science and Technology, Antalya. (In Turkish).
- Pejic, B., Mackic, k., Pavkovic, S., Lejevnaić-Masic, B., Aksic, M., Gvozdanovic-Varga, J, 2016. Water-Yield Relations of Drip Irrigated Watermelon in Temperate Climatic Conditions. *Contemporary Agriculture* 65(1):53-59.

- Rolbiecki, R., Rolbiecki, S., Piszczek, P., Figas, A., Jagosz, B., Ptach, W., Prus, P., Kazula, M. J., (2020). Impact of Nitrogen Fertigation on Watermelon Yield Grown on the Very Light Soil in Poland. *Agronomy*, 10:1-10.
- Şanlı, A., Kaya, M., Kara, B., (2009). Effects of Weed Control Times and Herbicide Applications on Yield and Some Yield Components in Chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Anatolian Journal of Agricultural Sciences*, 24(1), 13-20. (In Turkish).
- Seçer, A., Çelik, F., Barut, H., (2020). The Factors Affecting the Producers' Decision to Grow Fruit Tree and Their Expectations for the Future in Ağrı Province. *Çukurova Journal of Agriculture and Food Science*, 35(2): 77-88.
- Şimşek, A., Dinler, H., Duru, S., (2020). Determination of Approaches of the Stone Fruit Producers to the Phytopathological Problems of Uşak Province. *International Journal of Life Sciences and Biotechnology*, 3(2): 127- 147.
- Sun, J., Hui, LI, 2008. Data Mining Method for Listed Companies, Financial Distress Prediction. *Knowledge-Based Systems*, 21, No. 1.
- Sylvestre, H., Bosco, N. J., Emmanuel, N., Christine, U, 2014. Growth and yield of Watermelon as affected by different spacing and mulching types under Rubona conditions in Rwanda. *Scholarly Journal of Agricultural Science*, 4(10): 517-520.
- Tatlıyer, A, 2020. The Effect of Breeding Type on the Prediction Performance of Regression Tree Algorithms in Lambs. *Kahramanmaraş Sütçü İmam University Journal of Agriculture and Nature*,23(3), 772-780. (In Turkish).
- Tokgöz, H., Gölükcü, M., Toker, R., Turgut, DY, 2015. The Effects of Grafted Seedling Use and Harvest Time on Some Physical and Chemical Properties of Watermelon (*Citrullus Lanatus*), *Gıda*, 40(5), 263-270. (In Turkish).
- TUİK, 2021. Turkish Statistical Institute. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr> January 21, 2021. (In Turkish).
- Tuna, A. L., Ozer, O. 2005. Effect of Different Calcium Compounds on the Fruit Yield, Nutrition and some Quality Properties of Watermelon (*Citrullus lanatus*) Plant. *Journal of The Faculty of Agriculture*, 42(1), 203.
- Vural, Ç., Dağdelen, N, 2008. The Effects of Different Irrigation Programs on Yield and Some Agronomic Properties of Popcorn Irrigated by Drip Irrigation Method. *Adnan Menderes University Journal of the Faculty of Agriculture*, 5(2), 97-104. (In Turkish)
- Wehner, TC, 2010. Watermelon crop information. North Carolina State University. Raleigh, NC.
- Yamane, T, 2010. Basic Sampling Methods. Gazi University Faculty of Science and Letters, Department of Statistics, Literature Publications, No.53, 116 p., Istanbul (In Turkish)
- Yavuz, D., Seymen, M., Süheri, S., Yavuz, N., Türkmen, Ö., & Kurtar, E. S. 2020. How do rootstocks of citron watermelon (*Citrullus lanatus* var. *citroides*) affect the yield and quality of watermelon under deficit irrigation?. *Agricultural Water Management*, 241, 106351.
- Zaborski, D., Ali, M., Eydurhan, E., Grzesiak, W., Tariq, M. M., Abbas, F., Waheed, A., Tirink, C, 2019. Prediction of Selected Reproductive Traits of Indigenous Harnai Sheep under the Farm Management System via various Data Mining Algorithms. *Pakistan Journal of zoology*, 51(2): 421-431.

Atf İçin: Kumbasaroğlu H. (2023). Erzincan İlindeki Tüketicilerin Tulum Peyniri Tüketim Tercihlerinin İncelenmesi. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 13(2): 1335-1346.*

To Cite: Kumbasaroğlu H. (2023). Investigation of Tulum Cheese Consumption Preferences of Consumers in Erzincan Province. *Journal of the Institute of Science and Technology, 13(2): 1335-1346.*

Erzincan İlindeki Tüketicilerin Tulum Peyniri Tüketim Tercihlerinin İncelenmesi

Hediye KUMBASAROĞLU^{1*}

Öne Çıkanlar:

- Yöresel bir ürünün kendi bölgesinde şartlı tüketim tercihleri
- Tulum peyniri tüketim alışkanlığının etkilendiği diğer ürünler
- Yerli bir ürünün tüketim miktarının bilimsel çıkarımları

ÖZET:

Bu çalışmanın amacı Erzincan'da ikamet eden tüketicilerin coğrafi işaret ile etiketlenmiş olan Erzincan tulum peyniri tüketim tercihlerini etkileyen faktörleri belirlemektir. Araştırmada Erzincan ilinde ikamet eden 271 tüketiciyle yüz-yüze görüşmeler yapılmıştır. Toplanan datalar tanımlayıcı istatistikler ve frekans tablolarının oluşturulmasında kullanılmıştır. Tulum peyniri tüketimini etkileyen faktörler, çok değişkenli lineer regresyon analizi ile tespit edilmiştir. Bağımlı değişken olan tulum peyniri tüketim miktarını, köyde yaşayan tanıdıkların olması, ailenin ortalama geliri, ailenin ortalama aylık harcaması, beyaz peynir tüketim sıklığı, kaşar peynir tüketim sıklığı, beyaz peynir tüketim miktarı, kaşar peynir tüketim miktarı, tulum peynirinin fiyatı, tulum peynirinin salamura olması, tulum peynirinin coğrafi işaretli ürün olması ve tulum peyniri satış noktası gibi parametrelerin etkilendiği sonucuna varılmıştır. Oluşturulan modelin, tulum peyniri tüketimindeki değişkenlerin açıklanma oranı %77.50 seviyesinde olup varyans analizi (ANOVA) çözümüne göre anlamlı olduğu belirlenmiştir. Sonuçta tulum peyniri için ürün hakkında bilgilendirici çalışmaların yapılması ve sağlık açısından faydalarının anlatılması ile tüketim miktarının artışına katkı sağlayacağı önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler:

- Erzincan tulum peyniri
- Regresyon analizi
- Tüketim tercihleri

Investigation of Tulum Cheese Consumption Preferences of Consumers in Erzincan Province

Highlights:

- Conditional consumption options of a local crop in its own region
- Other crops affected Tulum cheese consumption habits
- Scientific implications of domestic crop consumption amounts

ABSTRACT:

The aim of this study is to determine the factors affecting the consumption preferences of Erzincan tulum cheese labeled with geographical indications of consumers residing in Erzincan. In the research, face-to-face interviews were conducted with 271 consumers residing in Erzincan. The collected data were used to create descriptive statistics and frequency tables. Factors affecting Tulum cheese consumption were determined by multi-linear regression analysis. It was concluded that the dependent variable, the amount of Tulum cheese consumption, was affected by parameters such as the presence of acquaintances living in the village, the average income of the family, the average monthly expenditure of the family, the frequency of consumption of white cheese, the frequency of consumption of cheddar cheese, the amount of consumption of white cheese, the amount of consumption of cheddar cheese, the price of Tulum cheese, the brine of Tulum cheese, the geographical indication of Tulum cheese, and the sales point of Tulum cheese. The explanation rate of the variables in the consumption of tulum cheese in the created model was at the level of 77.50%, and it was determined that it was significant according to the analysis of variance (ANOVA) solution. As a result, it is suggested that informative studies about the product for Tulum cheese and explaining its benefits in terms of health will contribute to the increase in the amount of consumption.

Keywords:

- Erzincan tulum cheese
- Regression analysis
- Consumption references

¹Hediye KUMBASAROĞLU (Orcid ID: 0000-0003-0266-3775), Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Meslek Yüksek Okulu, Pazarlama ve Dış Ticaret Bölümü, Pazarlama Programı, Erzincan, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Hediye KUMBASAROĞLU, e-mail: hediye.kumbasaroglu@erzincan.edu.tr

GİRİŞ

İnsanların hayatlarını devam ettirebilmeleri için fizyolojik ihtiyaçlarını karşılamaları gerekir. Fizyolojik ihtiyaçların başında beslenme gelmektedir. Bitkisel ve hayvansal besin kaynakları insanların beslenme ihtiyacının karşılanmasında büyük önem taşır.

Hayvansal kaynaklı süt ve süt ürünleri, Türkiye’de hem üretim hem de tüketim bakımından yeterli düzeyde değildir. Bu durum; süt ürünlerinin insan beslenmesindeki önemi, şehirleşme, gelir ve nüfus artışı da dikkate alındığında, daha belirgin olarak ortaya çıkmaktadır (Şahin ve ark., 2001). 2018 yılı verilerine göre Dünyada üretilen sütün %2.43’ü Türkiye’de üretilmektedir (TÜİK, 2022). Türkiye İstatistik Kurumunun 2019 yılı verilerine göre, Türkiye’de üretilen sütün %90.51’i inek, %6.63’ü koyun, %2.51’i keçi ve %0.35’i mandadan elde edilmektedir (TÜİK, 2022). Tulum peyniri üretiminde koyun ve keçi sütü tercih edilmektedir. Koyun ve keçi sütü her mevsim bulunmamakta ancak süt verimi ineklere göre daha düşüktür. Buna rağmen Türkiye süt üretiminin 2019 yılı itibariyle %9.14’ünün koyun ve keçi sütünden karşılandığı görülmektedir (TÜİK, 2022).

Türkiye’de tüketilen süt ürünlerinden olan peynir çeşitlerinin tüketimdeki sırasının beyaz peynir, salamura peynir, kaşar ve tulum peynirleri oluşturmaktadır (Tarakçı ve ark., 2015).

Türkiye’de çoğu peynir türlerinin yapımı hala küçük ölçekli tesislerde yapılmaktadır (Tekinşen ve Akar, 2017). Önceden yöresel olarak ve küçük ölçekli işletmelerde üretilen tulum peyniri, günümüzde tüm kesimlerde yer alan tüketicilerin beğenisini kazanmaya başlamıştır. Daha fazla üretilmeye başlayan tulum peyniri fiyatı, tereyağı fiyatına yakın değerlerde satılabilmektedir ve ihracatı yapılan peynirler arasında yer almaya başlamıştır (Dağdemir, 2000). Tulum peyniri, genellikle kıl keçisi tulumlarının tercih edildiği hayvan postu içinde yapılan, Türkiye’nin çeşitli yörelerine özgü peynirlere verilen addır. Erzincan tulum peyniri veya Şavak peyniri olarak da bilinen Erzincan’ın yöresel tulum peyniri, Konya, Bingöl, Erzincan, Elazığ, Tunceli ve Erzurum illerinde de üretilmektedir (Tarakçı ve ark., 2005). Erzincan ilinin önemli üretimlerinden biri olan Erzincan tulum peynirinin yaygın etkisi, Türkiye’nin bütün bölgelerine ve hatta birçok Avrupa Ülkelerine kadar yayılmış olması ve coğrafi işareti olan bir peynir türü olmasından kaynaklanmaktadır.

Erzincan tulum peynirinin; yüksek rakımlı yaylalarda beslenen hayvanlardan elde edilen süt tipi, pıhtılaştırma metotları, sütün ısıtma işlemine tabi tutulup tutulmaması, yağ oranı, peynirin tekstürü, tuz oranı, katkı maddeleri, olgunlaştırma periyotları ve kullanılan toptancı/perakendeci ambalaj materyalleri gibi özelliklerinden dolayı tüketiciler tarafından tercih edilmesinde önemli özellikler olarak kabul edilmektedir (Topçu, 2016).

Erzincan ilinde yıllık Erzincan Tulum Peyniri üretim miktarı 8 bin ton civarındadır. Gerek yetiştirici gerekse ticari faaliyet bakımından Erzincan tulum peyniri üretimi kapsamında toplam istihdam edilen kişi sayısı, yaklaşık olarak 6000-7000 kişidir (Anonim, 2022).

Süt ve süt ürünleri tüketicileri, ürün coğrafi işaretle tescil edilmiş ise o ürünün üretildiği yer, üretim ve işleme şekli, sahip olduğu tat, içerik, taze ve doğal olması gibi bilgilere rahatlıkla ulaşabilmektedirler. Bu da tüketicinin elde ettiği gelir karşılığında tüketimden elde edeceği faydayı maksimum yapmasına yardımcı olmaktadır. Buna karşılık, tüketicilerin peynir tercihi ve satın alma kararları açısından bölge orijini ve coğrafi işaret tescilleri gelişmiş ülkelerde büyük önem arz ederken, Türkiye’de önemli bir etkisi bulunmamaktadır. Bu konunun önemi, yapılan çalışmalarla da ortaya konulmuştur (Monier et al., 2009; Michaelidou et al., 2010; Vecchio and Annunziato, 2011; Denver and Jensen, 2014; Topcu, 2015; Uzundumlu and Topcu, 2016).

Araştırmada, bölge orijini veya coğrafi işaret tescili etkisinin daha iyi anlaşılması ve bu konuda literatürdeki eksikliklerin giderilebilmesi için Erzincan il merkezinde bulunan tüketicilerin tulum

peyniri tüketim tercihlerini tespit etmek amaçlanmıştır. Tüketicilerin tulum peyniri satın alma tercihleri, tulum peyniri tüketim sıklık ve miktarları belirlenmeye çalışılmıştır. Araştırma sayesinde, tulum peynirinin tanınırlık durumu ölçülmüştür ve tulum peyniri satın alma kararlarını etkileyen faktörler; köyde yaşayan tanıdıkların olması, ailenin ortalama geliri, ailenin ortalama aylık harcaması, beyaz peynir tüketim sıklığı, kaşar peynir tüketim sıklığı, beyaz peynir tüketim miktarı, kaşar peynir tüketim miktarı, tulum peynirinin fiyatı, tulum peynirinin salamura olması, tulum peynirinin coğrafi işaretli ürün olması ve tulum peyniri satış noktası olarak tespit edilmiştir.

MATERYAL VE METOT

Materyal

Araştırmanın birincil verilerini, Erzincan il merkezinde tüketicilerle 2021 yılında yüz yüze yürütülen anketler oluşturmaktadır. Konu ile ilgili olarak yapılan yerli ve yabancı kaynaklı bilimsel çalışmalar ise ikincil verileri oluşturmaktadır.

Yöntem

2021 yılında Erzincan ilinde, hanelerle bire bir görüşme yapılarak ve tüketicilere düzenlenen anket kapsamındaki sorular sorularak tüketicilerin tulum peyniri tüketim tercihinde etkili olan faktörler belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun için örnek büyüklüğü, oransal örnekleme yöntemi ile hesap edilmiştir, Eşitlik 1 (Newbold, 1995; Miran, 2007; Günden ve ark., 2008; Aksoy ve Arsalan, 2019).

$$n = \frac{Np(1-p)}{(N-1)\sigma_{p_x}^2 + p(1-p)} \quad (1)$$

Burada,

n : Örnek büyüklüğünü,

N : Erzincan ili hane sayısı,

p : Tulum peyniri tüketicilerinin oranı (maksimum örnek büyüklüğüne ulaşmak için 0.50 alınmıştır),

$\sigma_{p_x}^2$: Varyansı tanımlamaktadır (0.00092).

Erzincan ilinde, Türkiye İstatistik Kurumundan temin edilen bilgiye göre kayıtlı toplam 73 738 hane bulunmaktadır. Buna göre; %90 güven aralığında ve %5 hata ile örnek büyüklüğü, Eşitlik (1)'den 271 olarak hesap edilmiştir.

Araştırma bulguları, yüzde hesapları kullanılarak ve verilerin aritmetik ortalaması alınarak tartışılmıştır. Ankete katılan tüketiciler ve tüketim ile ilgili olan özellikler temel istatistiksel yöntemler (frekans dağılımı ve ortalama) ile ölçülmüştür. Tüketicilerce tulum peyniri satın alımı üzerindeki etkili faktörler ve tulum peyniri satın alınırken mevcut etiket bilgilerinin önemi 5'li Likert Ölçeği kullanılarak belirlenmiştir.

Araştırma sonuçları çok değişkenli lineer regresyon analizi kullanılarak değerlendirilmiştir. Çok değişkenli lineer regresyon modelinde, bağımsız değişkenlerin bir fonksiyonu olan bağımlı değişken ilişkisi matematiksel model ile açıklanmıştır. İstatistiksel analizler SPSS 22.00 paket programı kullanılarak hesaplanmıştır. Çok değişkenli lineer regresyon analizinde kullanılan matematiksel model Eşitlik (2)'de sunulmuştur.

$$Y_i = \beta_0 + \beta X_i + e_i \quad (2)$$

Bu modelde;

i : gözlem değerini,

Y_i : bağımlı değişken değerini,

β_0 : sabit katsayıyı,

X_i : bağımsız değişkenleri,

β : bağımsız değişkenlere ait katsayıları,

e_i : artık değerleri simgelemektedir (Alpar, 2013). Çok değişkenli lineer regresyon analiz modeli ise Eşitlik (3)'te verilmiştir.

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{13} \beta_i \times X_i \quad (i = 1, 2, 3, \dots, 13) \quad (3)$$

Burada,

Y : Ailenin yıllık tükettiği tulum peyniri miktarını,

X_1 : Aile reisinin cinsiyetini,

X_2 : Köyde yaşayan tanıdıkların olup olmamasını,

X_3 : Ailenin ortalama aylık gelirini,

X_4 : Ailenin ortalama aylık harcamasını,

X_5 : Beyaz peynir tüketim sıklığını,

X_6 : Kaşar peynir tüketim sıklığını,

X_7 : Beyaz peynir tüketim miktarını,

X_8 : Kaşar peynir tüketim miktarını,

X_9 : Tulum peyniri fiyatını,

X_{10} : Tulum peynirinin salamura olmasını

X_{11} : Tulum peynirinin coğrafi işaretli ürün olmasını,

X_{12} : Tulum peyniri satış noktasını,

X_{13} : Erzincanlı olma durumunu temsil etmektedir.

Çok değişkenli lineer regresyon modelinde anlamlılık testi için kullanılan H_0 ve H_1 hipotezleri;

- H_0 : kuramsal model anlamsızdır (yani; tüm katsayılar sıfıra eşit)
- H_1 : kuramsal model anlamlıdır (yani; en az bir katsayı sıfırdan farklıdır)

olarak tasarlanmıştır. Modelin geçerli olabilmesi için H_0 hipotezinin reddedilmesi gerekmektedir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Araştırmanın Tanımlayıcı İstatistikleri

Erzincan ilinde 271 tüketici ile yapılan anketlere cevap verenlerin %67.20'si erkek, %32.80'i kadın olup yaş ortalamaları erkeklerde 37, kadınlarda 33 ve genel yaş ortalaması 35 olarak tespit edilmiştir.

Tarakçı ve arkadaşları (2015) tarafından Ordu ilinde yapılan çalışmada, tüketicilerin %55.00'nin erkek, %45.00'nin kadın olduğu ifade edilmiştir. Buna karşılık, Baran ve Topçu (2017) tarafından yürütülen çalışmada ise ankete katılan tüketicilerin (%48.00'nin erkek, %52.00'nin kadın olduğu bildirilmiştir. Akdemir ve Dağdemir (2021) tarafından Erzurum ilinde yapılan çalışmada, anket kapsamında yer alan erkeklerin ve kadınların yaş ortalamasının 39 olduğu rapor edilmiştir.

Tüketici ile yapılan anketlere cevap verenlerin evli/bekâr olması açısından, araştırmaya ait bir başka tanımlayıcı parametre; %68.63'ü evli, %31.37'si bekâr olarak belirlenmiştir.

Akbay ve arkadaşları (2016) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, ankete katılan tüketicilerin %76.10'unun evli, %23.29'unun bekâr olduğu ifade edilmiştir.

Katılımcıların eğitim durumları açısından yapılan değerlendirmeye göre; okur-yazar oranının %1.50 olduğu, %48.30'unun ortaöğretim, %50.20'sinin ise yükseköğretim mezunu oldukları tespit edilmiştir.

Şahin ve arkadaşları (2001) tarafından yapılan bir çalışmada, aile reislerinin %3.60'ının hiç eğitim almadığı, %24.00'nin ilkokul, %12.80'inin ortaokul, %38.30'unun lise ve %21.30'unun üniversite mezunu olduğu bildirilmiştir.

Tüketicilerin sosyal güvence durumları göz önüne alındığında, anketlere cevap verenlerin %5.50'sinin sosyal güvencesinin olmadığı, buna karşılık oldukça yüksek bir oranla, %94.50'sinin sosyal güvencesinin olduğu belirlenmiştir.

Ankete katılanların sahip olduğu sosyal şartlar açısından değerlendirildiğinde; anketlere cevap verenlerin %35.80'i kendi konutunda, %25.80'i ailesine ait bir konutta ve %38.40'ı ise kirada ikamet etmektedir. Başka bir deyişle, tüketicilerin %5.90'ı müstakil bir meskende ve %94.10'u ise bir apartman dairesinde ikamet ettiklerini belirtmişlerdir.

Tüketicilerin ortalama 30 yıl Erzincan'da ikamet ettikleri tespit edilmiştir. Tüketicilerin %82.70'i Erzincan ilinden başka bir yerde ikamet etmediklerini, %17.30'u ise Erzincan'dan başka yerlerde ikamet ettiklerini ifade etmişlerdir. Bu iller sırasıyla Erzurum, Gümüşhane ve Trabzon'dur.

Gıda alışverişini %60.90 ile aile reisinin yaptığı, %30.60 ile aile reisinin eşi, %5.90 ile ailenin erkek çocuğu ve %2.60 ile ailenin kız çocuğu tarafından yapıldığı ifade edilmiştir.

Ankete katılan tüketicilere ait tüm gelirler ve harcamalar ile ilgili olarak deskriptif analiz yapılmış olup araştırma bulguları Çizelge 1'de özetlenmiştir. Çizelge 1'e göre; Tüketicilerin aylık gelir ortalaması 9349 ₺, harcama ortalaması ise 4846 ₺ olarak belirlenmiştir. Harcamalar içerisinde, tüketicilerin ortalama aylık gıda harcaması 1831 ₺ ile ilk sırada yer almaktadır. Ortalama aylık gıda harcamasının kümülatif harcama içerisindeki payı %37.02 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 1. Gelirler ve Harcamalar ile İlgili Betimsel Bulgular

	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart
	₺/ay	₺/ay	₺/ay	Sapma
Gelirler	2800	30000	9349	5284
Harcamalar	1900	19150	4846	3637
Gıda Harcaması	600	4600	1831	811
Giyim Harcaması	400	5000	688	850
Sağlık Harcaması	500	1000	303	192
Barınma Harcaması	-	2000	921	526
Sigorta Harcaması	-	2000	317	536
Ulaşım Harcaması	400	2000	497	299
Eğlence Harcaması	-	2550	289	423

Kaynak: Orijinal Hesaplamalar

Baran ve Topçu (2018) tarafından yürütülen bir çalışmada, aylık gelir ortalaması 2648 ₺ ve aylık ortalama gıda harcaması 813 ₺ olarak rapor edilmiştir.

Çizelge 2. Tüketicilerin Ürün Bazlı Gıda Harcamaları Sırası

Ürün Grubu	Tüketim Sırası	Ürün Grubu	Tüketim Sırası
Ekmek ve Tahıllar	1	Kahve ve Çay	7
Et ve Et Ürünleri	2	Bal ve Arı Ürünleri	8
Süt, Peynir ve Yumurta	3	Reçel, Çikolata ve Şekerleme	9
Sebze ve Meyveler	4	Balık	10
Hayvansal ve Bitkisel Yağlar	5	Alkolsüz İçecekler	11
Şeker	6	-	-

Kaynak: Orijinal Hesaplamalar

Araştırmada ankete katılan tüketicilerin harcamalar kapsamında, gelirlerinin ilk sırasında, büyük bir kısmını işgal eden gıda harcamaları, yoğun şehir yaşamı sürdüren aktif bireyler için tercih edilebilir olma özelliğine göre dikkate alınmıştır. Buna göre; tüketilen ürünler, ekmek ve tahıllar, et ve et

ürünleri, süt, peynir ve yumurta, sebze ve meyveler, hayvansal ve bitkisel yağlar, kahve ve çay, bal ve arı ürünleri, reçel, çikolata ve şekerleme ile balık olmak üzere, 11 farklı çeşitlilik üzerinden değerlendirilmiştir ve tüketim sırasına uygun olarak Çizelge 2’de özetlenmiştir. Buna göre; tüketiciler tarafından ürün bazında yapılan harcamalar içerisinde, ekmek ve tahıllar grubu ilk sırada yer almaktadır. Bu ürün grubunu ikinci sırada et ve et ürünleri takip ederken, süt, peynir ve yumurta ürün grubu, tüketim sırasının üçüncü sırasında yer almaktadır (Çizelge 2).

Araştırma kapsamı, üçüncü sırada yer alan; “süt, peynir ve yumurta” tüketim ürün grubundan yalnızca peynir alt-grubu üzerine yoğunlaştırılmıştır. En genel tanımıyla kullanılan peynir, ana maddesi süt olan ve yapıldığı yerde veya çevrede, kendisine maya olarak edindiği bakteri ve/veya mantarlar sayesinde sayısız çeşitliliğe sahiptir. Başta edinim fiyatı olmak üzere, salamura yapılabilme özelliği, coğrafi işaretli ürün olması ve satış noktası gibi avantajları açısından, araştırmada peynir çeşitliliği, tulum peyniri ile sınırlandırılmıştır.

Erzincan İli araştırma alanında, sahip olunan avantajların geçerliliği için, tulum peynirinin en çok kullanılan diğer peynir çeşitlerine göre, tüketim amaçları/gerekliliği araştırılmıştır. Buna göre; oldukça büyük bir oranla, tüketicilerin %99.60’ı tulum peynirini kahvaltılık amacıyla tüketmektedirler. Buna karşılık beyaz peynir tüketenlerin %100.00’ı kahvaltılık; kaşar peynir tüketenlerin %81.90’ı kahvaltı, %17.00’ı tost ve %1.10’u omlet yapmak; civil peynir tüketenlerin %17.20’si kahvaltı ve %16.00’ı börek yapmak; hellim peyniri tüketenlerin %7.40’ı kahvaltı ve %2.20’si hamburger yapmak; çedar peynir tüketenlerin %4.40’ı kahvaltı ve %4.10’u hamburger yapmak amacıyla tüketildiği sonucuna varılmıştır.

Şahin ve Gül (1997) tarafından, Adana İlinde, peynir çeşitliliğinin tüketim tercihi açısından yapılan çalışmada; tüketiciler tarafından, birinci sırada aylık 3.6 kg ile beyaz peynir, ikinci sırada 0.8 kg ile tulum peyniri, üçüncü sırada ise 0.7 kg ile kaşar peynirinin tercih edildiği bildirilmiştir.

Araştırmanın tanımlayıcı unsurları kapsamında; tulum peynirinin, ankete katılan tüketiciler tarafından oldukça yüksek olan %99.60 oranında kahvaltılık amacıyla tüketim tercihi, nedenleri ile birlikte araştırılmıştır. Anket içeriğindeki tüketim tercihi nedenleri: fizyolojik, sosyokültürel ve psikolojik faktörlerden etkilenebildiği gerçeği ile birlikte, araştırma bulguları üzerinde tartışmanın daha özgün yapılabilmesi amacıyla tat, lezzet ve alışkanlık olarak sık karşılaşılan karakteristik parametreler ile sınırlı tutulmuştur. Tulum peynirinin tat, lezzet ve alışkanlık açısından tüketim nedenlerinin istatistiki sonuçları Çizelge 3’te özetlenmiştir.

Çizelge 3. Tulum Peyniri Tercih Nedenleri

	<i>n</i> (Örnek büyüklüğü)	% (İstatistiki sonuçlar)
Tüketenler	270	99.60
Tat	132	48.70
Lezzet	127	46.90
Alışkanlık	11	4.00
Tüketmeyenler	1	0.40
Toplam	271	100.00

Kaynak: Orijinal Hesaplamalar

Çizelge 3’te, tüketiciler tarafından tulum peynirinin tercih nedenlerinin başında %48.70 oran ile tat ve %46.90 oranıyla da tattan alınan haz olarak bilinen lezzet gelmektedir. Birbiri ile bağlantılı bu iki farklı: tat ve tadın damakta kaldığı süre olarak bilinen lezzet kavramlarının tüketicilerce birbirlerine yakın oranlarda tüketim tercihi olması, yoğunlaşılan araştırma konusuna göre tulum peynirinin, göz önüne alınan diğer tüm özellikleri ile birlikte, tüketim nedenlerini desteklemiştir.

Baran ve Topçu (2017) tarafından civil peynirinin tüketim tercihlerine dayalı pazarlama, taktik ve stratejileri üzerine odaklanılan bir çalışmada, duyu kalite kapsamında ele alınan; %89.40 oranında özgün aroma parametresine sahip civil peynirinin, %91.20 oranıyla ayırt edilmeyen özgün tat ve lezzet parametrelerine ait olduğu rapor edilmiştir.

Anket çalışması kapsamında; diğer peynir çeşitliliği için de tüketim tercihleri araştırılmıştır ve istatistiki sonuçlar Çizelge 4'te özetlenmiştir. Tulum peyniri tüketim tercihleri için tat, lezzet ve alışkanlık açısından sınırlı tutulan karakteristik parametreler konusunda, diğer peynir çeşitliliğinde – özellikle civil peyniri– alınan farklı cevaplardan dolayı, esnek davranılmıştır.

Çizelge 4. Diğer Peynirlerin Tercih Nedenleri

	Beyaz Peynir		Kaşar Peynir		Civil Peynir		Hellim Peyniri		Çedar Peyniri	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Tüketenler	271	100.00	271	100.00	90	33.20	26	9.60	23	8.50
Tat	131	48.30	121	44.60	50	20.30	26	9.60	23	8.50
Lezzet	131	48.30	133	49.10	18	6.60	0	0.00	0	0.00
Alışkanlık	9	3.40	17	6.30	6	2.20	0	0.00	0	0.00
Çocukların isteği	0	0.00	0	0.00	7	2.60	0	0.00	0	0.00
Börek	0	0.00	0	0.00	4	1.50	0	0.00	0	0.00
Tüketmeyenler	0	0.00	0	0.00	181	66.80	245	90.40	248	91.50
Toplam	271	100.00	271	100.00	271	100.00	271	100.00	271	100.00

Kaynak: Orijinal Hesaplamalar

Tüketicilerin tamamı beyaz peynir ve kaşar peyniri tükettiklerini ve bunun en önemli sebebinin beyaz peynir tüketiminde tat ve lezzet (%48.30), kaşar peynir tüketiminde ise lezzet (%49.10) olarak ifade etmişlerdir. Tüketicilerin %33.20'si civil peynir, %9.60'ı hellim peyniri ve %8.50'si çedar peyniri tükettiklerini belirtmişlerdir. Civil peynir, hellim peyniri ve çedar peyniri tüketme nedeni olarak sırasıyla %20.30, %9.60, %8.50 oranında tadından dolayı olduğunu belirtmişlerdir (Çizelge 4).

Tarakçı ve arkadaşları (2015) “Ordu İlinde Tüketicilerin Peynir Tüketim Alışkanlıkları” isimli çalışmalarında tüketicilerin %88.30'unun beyaz peynir, %86.70'inin kaşar peyniri, %60.80'inin tulum peyniri, %57.50'sinin lor peyniri ve %50.00'inin krem peynir tükettiklerini belirlemişlerdir.

Erzincan İli araştırma sahasında yürütülmüş olan bu çalışma kapsamında, tüketim tercihi nedenleri açısından yoğunlaşılan tulum peyniri öncelikli olmak üzere, diğer peynir çeşitliliği de – tüketim önceliği esas alındığında, tulum peynirinin ve/veya diğer peynir çeşitliliğinin fonksiyonel gıda olup olmadığının daha sağlıklı tartışılabilmesi için– göz önüne alınarak, peynir tüketim sıklığı ve miktarı, araştırmanın tanımlayıcı unsurları arasında tespit edilmiştir ve istatistiki sonuçlar Çizelge 5'te özetlenmiştir.

Çizelge 5'de; tulum peyniri ve diğer peynir çeşitliliği için tüketim sıklığı açısından yapılan değerlendirmede; tulum peyniri tüketenlerin (%99.60) yarısından fazlasının haftada bir gün (%61.90), beyaz peynir tüketenlerin (%100.00) hemen hemen hepsinin hergün (%95.90), kaşar peyniri tüketenlerin (%100.00) yarısından fazlasının haftada bir gün (%79.30), civil peynir (%33.60), hellim peyniri (%9.60) ve çedar peyniri (%8.50) tüketenlerin çoğunluğunun ayda bir gün (sırasıyla; %63.70, %50.00 ve %60.90) tükettikleri tespit edilmiştir. Tulum peyniri ve diğer peynir çeşitliliği için tüketim miktarı açısından yapılan değerlendirmede ise yıllık tüketim miktarı 5 kg ve daha az olmak üzere, tulum peyniri tüketenlerin oranı %79.60, beyaz peynir tüketenlerin oranı %87.50, kaşar peyniri, civil peynir, hellim peyniri ve çedar peyniri tüketenlerin oranı ise sırasıyla %93.00, %98.90, %100.00 ve %100.00 olarak hesap edilmiştir.

Ankete katılan tüketiciler tulum peynirinin piyasa fiyatının 15-70 ₺/kg arasında, ortalama fiyatın 31.96 ₺/kg olmasını beklemektedirler.

Çizelge 5. Peynir Tüketim Sıklığı ve Miktarı

	Tulum Peyniri		Beyaz Peynir		Kaşar Peynir		Civil Peynir		Hellim Peyniri		Çedar Peyniri		
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	
Tüketen Aile Sayısı	270	99.60	271	100.00	271	100.00	91	33.60	26	9.60	23	8.50	
Tüketim Sıklığı	Her Gün	69	25.50	260	95.90	30	11.10	1	11.10	0	0.00	0	0.00
	Haftada Bir Gün	167	61.90	11	4.10	215	79.30	29	31.90	3	11.50	3	13.00
	Ayda Bir Gün	31	11.49	0	0.00	23	8.50	58	63.70	13	50.00	14	60.90
	Yılda Bir Gün	3	1.11	0	0.00	3	1.10	3	3.30	10	38.50	6	26.10
	Toplam	270	100.00	271	100.00	271	100.00	91	33.60	26	11.60	23	100.00
Yıllık Tüketim Miktarı	≤5	215	79.60	237	87.50	252	93.00	90	98.90	26	100.00	23	100.00
	6-10	37	13.70	30	11.10	19	7.00	1	1.10	0	0.00	0	0.00
	≥11	18	6.70	4	1.50	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
	Toplam	270	100.00	271	100.00	271	100.00	91	100.00	26	100.00	23	100.00

Kaynak: Orijinal Hesaplamalar

Tüketicilerin %59.00'ı tulum peyniri fiyatını pahalı bulurken, %38.40'ı çok pahalı, %2.60'ı normal bulduğunu ifade etmişlerdir.

Çebi ve arkadaşları (2018) "Süt ve Süt Ürünleri Tüketiminde Tüketici Tercihlerini Etkileyen Faktörler: Erzincan İli Örneği" isimli çalışmalarında Erzincan tulum peyniri fiyatının peyz peynire oranla çok fazla olduğunu ortaya koymuşlardır.

Tulum peynirinin piyasa fiyatının diğer peynirlerden ortalama olarak 5.52 ₺/kg fazla olursa aylık tüketimlerinin ortalama 1.17 kg artırabileceklerini ifade etmişlerdir.

Doğru ve dengeli tüketim anlayışına ve bilinçli tüketici sayısının her geçen gün giderek arttığı gerçeğine bağlı olarak, tüketicilerin tulum peyniri satın alımı konusundaki bilgi düzeyi ve tutumlarının ne olduğunun ortaya konulması, konunun önemini sergilemektedir. Ayrıca tüketicilerin tulum peyniri satın alırken etkilendiği unsurları belirlemek de üreticiler/firmalar açısından önemlidir. Araştırma kapsamının tanımlayıcı unsurları açısından, tüketicilerin tulum peyniri satın alınan noktaları, anket çalışmasında esnek cevaplara göre değerlendirilmiştir ve elde edilen verilerin istatistikî sonuçları Çizelge 6'da özetlenmiştir.

Çizelge 6. Tüketicilerin Tulum Peyniri Satın Aldıkları Yerler

	Tulum Peyniri	
	n	%
Kooperatifler	8	3.00
Süpermarket	67	24.80
Market	48	17.80
Satış Merkezleri	23	8.50
Köyler	77	28.50
Tanıdık Üreticiler	47	17.40
Toplam	270	100.00

Kaynak: Orijinal Hesaplamalar

Çizelge 6'da; anket yapılan tüketicilerin tulum peynirini satın alırken %28.50 oran ile öncelikli olarak köylerden almayı tercih ettikleri, tulum peynirinin marka ve fiyat uygunluğu nedeniyle %24.80 oranı ile ikincil olarak süpermarketlerden aldığı tespit edilmiştir. Elde edilen veriler, tüketicilerin tulum peyniri satın alırken etkilendiği unsurların en önemli belirleyicilerinden birinin 'Doğal' olduğu gerçeğini güçlendirmiştir. Araştırmanın içeriği; tüketicilerin tulum peyniri satın alımı konusundaki bilgi düzeyi ve tutumları yanı sıra, satın alırken etkilendiği unsurlar da göz önüne alınarak, konunun tanımlayıcı unsurları açısından detaylandırılmıştır. Tüketicilerin tulum peyniri satın alırken etkilendiği unsurlar: fiyat, kalite, koku, tat, görünüş/reng, katkı maddesi içeriği, çeşit, marka, doğal/ekolojik oluş, sağlıklı oluş, promosyon/indirim, ambalaj, üretilen yer, son kullanma tarihi, reklam, ürünle ilgili

deneyim/tecrübe, salamura oluş, coğrafi işaretli oluş, satış noktası gibi parametrelere bağlı olarak, derecelendirilen önem katsayılarına göre değerlendirilmiştir ve elde edilen istatistiki sonuçlar Çizelge 7’de verilmiştir. Çizelge 7’de önem durumlarının ortalaması ayrıca hesap edilmiştir.

Çizelge 7. Tulum Peyniri Satın Alımında Etkili Faktörler

	Önem Durumu (%)					Ort.
	1	2	3	4	5	
Fiyat	0.00	1.50	0.00	8.90	89.70	4.86
Kalite	0.00	0.00	0.00	10.70	89.30	4.89
Kalite fiyat düzeyi	0.00	0.00	0.00	15.50	84.50	4.84
Kokusu	0.00	0.00	1.10	17.00	81.90	4.81
Tadı	0.00	0.00	0.00	17.30	82.70	4.83
Görünüş/rengi	1.10	2.60	9.20	25.50	61.60	4.44
Katkı maddesi içermesi	10.30	7.40	35.80	19.20	27.30	3.46
Çeşidi	15.50	20.70	35.10	12.20	16.60	2.94
Üretilen firma adı/markası	27.30	18.10	29.20	8.90	16.60	2.69
Doğal/ekolojik olması	0.00	0.00	2.60	29.20	70.80	4.71
Sağlık açısından güvenilirlik	0.00	0.00	19.60	18.10	79.30	4.77
Promosyon/fiyat indirimini kapsamı	21.00	25.50	17.70	12.90	21.00	2.87
Ambalaj durumu	18.80	18.50	21.40	30.30	14.80	3.04
Tulum peynirinin üretildiği yer	9.20	16.20	2.20	15.10	38.00	3.56
Son kullanma tarihi	1.10	1.50	17.00	4.40	90.80	4.82
Reklamın etkisi	37.30	36.20	16.60	4.40	5.20	2.04
Ürünle ilgili tecrübeler	33.60	17.30	16.20	20.30	12.20	2.60
Salamura olması	35.80	28.80	21.00	1.80	17.30	2.36
Coğrafi işaretli olması	33.90	36.90	11.10	5.20	3.00	2.06
Satış noktası	14.40	6.60	11.10	36.50	31.40	3.64

Kaynak: Orijinal Hesaplamalar 1: Hiç Önemli Değil, 2: Önemsiz, 3: Fikrim Yok, 4: Önemli, 5: Çok Önemli

Tüketicinin tulum peyniri satın alım kararında etkin olabilen faktörler; kalitesi, fiyatı, kalite-fiyat düzeyi, tadı, son kullanma tarihi ve kokusu olarak belirlenmiştir. Tulum peyniri satın alımında en az etkili olan faktör ise reklam olarak tespit edilmiştir (Çizelge 7).

Tüketicilerin tulum peyniri temininde, beklenti doğrultusunda, 4.89 ortalama önem derecesine sahip olarak etkilendiği faktörlerden birisi olan tulum peyniri kalitesinin, tüketiciler tarafından anlaşılma yöntemi, –bir başka ifadeyle, tüketicilerin tulum peyniri satın alımı konusundaki bilgi düzeyi– ayrıca değerlendirmeye alınarak, araştırma kapsamı bu anlamda genişletilmiştir. Gerçekleştirilen anket sonuçları doğrultusunda, tüketiciler tarafından tulum peynirinin kaliteli olup olmadığının anlaşılma yöntemi, alınan esnek cevaplara göre değerlendirilmiştir. Buna göre; tüketiciler tarafından yalnızca %24.40’ının tulum peynirinin kaliteli olup olmadığını doğrudan anladığı, buna karşılık, tüketicilerin geri kalan %75.60’ının ise herhangi bir yöntem ile anlamadığı sonucuna varılmıştır. Anket sonuçları kalite bilinci/yönteminde; kaliteli olduğunu doğrudan anladıklarını belirten %24.40 oranındaki tüketicilerin %8.90’ının kokusundan, %10.00’ının hem rengi ve hem de kokusundan, %1.10’unun görüntü ve kokusundan ve %1.50’sinin de tadından anladığını göstermiştir.

Araştırmanın içeriği; tüketicilerin tulum peyniri satın alımı konusundaki bilgi düzeyi ve tutumları yanı sıra, satın alırken etkilendiği unsurlar da göz önüne alınarak, konunun tanımlayıcı unsurları açısından detaylandırılmıştır. Tulum peyniri satın alınırken etiket üzerinde yazan bilgilerin tüketiciler açısından önemli olup olmadığını ortaya koymak için etikette yazan bilgilerin önem derecesi de değerlendirilmiştir ve elde edilen istatistiki sonuçlar Çizelge 8’de verilmiştir.

Çizelge 8’den, ankete katılan tüketicilerin ürünün etiketi üzerinde yazan bilgilere dikkat etmedikleri sonucu elde edilmiştir. Özgül ve Aksulu (2009) yaptıkları çalışmada, ambalajlı gıda ürünlerinde tüketicilerin etiket hassasiyetlerindeki değişimler incelenmiştir; buna göre tüketicilerin, etikette yazan bilgilerin güvenilirliğine inanmadıkları için etiket bilgisine bakmadıkları bildirilmiştir.

Çizelge 8. Etiketle Yazılan Bilgilerin Önem Derecesi

	Önem Durumu (%)					Ort.
	1	2	3	4	5	
İçindekiler Listesi	43.20	4.10	12.50	14.80	25.50	2.75
Kalori İçeriği	48.00	5.20	14.80	15.90	16.20	2.47
Kolesterol İçeriği	46.10	3.00	12.20	20.70	18.10	2.62
Vitamin-Mineral İçeriği	46.50	1.80	10.00	22.90	18.80	2.66
Saklama Talimatı	45.80	1.50	0.00	22.10	30.60	2.90
Sağlığa Faydaları ile İlgili Bilgi	39.90	3.00	5.90	19.90	31.40	3.00
Üretim Bölgesi/Orijini	49.80	4.10	4.80	24.70	16.60	2.54
Katkı Maddeleri	47.20	1.10	5.20	23.20	23.10	3.29
Üretim ve Son Kullanma Tarihi	39.90	0.00	0.00	12.20	48.00	3.28
Doğal/Ekolojik Olması	39.90	1.50	1.50	23.60	33.60	3.24
Ürünün Fiyatı	39.90	0.00	0.00	9.60	50.60	3.31
Gramajı	54.60	5.20	0.00	15.90	24.40	2.49

Kaynak: Orijinal Hesaplamalar 1: Hiç Önemli Değil, 2: Önemsiz, 3: Fikrim Yok, 4: Önemli, 5: Çok Önemli

Tüketiciler, tulum peyniri ile ilgili en fazla bilgiyi (%98.50) çevredeki kişilerden aldıkları duyumlardan edindiklerini, bu nedenle çevredeki kişilerin doğru bilgi birikimi, tüketicileri pozitif yönde tüketime sevk edebilirken, bunun tam tersi bir durumda gerçekleşebilmektedir.

Regresyon analizi sonuçları

Erzincan İlindeki tüketicilerin tulum peyniri tüketim tercihleri üzerine bilimsel çıkarımlar yapabilmek için, araştırmanın temel çıkış noktası kapsamında, araştırma hipotezlerinin test edilmesi gerekliliği ile araştırmaya ait en baskın tanımlayıcı istatistiksel sonuçlardan yola çıkarak, çok değişkenli lineer regresyon analizi yapılmış ve istatistiksel sonuçlar Çizelge 9'da özetlenmiştir.

Çizelge 9. Tüketicilerin Tulum Peyniri Tüketim Miktarında Etken Faktörler

Model	Standartlaştırılmamış katsayılar		Standartlaştırılmış Katsayılar	t	p
	β	St. Hata	β'		
Sabit	-0.129	0.213	-	-0.605	0.546
Aile reisinin eğitimi	0.038	0.029	0.047	1.336	0.183
Köyde yaşayan tanıdıkların olması ***	-0.195	0.053	-0.137	-3.706	0.000
Ailenin ortalama aylık geliri ***	0.0003	0.000	0.273	5.118	0.000
Ailenin ortalama aylık harcaması ***	-0.0001	0.000	-0.438	-7.825	0.000
Beyaz peynir tüketim sıklığı ***	0.358	0.090	0.122	3.959	0.000
Kaşar peynir tüketim sıklığı ***	0.173	0.048	0.147	3.577	0.000
Beyaz peynir tüketim miktarı ***	-0.185	0.062	-0.123	-2.997	0.003
Kaşar peynir tüketim miktarı **	0.214	0.099	0.094	2.173	0.031
Tulum peyniri fiyatı ***	0.015	0.002	0.284	8.048	0.000
Tulum peynirinin salamura olması ***	0.228	0.014	0.560	15.910	0.000
Tulum peynirinin coğrafi işaretli ürün olması ***	-0.131	0.018	-0.229	-7.107	0.000
Tulum peyniri satış noktası ***	0.078	0.014	0.184	5.650	0.000
Erzincanlı olma durumu	0.012	0.066	0.008	0.183	0.855

$R^2 = 0.775$

$F = 72.339$ $p = 0.000$

Not: *, %10, **, %5 ve ***, %1 seviyesinde anlamlıdır.

Kaynak: Orijinal Hesaplamalar

Çizelge 9'da, regresyon analizinde kullanılan bağımsız değişken modelleri, gayet kapsamlı olacak şekilde, 13 ana maddede toplanmıştır. Çok değişkenli lineer reregresyon analizi sonuçları istatistiksel olarak anlamlıdır ($F = 72.339$, $p < 0.01$). Düzeltilmiş R^2 değeri 0.775'dir. Bu sonuç, bağımlı değişkende (tulum peyniri tüketim miktarı) hesap edilen değişimin %77.50'sinin, modelde bulunan bağımsız değişkenler tarafından açıklandığını göstermektedir. Beta katsayıları incelendiğinde, köyde yaşayan tanıdıkların olması ($\beta' = -0.137$, $p < 0.01$), ailenin ortalama aylık harcaması ($\beta' = -$

0.438, $p < 0.01$), Beyaz peynir tüketim miktarı ($\beta' = -0.123$, $p < 0.01$) ve tulum peynirinin coğrafi işaretli ürün olması tulum peyniri tüketimini olumsuz yönde etkilediği, buna karşın ailenin ortalama aylık geliri ($\beta' = 0.273$, $p < 0.01$), Beyaz peynir tüketim sıklığı ($\beta' = 0.122$, $p < 0.01$), kaşar peynir tüketim sıklığı ($\beta' = 0.147$, $p < 0.01$), kaşar peynir tüketim miktarı ($\beta' = 0.094$, $p < 0.05$), tulum peynirinin fiyatı ($\beta' = 0.284$, $p < 0.01$), tulum peynirinin salamura olması ($\beta' = 0.560$, $p < 0.01$), ve tulum peynirinin satış noktası ($\beta' = 0.184$, $p < 0.01$) olumlu yönde etkilediği tespit edilmiştir. Aile reisinin eğitimi ($\beta' = 0.047$, $p = 0.183$) ve Erzincanlı olma durumu ($\beta' = 0.008$, $p = 0.855$) tulum peyniri tüketimi üzerinde bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

Çebi ve arkadaşları (2018) tarafından yapılan çalışmada, gelir durumunun, koyun sütünden yapılan peynir tüketimi üzerinde istatistiki olarak önemli bir etkisi olmamasına rağmen, daha çok düşük gelirli aileler tarafından tercih edildiğini belirlemişlerdir. Ocak ve Önder (2014) yaptıkları çalışmada koyun sütü ürünlerinin en düşük ve en yüksek gelirli aileler tarafından tüketildiğini tespit etmişlerdir.

SONUÇ

Erzincan il merkezindeki tüketicilerin tulum peyniri tüketim tercihlerinin tespit edilmesi amacı ile rastgele seçilen 271 kişi ile yüz-yüze yapılan görüşmelerden, aşağıdaki gibi sonuçlar elde edilmiştir:

Tüketiciler ile esnek yapılan görüşmelerden, tüketicilerin %99.60'ının tulum peynirini, tulum peyniri tercih nedenleri için tat, lezzet ve alışkanlık ile sınırlı tutulan parametrelere göre tükettikleri belirlenmiştir.

Tüketiciler ortalama fiyatı 31,96 ₺ olan tulum peynirinin fiyatını pahalı bulmaktadırlar. Tulum peyniri fiyatının 5,52 ₺/kg artış olursa tüketimlerini aylık 1,17 kg artıracakları tespit edilmiştir.

Tüketicilerin tulum peyniri satın alma kararında; kalite, fiyat, kalite-fiyat düzeyi, tadı, son kullanma tarihi ve kokusunun etkili olduğu tespit edilmiştir. Gelişmiş ülkelerdeki tüketicilerin peynir tercihi ve satın alma kararları üzerinde bölge orijini ve coğrafi işaret tescilleri büyük bir önem arz ederken, yapılan çalışmada regresyon analizi sonuçlarına göre tüketicilerin tulum peyniri tüketim tercihleri üzerinde coğrafi işaretli ürün olması olumsuz yönde etki ettiği belirlenmiştir. Bu çalışma ile coğrafi işaretli Erzincan tulum peyniri tüketici tercihi üzerinde etkili olan faktörler incelenerek satın alma kararları konusunda ekonomik literatüre önemli bir katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

Tüketicilerin tulum peyniri satın alırken, köylerden almayı tercih etmelerinin nedeni, salamura tulum peyniri tercih etmelerinden kaynaklanmaktadır. Köylerden sonra süpermarketlerden satın alımlar ikinci sırada yer almaktadır. Küçük ölçekli işletmeler tarafından üretilen tulum peyniri, işletmelerin markalaşmaya gitmesi ve reklam faaliyetleriyle pazar paylarını artıracakları düşünülmektedir.

Tulum peyniri tüketim miktarı artışına katkının; ürün hakkında bilgilendirici çalışmaların yapılması ve sağlık açısından faydalarının anlatılması ile sağlanabileceği önerilmektedir.

Çıkar Çatışması

Yazar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmiştir.

KAYNAKLAR

- Akbay C., Tümer E İ., Ünal S A. ve Koşum T. (2016). Kahramanmaraş İli Kent Merkezinde Keçi Peyniri Tüketimini Etkileyen Faktörlerin Analizi. Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi, sayı: 13, 125-132.
- Akdemir D. G. ve Dağdemir V. (2021). Erzurum İlindeki Tüketicilerin Bal Tüketim Tercihlerinin İncelenmesi. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 11(4), 3172-3183.

- Aksoy, A. ve Arsalan, A.A. (2019). Determining the Socio-Economic Importance of Saffron as an Alternative Product to Opium Production in Afghanistan. *Empirical Economic Review* 2(2): 1-16.
- Alpar R. (2013). *Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemler*. Ankara, 886 s, Detay Yayıncılık.
- Anonim. (2022). 21.09.2021 Erzincan İl Geneli Brifing 2021. <https://erzincan.tarimorman.gov.tr/> (Erişim Tarihi 08.02.2022).
- Baran D. ve Topçu Y. (2017). Coğrafi İşaretli Erzurum Civil Peynir Tüketim Tercihlerine Dayalı Pazarlama Taktik ve Stratejileri. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(3), 257-265.
- Baran D. ve Topçu, Y. (2018). Coğrafi İşaretli Erzurum Küflü Peynirinin Tüketici Tercihlerine Dayalı Pazarlama Taktik ve Stratejileri. *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi*, 21(2), 191-202.
- Çebi K., Özyürek S. ve Türkyılmaz D. (2018). Süt ve Süt Ürünleri Tüketiminde Tüketici Tercihlerini Etkileyen Faktörler: Erzincan İli Örneği. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 28(1), 70-77.
- Dağdemir V. (2000). Erzincan İlinde Tulum Peynirinin İmalat Maliyeti ve Pazarlama Marjı Üzerine Bir Araştırma. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 24(1), 57-61.
- Denver, S. & Jensen, J.D. (2014). Consumer preferences for organically and locally produced apples. *Food Quality and Preference*, 31, 129-134.
- Günden, C. ve Miran, B. (2008). Bulanık analitik hiyerarşi süreci kullanılarak çiftçi kararlarının analizi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 45(3), 195-206.
- Michaelidou, N. & Hassan, L.M. (2010). Modelling the factors affecting rural consumers' purchase of organic and freerange produce: A case study of consumers' from the Island of Arran in Scotland, UK. *Food Policy*, 35 (2), 130-139.
- Miran, B. (2007). *Temel İstatistik*. İzmir, Ders Kitabı, ISBN:975-93088-00, Gama Kitabevi.
- Monier, S., Hassan, D., Nichele, V. & Simioni, M. (2009). Organic food consumption patterns. *Journal of Agricultural and Food Industrial Organization*, 7, 1-12.
- Newbold, P. (1995). *Statistics for Business and Economics*, New Jersey, Prentice-Hall International.
- Ocak, S. ve Önder, H. (2014). Süt ürünlerinde tüketici tercihini etkileyen faktörler ve gıda güvenliği bilinci. *Hayvansal Üretim*, 55(2), 9-15.
- Özgül, E. ve Aksulu, İ. (2006). Ambalajlı Gıda Ürünlerinde Tüketicilerin Etiket Duyarlılığındaki Değişimler. *Ege Academic Review*, 6(1), 1-9.
- Şahin K. ve Gül A. (1997). Adana İli Kentsel Alanda Ailelerin Süt ve Süt Mamülleri Alım ve Tüketim Davranışları. *Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 12(4), 59-68.
- Şahin K., Andiç S. ve Koç Ş. (2001). Van İli Kentsel Alanda Ailelerin Otlı Peynir ve Süt Ürünleri Alım ve Tüketim Davranışları. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 11(2), 67-73.
- Tarakçı Z., Bölük M. ve Karaağaç M. (2015). Ordu İlinde Tüketicilerin Peynir Tüketim Alışkanlıkları. *Ordu Üniversitesi Bil. Tek. Derg.*, 5(2), 55-62.
- Tarakçı Z., Ekici K., Sağdıç O. ve Kçüçüköner E. (2005). The Effect of Black Cumin on Ripening of Tulum Cheese. *Archiv Für Lebensmittelhygiene*, 56, 135-139.
- Tekinşen, K. K. ve Akar, D. (2017). Erzincan tulum peyniri. *Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi*, 12(2), 218-226.
- Topçu Y. (2015). Turkish Consumer Decisions Affecting Ice Cream Consumption. *Italian Journal of Food Science*, 27(2):1-11
- Topçu Y. (2016). Tüketicilerin Erzincan Tulum Peyniri Tüketim Motivasyonu. *Erzincan Üniversitesi Uluslararası Erzincan Sempozyumu*, Cilt: 2, 28 Eylül-1 Ekim 2016, 779-790.
- TÜİK (2022). TÜİK <http://www.tuik.gov.tr/> (Erişim Tarihi 10.01.2022).
- Uzundumlu A S. ve Topçu Y. (2016). Determining Turkish Consumers' Consumption Satisfaction with Civi Cheese. *British Food Journal*, 118(4): 896-914.
- Vecchio, R. & Annunziata, A. (2011). The roll of PDO/PGI labelling in Italian consumers' food choices. *Agricultural Economic Review*, 12 (2), 80-98.

Atf için: Yenikalaycı, A. ve Arslan, M. (2023). Yerfıstığında Tohuma Fungusit Muamelesi ile Mikroelement ve Pix Uygulamalarının Verim ve Verim Bileşenleri Üzerine Etkileri. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 1347-1355.

To Cite: Yenikalaycı, A. & Arslan, M. (2023). Effect of Seed Fungicide Treatment, Microelement Fertilizer and Mepiquat Chloride Applications on Yield and Yield Components of Peanut. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 1347-1355.

Yerfıstığında Tohuma Fungusit Muamelesi ile Mikroelement ve Pix Uygulamalarının Verim ve Verim Bileşenleri Üzerine Etkileri

Ahmet YENİKALAYCI^{1*}, Mehmet ARSLAN²

Öne Çıkanlar:

- Yerfıstığında Pix uygulaması
- Yerfıstığında yaprak gübresi uygulaması
- Yerfıstığında Tohuma fungusit uygulaması

Anahtar Kelimeler:

- Mepiquat chloride
- Meyve verimi
- Tohum ilaçlaması
- Yaprak gübresi
- Yerfıstığı

ÖZET:

Yerfıstığında çiçeklenme öncesi ve çiçeklenme sonrası dönemlerde sıvı mikroelement ve Mepiquat Chloride uygulaması ile toprak zararlıları, toprak kökenli patojenik funguslara karşı tohum ilaçlaması yapılarak verimi artırmak amaçlanmıştır. Doğu Akdeniz Bölgesi'nde iki yıl süre ile yürütülen bu çalışmada ekim öncesi toprak zararlıları ve toprak kökenli patojen funguslara karşı tohum ilaçlaması, farklı gelişme dönemlerinde yapraktan mikro element ve bitki büyüme düzenleyicisi Pix (mepiquat chloride) uygulanmıştır. Ekim öncesi Vitavax (200 g/L Carboxin + 200 g/L Thiram) 400 g/L 100 tohum, Gaucho (600 g/L Imidacloprid) 800 g/L 100 kg tohum, Fertilon Combi (Fe, Zn, B, Mn, Cu, Mn ve Mo) 1000 g /ha and 150 cc /ha Pix dozlarından oluşan kombinasyon denenmiştir. Fungusit ve insektisit tohum ilaçlaması ekimden önce yapılmıştır. Mikroelement ve Pix kombinasyonları çiçeklenme başlangıcı, çiçeklenme sonrası ve çiçeklenme başlangıcı + çiçeklenme sonrası uygulanmıştır. Tohum iç oranı, 100 tohum ağırlığı ve meyve verimi bakımından en iyi sonuçlar Pix + Fertilon Combinin çiçeklenme sonrası yapraklara püskürtülerek yapılan uygulamadan elde edilmiştir. Bunu Goucho + Vitavax tohum ilaçlaması ve çiçeklenme sonrası yapraklara Pix püskürtülmesi uygulaması izlemiştir. Bu çalışmada ekim öncesi Goucho + Vitavax tohum ilaçlaması ve çiçeklenme öncesi, çiçeklenme sonrası ve çiçeklenme öncesi + çiçeklenme sonrası dönemlerde Pix, Fertilon Combi ve Pix + Fertilon Combi uygulamalarının genelde verim artışına katkı sağladığı görülmüştür.

Effect of Seed Fungicide Treatment, Microelement Fertilizer and Mepiquat Chloride Applications on Yield and Yield Components of Peanut

Highlights:

- Mepiquat chloride application in Peanut
- Foliar fertilizer application in Peanut
- Fungicide application to peanut seed

Keywords:

- Foliar fertilization
- Mepiquat chloride
- Peanut
- Pod yield
- Seed treatment

ABSTRACT:

Seed treatment against soil pests and soil-borne pathogenic fungi, foliar application of microelement and mepiquat chloride at flowering and after flowering periods promise to increase peanut (*Arachis hypogaea* L.) yield. A two-year field study was conducted to test this hypothesis by seed fungicide and insecticide treatment, foliar micronutrient and mepiquat chloride (Pix) applications at different combinations and different growth stages of peanut in the eastern Mediterranean region. The treatments were different combinations of Vitavax (200 g/L Carboxin + 200 g/L Thiram) 400 g/L 100 kg seed, Gaucho (600 g/L Imidacloprid) 800 g/L 100 kg seed, Fertilon Combi (Fe, Zn, B, Mn, Cu, Mn and Mo) 1000 g /ha and Pix (150 cc /ha mepiquat chloride). Peanut seeds were treated with fungicide and insecticide before planting. Microelement fertilizer and Pix combinations were applied at the beginning of flowering, after flowering and at the beginning of flowering + after flowering. The best results for seed kernel ratio, 100 seed weight and pod yield were obtained from Pix + Fertilon Combin treatment after flowering. This treatment was followed by Goucho + Vitavax seed treatment before planting + Pix application after flowering. In this study, it was observed that Goucho + Vitavax seed treatment and Pix, Fertilon Combi and Pix + Fertilon Combi applications at flowering, after flowering and at flowering + after flowering applications generally contributed pod yield increases.

¹Ahmet YENİKALAYCI (Orcid ID: 0000-0002-4955-5723), Muş Alparslan University, Faculty of Applied Sciences, Department of Plant Production and Technologies Mus, Türkiye

²Mehmet ARSLAN (Orcid ID: 0000-0002-0530-157X), Erciyes University, Faculty of Agriculture, Department of Biotechnology Kayseri, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Ahmet YENİKALAYCI, e-mail: a.yenikalayci@alparslan.edu.tr

INTRODUCTION

Peanut (*Arachis hypogaea* L.) is a member of the Leguminosae family and subfamily Papilinoideae. Peanut is an annual oil seed crop that originated from South America, Mexico and Central America and is now cultivated throughout the tropical and warm temperate regions of the world (Yayock et al., 1998; Sharma and Mathur, 2006; Bertioli et al., 2011). World peanut production was approximately 47 million metric tons in 2020, with the largest production in the China, India, Nigeria, USA and Senegal (Anonymous, 2021). Peanut has rich source of oil (47%-53%) and protein (25%-36%) as well as minerals, antioxidants and vitamins (Jordan et al., 2017). Peanut is widely used to produce peanut butter, nut-based snacks and protein-rich foods in the food industry.

The microelements that the peanut needs in trace amounts play an important role in the metabolic processes. Peanut is highly sensitive to boron (B), zinc (Zn) and iron (Fe) copper (Cu), manganese (Mn), molybdenum (Mo) deficiencies (Murata, 2003; Zuo and Zhang, 2011). Although plants require small amount of microelements but they play crucial roles in growth and development. Soil is the main source of both macro and microelements that peanut require its growth and development. Some of the macro and microelements may not be available in proper amount in the soil due to numerous factors such as leaching and degradation, decomposition and insolubility. Therefore, essential plant nutrients must be supplied for adequate growth and development. Compared with macro elements, foliar application of microelements performs best on growth, development and yield of many crops. Foliar nutrient applications are more beneficial when the soil conditions decrease mobility and nutrient absorption. Foliar application of micronutrients is easily practiced to correct nutrient deficiencies. Foliar nutrient applications promote root absorption of plant nutrients by improving root growth (Meena et al., 2007). Foliar application of N, Mn, Cu, and B on peanut indicated beneficial effects on pod yield and quality (Hardy and Havelka, 1977).

Iron shortage in calcareous soils is one of the greatest challenges which farmers encounter while growing plants. The soils of Çukurova plain is quite rich in calcium bicarbonate and soluble calcium whose pH values are generally higher than 7. Therefore, iron fertilization for peanut has great importance for satisfactory yield. Since in calcareous soils, less than 10% of the iron is available to plants (Mortvedt, 1991). The foliar application of Fe fertilizer is effective to supply iron for peanut. Most of the foliar iron fertilizers are spread as chelated-Fe fertilizer, inorganic-Fe fertilizer, and organic-Fe fertilizer (Laurie et al., 1991). Iron is required for chlorophyll synthesis, energy transfer, nitrogen fixation and reduction, and in many metabolisms such as respiration and photosynthesis processes (O'Hara et al., 1988; Panhwar, 2005). Therefore, iron deficiency in peanut reduces the pod number per plant and pod yield seed yield to decrease (O'Hara et al., 1988). Iron fertilizer spraying increased peanut yield up to 42 % in alkaline and calcareous soils (Singh and Dayal, 1992). In Çukurova region, iron deficiency chlorosis is still common problem in NC-7 peanut cultivar producing areas. The common varieties of Fe fertilizers are inorganic-Fe fertilizer, chelated-Fe fertilizer, and organic-Fe fertilizer (Laurie et al., 1991).

Zinc is one of the most substantial nutrients required for peanut growth and development as well as chlorophyll production, pollen function and germination (Brown et al., 1993; Marschner, 1993; Fageria et al., 2002). Root nodulation, chlorophyll content and pod yield increases were recorded with the Zn application in the Zn deficient soils. Pod yield reduction varied between 13 and 20%, depending on the Zn deficiency level of the soil (Singh et al., 2004). Foliar application of Zn element could repair zinc shortage. Highest seed yield, oil and protein content were reported with the foliar application of

1000 mg/L as Zn sulphate (Darwish et al., 2002; Ali and Mowafy, 2003; El Habbasha et al., 2013; Irmak et al., 2016; Christopher et al., 2019).

Molybdenum is essential for nitrogen fixation and it was recommended for some legume crops but controversial findings on peanut yield were reported. Zheng et al. (2011) and Crusciol et al. (2019) reported yield increase with the application of molybdenum while Caires and Rosolem (1995) and Silva et al. (2009); Silva et al. (2012) reported any increase on peanut yield.

Boron is one of the highly mobile elements that quickly leaches from the soil. A typical boron deficient peanut has an internal nut damage known as hollow-heart, a boron-specific disorder that highly reduces the kernel quality and value up to 65% (Cox and Reid, 1964; Singh et al., 2004; 2007). Boron deficiency affects nitrogen fixation, which is the main source of nitrogen for peanut. When boron deficiency occurs yield losses up to 50 % can be seen (Singh et al., 2004; 2007).

Manganese is an essential element for peanut growth and development (Gascho and Davis, 1995), since it serves as a cofactor in kinase and transferase enzymatic reactions (Horst, 1986). Manganese deficiency occurs only on soil with high pH levels (Gascho and Davis, 1995). In the manganese deficient soil, the interveinal chlorosis is a typical deficiency symptom. Manganese deficiency can be corrected more rapidly with the foliar manganese application. Peanut yield increase was recorded with application of manganese (Parker and Walker, 1986). Copper is a micronutrient that is very rarely applied to agronomic crops as a nutrient, since it becomes toxic at high concentrations (Ali et al., 2015). In general, copper fertilization is not applied to peanut and yield increase has not been reported yet.

Plant growth regulators can control or modify growth and development of peanut (Khan et al., 2011). Mepiquat chloride (Pix), which is a gibberellin acid inhibitor, inhibits cell elongation and limits overgrowth in plants. It also decreases the length of internodes and partially leaf area in plants and increases the concentration of chlorophyll in plant leaves. The use of growth regulators such as Pix to decrease plant height alters plant morphology and can alter assimilate partitioning in favor of seed growth by increasing radiation utilization efficiency. On the other hand, many PGR substances are also widely utilized in cereals and oilseed crops to facilitate harvesting and increase yield and quality. For this reason, they are thought to have high potential in many plants (Daniels et al., 1982).

The objectives of the study were to investigate the effects of seed fungicide treatment, foliar micronutrient and mepiquat chloride (Pix) application on yield and yield components of peanut in the eastern Mediterranean type of environment.

MATERIALS AND METHODS

A 2-years field experiment was conducted at the East Mediterranean Agricultural Research Institute (36°48' N and 35°17' E, 7 m msl) in Adana, Turkey during 2000 and 2001. Soil samples were taken before planting in a depth of 0-30 cm to determine the physical and chemical properties of the soil. The pH of the soil was measured using a pH meter (Model: HANNA HI 8520) after mixing with distilled water a ratio of 1:2.5. Electrical conductivity was measured in triplicate using a conductivity meter (Model: HANNA HI 9812-5) after mixing with the ratio 1:2.5 soil to distilled water. The CaCO₃ content was determined volumetrically by Scheibler calcimeter method (Carter, 1993). Soil texture of the soil was determined with the hydrometer method (Gee and Bauder, 1986). The soil at the experimental area was alkaline-calcareous with fine textured silty clay loam in nature and low in organic matter (about 1%), calcium carbonate (30.31- 31.30 %) and electrical conductivity (1.12, 1.733 dS m⁻¹), low in available P₂O₅ (0.23- 3.10 ppm) and K₂O (38.51 -123.18 ppm) (Table 1).

Table 1. Some Physical and Chemical Properties of The Experimental Soil

Soil depth (cm)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Soil texture	CaCO ₃ (%)	pH	Ece dS/m	Total salt (%)	Available (ppm)	
									P ₂ O ₅	K ₂ O
0-30	16.1	39.6	44.3	*SiC	31.50	7.6	1.33	0.055	3.10	123.18
30-60	10.5	48.0	41.5	SiC	30.64	7.9	1.12	0.044	0.23	43.24
60-90	10.8	55.2	34.0	**SiCL	30.49	7.8	1.21	0.051	0.31	38.51
90-120	35.7	42.1	22.2	***L	30.31	7.6	1.18	0.039	0.39	40.74

*SiC: Silty-Clay; **SiCL: Silty-Clay-Loam; ***L: Loam

The experimental site has a typical Mediterranean climate characterized by hot and drought summer. The average temperature for the May to September was 25 °C, the average sunshine duration was 10 h, and the average relative humidity was 66%.

The experiment was laid out in a randomized complete block with three replicates in each year. The experimental field was fertilized with 50 kg /ha N, 20 kg /ha P before planting. The seeds were planted in rows 0.7 m apart, with 0.25 m between plants in each row. Plots consisted of four 6-m rows that were end-trimmed to of 5 m prior to harvest. The peanut crop was harvested at 85% pod maturity according to shell out method. All plots were irrigated with furrow irrigation approximately every 2 weeks, starting from the flowering stage. At harvest, peanut yield was determined by harvesting two rows from the center of each four-row plot. Yields were adjusted to kg /ha at 12% moisture level. In plots, pods were separated from the plant by hand and the pods were shelled after one-week air drying then shelling rate (%), 100 seed weight (g) and Pod weight (kg /ha) were determined.

Virginia type peanut cultivar NC-7 was used as plant material. Cultivar NC-7 has large seeds and pods, semi spreading growth habit, alternating pairs of reproductive axes on the branches. The peanut seeds were treated with Vitavax 200 FF (200 g/L Carboxin + 200 g/L Thiram) and with 600 g/L Gaucho FS (600 g/L Imidacloprid) 600 insecticide before planting. Fertilon Combi (B 1.5%, Cu EDTA chelate 0.6%, Fe EDTA chelate 4%, Mn EDTA chelate 3%, Mo EDTA chelate 0.05%, Zn EDTA chelate 4%) was used as foliar fertilizer. The application doses of Goucho fungicide was 800 g 100 k/g seed, Vitavax, insecticide was 400 g 100 k/g seed, Pix 150 cc /ha 100 L⁻¹ water and Fertilon Combi was 1000 g /ha 1000 L⁻¹ water. Microelements and Pix were applied at three different stages; beginning of the flowering, after flowering, beginning of the flowering + after flowering. The applied 13 treatments were given below.

T₁- Control (Water spray)

T₂- Goucho + Vitavax seed treatment (100 kg seed 800 /g Goucho + 400 g Vitavax)

T₃- Goucho + Vitavax, Pix application at the beginning of the flowering

T₄- Goucho + Vitavax, Pix application after flowering

T₅- Goucho + Vitavax, Pix application at the beginning of the flowering and after flowering

T₆- Goucho + Vitavax, Pix + Fertilon Combi application at the beginning of the flowering

T₇- Goucho + Vitavax, Pix + Fertilon Combi application after flowering

T₈- Pix application at the beginning of the flowering

T₉- Pix application after flowering

T₁₀- Pix application at the beginning of the flowering and after flowering

T₁₁- Pix + Fertilon Combi application at the beginning of the flowering

T₁₂- Pix + Fertilon Combi application after flowering

T₁₃- Pix + Fertilon Combi application at the beginning of the flowering and after flowering

Effect of Seed Fungicide Treatment, Microelement Fertilizer and Mepiquat Chloride Applications on Yield and Yield Components of Peanut

The investigated plant parameters were analyzed using a standard analysis of variance in randomized block experimental design using the general linear model (SAS Institute, 1996). Means were separated using by LSD.

RESULTS AND DISCUSSION

The fungicide treatment of seed, micro-element and mepiquat chloride (Pix) applications on shelling rate, 100 seed weight and pod weight were given in Table 2.

Table 2. Effect of Seed Treatment with Fungicide and Foliar Application of Micro-Element and Mepiquat Chloride (Pix) on Shelling Rate, 100 Seed Weight and Pod Weight

Treat-ment	Shelling rate (%)			100 seed weight (g)			Pod yield (kg /ha)		
	2000	2001	Mean	2000	2001	Mean	2000	2001	Mean
T ₁	67.2	64.4	65.8 AB	87.1	80.0	83.6 C	5190.0 BCD	2529.0 I	3859.6 E
T ₂	71.1	58.9	65.0 ABC	93.5	93.3	93.4 ABC	5948.1 AB	4139.7 EFG	5044.5 AB
T ₃	70.1	61.7	65.9 AB	88.1	106.3	97.2 AB	5333.3 BC	4300.3 EFG	4816.5 AB
T ₄	70.9	63.9	67.4 A	94.4	100.0	97.2 AB	5890.5AB	4490.1 DEF	5190.6 A
T ₅	68.3	64.9	66.6 AB	86.6	97.0	91.8 ABC	5784.8AB	3564.4 GH	4674.7 ABC
T ₆	70.0	61.9	66.0 AB	83.6	110.0	96.8 AB	5108.5 BCD	3925.2 FGH	4517.8 BCD
T ₇	69.0	62.4	65.7 AB	84.0	94.7	89.3 BC	5620.0 ABC	3762.8 FGH	4691.0 ABC
T ₈	68.2	64.9	66.5 AB	81.0	94.7	87.8 BC	4842.2 CDE	3180.2 HI	4014.2 DE
T ₉	68.0	59.3	63.7 BC	84.2	101.0	92.6 ABC	5225.6 BCD	2761.6 I	3993.0 DE
T ₁₀	66.8	57.2	62.0 C	88.1	87.0	87.6 BC	5648.4 ABC	3274.7 HI	4461.1 BCD
T ₁₁	69.9	61.8	65.8 AB	86.3	102.3	94.3 ABC	5655.2 ABC	3982.7 FGH	4818.9 AB
T ₁₂	69.9	65.2	67.6 A	92.4	115.0	103.7 A	6179.8 A	3868.7 FGH	5023.3 AB
T ₁₃	69.4	60.1	64.7 ABC	88.4	106.0	97.2 AB	5710.1 AB	2695.2 I	4203.1 CDE
Mean	69.1 A	62.0 B		87.5 B	99.0 A		5540.9	3570.5	
LSD 0.05	Year:1.17-Treat.: 2.98 Y x T: N.S..			Year:4.152- Treat.:10.59 Y x T: N.S..			Y1:199.9- Treat.:509.6 Y x T: 720.07		
C.V. (%)	3.91			9.78			9.62		

*Means followed by the same letter within a column are not significantly differed at $P \geq 0.01$ based on the LSD test

The result in the above table indicates that shelling percentage among the treatments was not significant in the first and second year of the experiment (Table 2). The highest shelling percentage was obtained from treatment T₂ with 71.1% and the lowest was obtained from treatment T₁₀ with 66.8% in the first year of the study. In the second year of the study, application of Pix + Fertilon Combi application after flowering (T₁₂) had the highest shelling rate at 65.2%, and the treatment T₁₀ (Pix application at the beginning of the flowering and after flowering) had the lowest shelling rate with 57.2%. The shelling percentage of peanut genotypes was increased with the addition of plant nutrients (Williams 1987; Hartmond et al., 1996). When mean shelling percentage was considered, year and treatment were significant while year x treatment interaction was not significant. The mean shelling percentage varied between 62.0 and 67.6%. The highest mean shelling percentage was obtained from Goucho + Vitavax, Pix application after flowering (T₄), while the lowest was obtained from Pix + Fertilon Combi application after flowering (T₁₂), while the lowest was obtained from treatment Pix application at the beginning of the flowering, and after flowering (T₁₀). Application of Pix and Fertilon Combin at different growth stages of the plant did not had a significant effect on shelling percentages, but spraying on leaves after flowering seemed more appropriate. A balanced mineral fertilization for peanut would be a strategy to improve crop growth, plant yield (Chianu and Mairura, 2012; Shaban et al., 2012; Vanlauwe et al., 2015; Almeida et al., 2015).

In terms of 100 seed weight, the differences between years and treatments was found significant at the 5% level, and the year x treatment interaction was not significant. The 100 seed weight varied between 81.0 and 94.4 g in the first years, and 80.0 and 115 g in the second year. However, the 100 seed weight differences were not significant among the treatments. The mean 100 seed weight

variation was significant among the treatments. The mean 100 seed weight varied between 83.6 and 103.7 g among the treatments. The highest and the lowest mean 100 seed weight was obtained from treatment T₁₂ and the T₁ (control treatment), respectively. Haliloglu (2010) reported 100 seed weight increase in cotton with the pix application.

Significantly higher pod yield was obtained among treatments in both years of the study. The highest pod yield was obtained from treatment T₁₂ with 6179.8 kg /ha and the lowest was obtained from treatment T₈ with 4842.2 kg /ha in the first year. When pod yield in the second year was in consideration, the highest and the lowest pod yield was obtained from treatment T₄ and Treatment T₁ with 4490.1 and 2529.0 kg /ha, respectively. Foliar application of micronutrients increased seed yield by influencing amount of seeds per plant and seed weight of peanut (Walker et al., 1982; Halevy et al., 1987; Singh et al. 1995; Hänsch and Mendel, 2009). This is in agreement with our results that application of micronutrient increased peanut biomass and consequently increased seed yield when compared to the control treatment. The year treatment interaction was significant. The significant interaction was resulted from treatment T₁₂ and T₁₃, since both treatments had higher pod yields in the second year of the study. The mean pod yield was varied between 3859.6 and 5190.6 kg /ha, the lowest and the highest mean pod yield were obtained from treatment T₁ and T₄, respectively. The application of Pix and Fertilon Combin at different growth stages of the plant had a positive effect on pod yield. Compared to the control (T₁), Goucho + Vitavax seed treatment resulted in an average of 11.85% increase in 100 seed weight and an average of 30.68% increase in pod yield. Similarly, Jeyakumar and Thangaraj (1996) reported that Pix (125 ppm mepiquat chloride) application at 35 days after sowing significantly increased number of flowers and pod yield. Foliar micronutrient applications could be recommended to avoid the depletion of these nutrients in peanut. The yield improvement with the micronutrient applications could be attributed to amendment of poor nutrient uptake from the soil and translocation of these elements into the developing pods. As an application period, treatments applied after flowering gave the better results. Similar findings were reported by Haliloglu (2010); Gulluoglu (2011), Arioglu et al., (2013) that Pix increased pod yield. Our findings are also consistent with the findings of Arslantas (1988) and Avinasha et al., (2019) that application of micronutrient increased pod yield in peanuts.

CONCLUSION

Seed fungicide treatment, foliar micronutrient and mepiquat chloride (Pix) applications at the flowering, after flowering and at flowering + after flowering increased shelling percentage, 100 seed weight and pod yield of peanut. In terms of shelling percentage, 100 seed weight and pod yield, the best results were obtained from the application of Pix + Fertilon Combi after flowering. Compared to the control treatment, the highest pod yield increase (19%) was obtained from Pix + Fertilon Combi after flowering (T₁₂) in the first year, and 78% increase in the second year from Goucho + Vitavax seed treatment and Pix application after flowering (T₄). Goucho + Vitavax seed treatment alone did not have much effect on shelling percentage in peanut. However, it had a positive effect on 100 seed weight and pod yield.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors wish to thank all the management and employees of Çukurova Agricultural Research Institute, which was known as the former, for their help during the years of the experiment.

Conflict of Interest

The article authors declare that there is no conflict of interest between them.

Author's Contributions

The authors declare that they have contributed equally to the article.

REFERENCES

- Ali AAG, Mowafy SAE, 2003. Effect of different levels of potassium and phosphorus fertilizers with the foliar application of zinc and boron on peanut in sandy soils. *Zagazig Journal of Agricultural Research*, 30: 335-358.
- Ali S, Shahbaz M, Shahzad AN, Khan HAA, Anees MSAE, Haider MS, Fatima, A, 2015. Impact of copper toxicity on stone-head cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata) in hydroponics. *PeerJ*. 3: 1119. DOI 10.7717/peerj.1119.
- Almeida HJ, Pancelli MA, Prado RM, Cavalcante VS, Cruz FJR, 2015. Effect of potassium on nutritional status and productivity of peanuts in succession with sugarcane. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 15:1–10.
- Anonymous, 2021. FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Arioglu H, Kurt C, Bakal H, Onat B, Gulluoglu L, Sinan NS, 2013. The Effects of Pix Applied at Different Growing Stages on Some Agronomical Characteristics of Peanut, *Turkish Journal of Field Crops*, 18(2), 260-267.
- Arslantas H, 1988. Pix, Atonik ve Cytozyne Uygulamalarının Yerfıstığı'nın (*Arachis hypogaea* L.) Bazı Önemli Tarımsal ve Kalite Özelliklerine Etkisi Üzerinde Bir Araştırma, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 1-74.
- Avinasha BL, Srinivasan S, Sritharan N, Selvakumar T, 2019. Effect of PGRs and nutrients on flowering and productivity of groundnut (*Arachis hypogaea* L.), *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 2019; 8(3): 3767-3769.
- Bertioli DJ, Seijo G, Freitas FO, Valls JF, Leal-Bertioli SC, Moretzsohn MC, 2011. An overview of peanut and its wild relatives. *Plant Genetic Resources* 9: 134–149.
- Brown PH, Cakmak I, Zhang Q, 1993. Forms and function of zinc in plants. In: *Zinc in Soil and Plants*, ed. A. D. Robson, pp. 93–106. Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Caires EF, Rosolem CA, 1995. Calagem e aplicação de cobalto e molibdênio na cultura do amendoim. *Bragantia*, 54, 2, 361-370.
- Carter MR, 1993. *Soil sampling and methods of analysis*: CRC Press.
- Chianu JN, Mairura F, 2012. Mineral Fertilizers in the Farming Systems of Sub-Saharan Africa. A Review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32: 545-566.
- Christopher A, Oluwagbenga D, Aruna O, Adekiya CC, Khadijat O, Suleiman FO, Okunlola CO, Aremu IO, Owolabi C, Temidayo AJ, 2019. Zinc Sulphate and Boron-Based Foliar Fertilizer Effect on Growth Yield, Minerals, and Heavy Metal Composition of Groundnut (*Arachis hypogaea* L) Grown on an Alfisol. *International Journal of Agronomy*. 3:123-127.
- Cox FR, Reid PH, 1964. Calcium-boron nutrition as related to concealed damage in peanuts. *Agronomy Journal*, 56, 173-176.
- Crusciol CAC, Ferrari Neto J, Mui TS, Franzluebbbers AJ, Costa CHM, da; Castro GSA, Ribeiro LC, Costa NR, 2019. Rhizobial inoculation and molybdenum fertilization in peanut crops grown in a no tillage system after 20 years of pasture. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*:43, 1-19.
- Daniels RW, Scarisbrick DH, Chapman JF, Rawi ABN, 1982. The influence of plant growth regulators on the growth, development and yield of oilseed rape (*Brassica napus* L.). In: McLaren JS, editor. *Chemical Manipulation of Crop Growth and Development*. London, UK: Butterworths, London, pp. 153-164.

- Darwish DS, El-Gharreib El-G, El-Hawary MA, Rafft OA, 2002. Effect of some macro and micronutrients application on peanut production in a saline soil in El-Faiyum Governorate. Egyptian Journal of Applied Sciences, 17: 17-32.
- El-Habbasha SF, Taha MH, Jafar NA, 2013. Effect of nitrogen fertilizer levels and zinc foliar application on yield, yield attributes and some chemical traits of groundnut. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences 9 (1): 1-7.
- Fageria NK, Baligar VC, Clark RB, 2002. Micronutrients in crop production. Advances in Agronomy 77: 189-272.
- Gascho GJ, Davis JG, 1995. Soil fertility and plant nutrition. In H.E. Pattee and H.T. Stalker (eds.). Advances in Peanut Science. Stillwater: Am. Peanut Research and Education Society, pp. 383-418.
- Gee GW, Bauder JW, 1986. Particle size analysis. p. 383-411 In A. Klute (Ed.) Methods of Soil Analysis, Part 1-Physical and Mineralogical Methods. SSSA Book Ser. No. 5. Soil Science Society of America, Madison. WI.
- Gulloglu L, 2011. Effects of Growth Regulator Applications on Pod Yield and Some Agronomic Characters of Peanut in Mediterranean Region, Turkish Journal of Field Crops, 2011, 16(2): 210-214.
- Halevy J, Hartzookand A, Markovitz T, 1987. Foliar fertilization of high-yielding peanuts during the pod-filling period. Fertilizer Research 14: 153–160.
- Haliloglu H, 2010. The Effect of Mepiquat Chloride Applied In Different Growing Stage and The Doses On Yield And Fiber Technological Characteristics of Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) Journal of Agriculture Faculty, Harran University, 2010,14(1): 27-36.
- Hänsch R, Mendel RR, 2009. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). Current Opinion in Plant Biology 12: 259–266.
- Hardy R, Havelka U, 1977. Possible routes to increase the conversion of solar energy to food and feed by grain legumes and cereal grains (crop production): CO₂ and N₂ fixation, foliar fertilization, and assimilate partitioning. Biological Solar Energy Conversion: 299–322.
- Hartmond U, Williams JH, Lenz F, 1996. Sources of Variation in Shelling Percentage in Peanut Germplasm and Crop Improvement for Calcium Deficiency-Prone Soils. Peanut Sci, 23:76-81.
- Horst M, 1986. Mineral nutrition in higher plants. Academic press, New York, New York. 674 pp.
- Irmak S, Cil AN, Yucel H, Kaya Z, 2016. Effects of zinc application on yield and some yield components in peanut (*Arachis hypogaea*) in the Eastern Mediterranean region. Journal of Agricultural Sciences, 22: 109-116.
- Jeyakumar P, Thangaraj M, 1996. Effect of Mepiquat Chloride on Certain Physiological and Yield Characteristics of Groundnut (*Arachis hypogaea* L.). Journal of Agronomy and Crop Science, 176: 159-164.
- Jordan DL, Brandenburg R, Brown B, Bullen G, Roberson G, Shew B, 2017. Peanut Information. North Carolina Cooperative Extension Service Publication.
- Khan P, Bakht J, Bano A, Nasrullah A, Malik J, 2011. Effect of plant growth regulators and drought stress on groundnut (*Arachis hypogaea* L) genotypes. Pakistan Journal of Botany, 43, 2397-2402.
- Laurie SH, Tancock NP, Mcgrath SP, Sanders JR, 1991. Influence of complexation on the uptake by plants of iron, manganese, copper and zinc. Journal of Experimental Botany, 42, 509–513. doi: 10.1093/jxb/42.4.515.
- Marschner H, 1993. Zinc uptake from soils. In: Zinc in Soils and Plants, ed. A. D. Robson, pp. 59-79. Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Meena S, Malarkodi M, Senthilvalavan P, 2007. Secondary and micronutrients for groundnut - a review. Indian Journal of Agricultural Research, 28:295.
- Mortvedt, JJ, 1991. Correcting iron deficiencies in annual and perennial plants: present technologies and future prospects. Plant Soil, 43, 315–321. doi: 10.1007/BF00011883.

Effect of Seed Fungicide Treatment, Microelement Fertilizer and Mepiquat Chloride Applications on Yield and Yield Components of Peanut

- Murata MR, 2003. The impact of soil acidity amelioration on groundnut production and sandy soils of Zimbabwe. University of Pretoria: Electronic Theses and Dissertations.
- O'Hara GW, Dilworth MJ, Boonkero N, Parkpian P, 1988. Iron-Deficiency Specially Limits Nodule Development in Peanut Inoculation with *Bradyrhizobium* sp. *New Phytologist*, 108: 51-57.
- Panhwar F, 2005. Oilseed Crops Future in Sindh Pakistan. Digital Verlag GmbH, Germany, pp: 38.
- Parker MB, Walker ME, 1986. Soil pH and Manganese Effects on Manganese Nutrition of Peanut. *Agronomy Journal*, 78: 614-620.
- SAS Institute Inc, 1996. SAS/STAT Software: Chances and Enhancements Through Release 6.11. SAS Inst. Inc., Carry, NC, USA.
- Shaban K, El-Fattah MA, El-Galad M, 2012. Impact the foliar application of silicon and B with or without compost on soil fertility and peanut productivity under newly reclaimed soil conditions. *J. Soil Sci. and Agric. Eng., Mansoura Univ.*, Vol. 3: 1215-1232.
- Sharma KK, Bhatnagar-Mathur P, 2006. Peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Methods Mol. Biol.* 343: 347-358.
- Silva MP da, Sá ME de, Abrantes FL, Souza LCD, 2012. de. Influência do molibdênio e do cálcio aplicados via semente nas frações protéicas de amendoim cv. IAC 888. *Semina: Ciências Agrárias*, 33 (6): 2099-2108.
- Silva MP, da, Sá ME, de, Berti CL, Santos FPC dos, Abrantes FL, Souza LCD, 2009. de. Doses de cálcio e molibdênio via sementes e calcário via solo na produção de sementes de amendoim. *Revista Trópica*, 3, 2, 42-52.
- Singh AL, Basu MS, Singh NB, 2004. Mineral Disorders of Groundnut. New Delhi, India: ICAR Publications.
- Singh AL, Dayal D, 1992. Foliar Application of Iron for Recovering Groundnut Plants from Lime induced Iron Deficiency Chlorosis and Accompanying Losses in Yields. *Journal of Plant Nutrition*, 15: 1421-1433.
- Singh AL, Vidya C, Basu MS, 2007. Boron deficiency and its nutrition of groundnut in India. pp 149-162. In: *Advances in Plant and Animal Boron Nutrition* (F. Xu ed) Springer Publishers.
- Singh AL, Vidya C, Koradia VG, Zala PV, 1995. Effect of excess irrigation and iron and sulphur fertilizers on the chlorosis, dry matter production, yield and nutrient uptake by groundnut in calcareous soil. *Agrochimica* 39: 184-198.
- Vanlauwe B, Descheemaeker K, Giller KE, Huising J, Merckx R, Nziguheba G, Wendt J, Zingore S, 2015. Integrated Soil Fertility Management in Sub-Saharan Africa: Unravelling Local Adaptation. *Soil*, 1, 491-508.
- Walker ME, Gaines TP, Henning RJ, 1982. Foliar fertilization effects on yield, quality, nutrient uptake, and vegetative characteristics of Florunner peanuts. *Peanut Science* 9: 53-57.
- Williams, E.J., Ware, G.O., Lai, J., and Drexler, J.S. 1987. Effect of pod maturity and plant age on the seed size distributions of Florunner peanuts. *Peanut Sci.* 14: 79-83.
- Yayock Y, Lombin G, Owonubi JJ, 1998. *Crop Science and Production in warm Climates*. MacMillan Publishers Ltd. London and Basingstoke.
- Zheng Y, Cheng Q, Wu L, Sun K, Wu Z, Wang C, 2011. Effects of boron fertilizer and molybdenum fertilizer on growth and development and yield of dryland peanut. *Crops* 05: 53-58.
- Zuo Y, Zhang FS, 2011. Soil and crop management strategies to prevent iron deficiency in crops. *Plant Soil*, 39:83-95.

Atıf İçin: Öztürk Erdem, S. ve Karakoyun, M. (2023). Bilecik Ekolojisinde Yetiştirilen Ahududu (*Rubus idaeus* L.) Çeşitlerinin Bazı fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 1356-1362.

To Cite: Öztürk Erdem, S. & Karakoyun, M. (2023). Determination of Some Physical and Chemical Properties of Raspberry (*Rubus İdaeus* L.) Cultivars Grown In Bilecik Ecology. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 1356-1362.

Bilecik Ekolojisinde Yetiştirilen Ahududu (*Rubus idaeus* L.) Çeşitlerinin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi

Sinem ÖZTÜRK ERDEM^{1*}, Merve KARAKOYUN²

Öne Çıkanlar:

- Ahududu
- Adaptasyon

Anahtar Kelimeler:

- Ahududu
- Heritage
- Pomoloji
- *Rubus idaeus* L.

ÖZET:

Bu çalışma, Bilecik koşullarında 2020-2021 yıllarında Heritage, Tulameen, Canby ahududu çeşitlerinin bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkezine ait uygulama alanında yürütülmüştür. Ortalama meyve ağırlıkları bakımından denemenin iki yılında da çeşitler arasında istatistiki açıdan bir fark bulunmamıştır. İki yılda da ortalama meyve ağırlığı ve meyve eni incelendiğinde en iyi sonuç Heritage çeşidinden elde edilmiştir. 2020 yılında en yüksek meyve boyu Tulameen çeşidinde (19.30 mm), 2021 yılında ise Heritage çeşidinde (19.62 mm) tespit edilmiştir. 2021 yılında Suda çözünabilir kuru madde miktarı en yüksek Heritage (% 11.35) çeşidinde, pH Tulameen (3.77) çeşidinde, titre edilebilir asit miktarı ise Canby (% 4.03) çeşidinde belirlenmiştir. Denemenin iki yılında alınan sonuçlar değerlendirildiğinde Heritage çeşidinin ön planda olduğu belirlenmiştir.

Determination of Some Physical and Chemical Properties of Raspberry (*Rubus idaeus* L.) Cultivars Grown in Bilecik Ecology

Highlights:

- Raspberry
- Adaption

Keywords:

- Raspberry
- Heritage
- Pomology
- *Rubus idaeus* L.

ABSTRACT:

This study was carried out in the application area of Bilecik Şeyh Edebali University Agricultural Research and Application Center in order to determine the adaptation abilities of Heritage, Tulameen, Canby raspberry varieties in Bilecik conditions between 2020-2021. In terms of average fruit weights, there was no statistical difference between the varieties in the two years of the experiment. When the average fruit weight and fruit width were examined in both years, the best result was obtained from the Heritage variety. The highest fruit length was found in Tulameen (19.30 mm) in 2020, and in Heritage (19.62 mm) in 2021. In 2021, the highest amount of water-soluble dry matter was determined in Heritage (11.35%), pH Tulameen (3.77), and titratable acid content in Canby (4.03%). When the results obtained in the two years of the experiment were evaluated, it was determined that the Heritage variety was at the forefront.

1 Sinem ÖZTÜRK ERDEM (Orcid ID: 0000-0002-8978-0837), Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Bilecik, Türkiye

2 Merve KARAKOYUN (Orcid ID: 0000-0001-7438-4738), Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Bilecik, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Sinem ÖZTÜRK ERDEM, e-mail: sinem.erdem@bilecik.edu.tr

GİRİŞ

Türkiye'nin coğrafik konumu ve ekolojik durumu nedeni ile ürün yelpazesinin geniş olduğu bilinmektedir (Ercişli, 2004). Üzümsü meyvelerin kültüre alınarak yetiştirilmesi genel olarak 19. yüzyılda başlamıştır. Bu gecikmenin sebebi, yabancı formlarının geniş bir alana yayılmış olması ve insanlar bu yabancı meyveleri tükettikleri için kapama bahçeye gerek duymadıklarından kaynaklı olduğu bildirilmiştir (Erenoğlu ve Ağaoğlu, 2013).

Ülkemizde üzümsü meyve yetiştiriciliği, 1960'lı yıllarda çilek ile başlamış daha sonra böğürtlen, ahududu, frenk üzümü, mürver, aronya ve maviyemiş gibi meyvelerle her geçen yıl artış göstermiştir (Poyraz Engin ve Boz, 2019).

Rubus cinsi içerisinde, 15 alt cins ve yaklaşık 740 tür bulunmaktadır (Hummer, 2010). *Idaeobatus* alt cinsine giren ahududular (*Rubus idaeus* L.) kırmızı, siyah ve mor ahududu olarak üç grupta toplanır. Kırmızı ahududu üretiminin diğerlerine göre daha fazla yapıldığı bilinmektedir (Erenoğlu ve Ağaoğlu, 2013).

Son yıllarda lezzetleri ve karakteristik renkleri ile popüler hale gelen ahududu, insanlarda ve hayvanlarda sağlıklı beslenme için gerekli olan antosiyaninler, vitaminler, mineraller, yağ asitleri, proteinler ve karbonhidratlar bakımından oldukça zengindir. Ahududu, tarım ve gıda endüstrisinin yanı sıra farmasötik ve kozmetik sanayisi için de önemli bir yer teşkil etmektedir (Lopez-Corona ve ark., 2022).

Dünya'da 2020 yılı FAO verilerine göre 895.771 ton ahududu üretimi gerçekleşmiş olup Rusya 182.000 ton ile birinci sırada yer alırken Meksika (146.350 t) ve Polonya (121.700 t) Rusya'yı takip etmektedir (FAO, 2020). Ülkemizde ise ahududu üretimi ticari olarak 1995 yılında başlamış olup (Ertürk ve Geçer, 2012) 2004 yılından 2021 yılına kadar üretim alanı % 103 artış göstererek 7.095 dekara, üretim miktarı ise %132 artış göstererek 5.093 tona çıkmıştır. Bursa ili bu üretimin % 97'sini karşılamaktadır (TUİK, 2022).

Ülkemizde ahududu yetiştiriciliğinin arttırılması için uzun yıllardır farklı bölgelerde birçok adaptasyon çalışmaları yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir (Ağaoğlu ve ark., 2003; Cangı ve İslam, 2003; Gerçekcioğlu ve ark., 2003; Demirsoy ve ark., 2006; Eroğlu ve Gerçekcioğlu, 2006; Pehlivan ve Gülerüz, 2010; Yıldız, 2011; Ada, 2014; Balcı ve Keles, 2019; Güneş ve Küçüküseyin, 2019).

Ahududu yetiştiriciliği için Bilecik ekolojisinin uygun olup olmadığı konusunda herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bundan dolayı Bilecik ekolojik koşullarında ahududu yetiştirilebilirliğinin belirlenmesini amacıyla 2019 bir çalışma başlatılmıştır. Canby, Aksu kırmızısı, Heritage, Rubin, Hollanda boduru ve Tulameen çeşitleri ile kurulan bahçede en iyi uyum sağlayan üç çeşidin (Heritage, Tulameen, Canby) fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

MATERYAL VE METOT

Araştırma, 2020-2021 yıllarında Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkezine ait uygulama alanında yürütülmüştür. Araştırmada Canby, Tulameen ve Heritage kırmızı ahududu çeşitleri kullanılmıştır. Kullanılan çeşit özellikleri aşağıda verilmiştir;

Canby: Gelişmesi kuvvetli bir çeşit olup, meyveleri orta sert, konik şekilli, kendine has aromaya sahiptir. Kış soğuklarına karşı dayanıklıdır ve Marmara bölgesi için uygun bir çeşittir (Küçüküseyin, 2017).

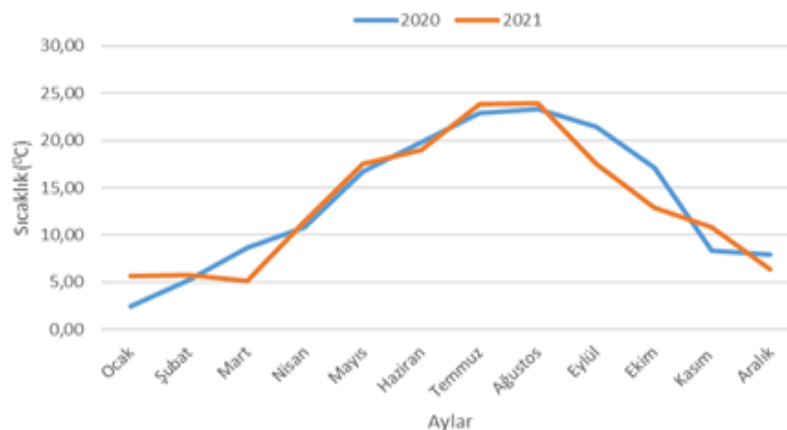
Heritage: Amerika’da ıslah edilen sonbahar döneminde meyve verme özelliği ile bilinen verimli standart bir çeşittir. Adaptasyon yeteneği yüksek olup, meyveleri geç olgunlaşır. Meyveleri orta iri, sert ve orta kırmızıdır (Erenoğlu ve Ağaoğlu, 2013).

Tulameen: İngiltere’de ıslah edilmiştir. Bitkileri güçlü aynı zamanda verimli olup hasat süresi, uzun ve meyveleri geç olgunlaşır. Meyve özellikleri ise iri, orta kırmızı, konik ve serttir (Erenoğlu ve Ağaoğlu, 2013).

Araştırma alanının toprak analizi sonuçları Çizelge 1’de verilmiştir. Buna göre araştırma alanı toprağı hafif alkali pH’lı, orta kireçli, tınlı yapıda, tuzsuz, organik maddesi seviyesi orta, fosfor miktarı fazla, potasyum miktarı ise çok fazla olarak belirlenmiştir. 2020-2021 yıllarına ait aylık ortalama sıcaklık verileri ise Şekil 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Deneme Alanının Bazı Toprak Özellikleri

Analizin adı	Birimi	Sonuç	Açıklama
Toprak bünyesi	%	49.31	Tınlı
pH	-	7.80	Hafif alkali
Toplam tuz	dS/m	0.019	Tuzsuz
Organik madde	%	2.86	Orta
Kireç	%	5.95	Orta kireçli
Fosfor (P ₂ O ₅)	Kg/da	14.4	Fazla
Potasyum	Kg/da	66.30	Çok fazla



Şekil 1. 2020-2021 Yıllarına Ait Aylık Sıcaklık Ortalama Verileri

Arazi 2019 yılında, tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekerrürlü ve her tekerrürde 5 adet bitki olacak şekilde kurulmuştur. Bitkiler 1.5 m sıra üzeri ve 3 m sıra arası mesafelerde dikilmiştir. Dikim yılından itibaren damla sulama ile sulanan arazide düzenli olarak kültürel işlemler gerçekleştirilmiştir.

Denemede fenolojik gözlem olarak ilk çiçeğin görüldüğü tarih ilk çiçeklenme, sürgünler üzerindeki çiçeklerin %70’inin açtığı tarih tam çiçeklenme ve meyvelerin hasada geldiği ilk tarih ise hasat tarihi olarak tespit edilmiştir (Balcı ve Keles, 2019).

Araştırmada kullanılan ahududu çeşitlerinde, her bir tekerrürden 10 adet meyve alınarak, ortalama meyve ağırlığı (g) 0.01 g’a duyarlı hassas terazi ile; meyve çapı (mm) ve meyve boyu (mm) ise dijital kumpas ile ölçülerek tespit edilmiştir (Balcı ve Keles, 2019; Güneş ve Küçüküseyin, 2019). Suda çözünebilir kuru madde miktarı meyvelerin sıkılmasıyla elde edilen meyve suyunun dijital el refraktometre ile, pH dijital pH metre kullanılarak, titre edilebilir asit miktarı ise 0.1 N’ lik NaOH’ in kullanıldığı titrasyon yöntemiyle tespit edilerek, sitrik asit cinsinden yüzde olarak hesaplanmıştır (Kılıç ve ark., 1991; Eydurun ve ark., 2006).

Elde edilen veriler SPSS 23 paket programı yardımıyla %5 önem seviyesinde varyans analizine tabi tutulmuştur.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Fenolojik veriler incelendiğinde denemede en erken ilk çiçeklenme Canby çeşidinde (12.05.2021), en geç ilk çiçeklenme Heritage çeşidinde (19.05.2021) gözlenmiştir. Tulameen çeşidinde ilk çiçeklenme 18.05.2021 tarihinde son çiçeklenme ise 02.06.2021 tarihinde gözlenmiştir. Samsun ekolojik koşullarında (Demirsoy ve ark., 2006) ve Yozgat ekolojik koşullarında (Balcı ve Keles, 2019) yapılan çalışmalarda Heritage çeşidinin ilk çiçeklenme tarihleri benzerlik gösterirken Çorum koşullarında yapılan çalışmaya göre bölgemizde erken çiçeklenme meydana gelmiştir. Çeşit özelliği olduğu bilinen fenolojik özelliklerin ekolojik faktörler tarafından etkilendiği ve değişiklik gösterdiği bilinmektedir. İlk çiçeklenme meydana gelen Canby çeşidi ilk hasat olgunluğuna ulaşmıştır (09.06.2021), onu sırasıyla Tulameen (25.06.2021) ve Heritage (28.06.2021) çeşidi izlemiştir.

Denemede kullanılan çeşitlere ait ortalama meyve ağırlığı (g), en (mm) ve boy (mm) ölçümlerinin 2020 ve 2021 yıllarına ait değerleri Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2’de görüldüğü gibi ortalama meyve ağırlıkları incelendiğinde iki yılda da istatistiki açıdan bir fark bulunmamıştır. Denemenin iki yılında da ortalama meyve ağırlığı en yüksek Heritage (3.24 g; 3.17g) çeşidinde, en düşük Canby (1.63 g; 1.56g) çeşidinde görülmüştür.

Pehlivan (2000), Erzurum yöresinde 1999-2000 yılları arasında Cola, Tulameen, Summit, Heritage, Hollanda Boduru, Canby, Newburg, Bursa Boduru ve Rubin çeşitlerinin fenolojik ve kimyasal özelliklerini incelediği çalışmada iki yılın ortalama meyve ağırlığını Tulameen çeşidinde 2.31 g, Heritage çeşidinde ise 2.23 g bulduğunu bildirmiştir. Ankara (Ayaş) ilinde farklı ahududu çeşitlerinin denendiği çalışmada Heritage (1.81 g) çeşidinin en yüksek meyve ağırlığına sahip olduğu belirlenmiştir (Eyduran ve ark., 2006). Aydemir (2008) iki farklı koşulda yaptığı çalışmada açıkta yetiştiricilikte Heritage I çeşidinin meyve ağırlığını 2.05 g; Heritage II çeşidinin ise 2.03 g olarak tespit etmiştir. Göктаş ve ark., (2009) Eğirdir yöresinde yaptıkları adaptasyon çalışmasında en yüksek meyve ağırlığını 3.19 g Tulameen çeşidinde belirlerken, Heritage çeşidinde ise 1.52 g olarak bildirmişlerdir. Trabzon koşullarında yürütülen çalışmada Heritage çeşidinin meyve ağırlığının 2.07, Tulameen çeşidinin ise 2.88 g olduğu bildirilmiştir (Yıldız, 2011). Balcı ve Keles (2019) Yozgat koşullarında 2017-2018 yıllarında beş farklı çeşitle yaptıkları adaptasyon çalışmasında ilk yıl en yüksek meyve ağırlığını Hollanda Boduru çeşidinde (2.23 g), ikinci yıl Ruby çeşidinde (2.32 g), en düşük ise Heritage çeşidinden (1.46 g) elde etmişlerdir. Çalışma sonucu elde edilen bulgular diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında çalışmamızda elde edilen sonuçların genellikle daha yüksek bulunduğu tespit edilmiştir. Bu farklılığın ekolojik faktör ve kültürel uygulamalardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

2020 yılında meyve eni, çeşitler açısından istatistiki açıdan önemli bulunmuştur. Heritage çeşidi 19.06 mm ile en geniş meyve enine sahip olurken Canby çeşidinde (14.28 mm) en düşük meyve eni belirlenmiştir. 2021 yılında ise istatistiki açıdan bir fark bulunmamıştır (Çizelge 2).

Meyve boyu her iki yılda da istatistiki açıdan önemli bulunmuştur. 2020 yılında 19.30 mm ile Tulameen çeşidi ilk sırada yer alırken Canby çeşidi 15.87 mm ile son sırada yer almıştır. 2021 yılında ise Heritage çeşidi 19.62 mm ile ilk sırada yer alırken 16.98 mm ile Tulameen çeşidi son sırada yer almıştır (Çizelge 2).

Aydemir (2008), yaptığı çalışmada Heritage I çeşidinde 15.47 mm meyve eni, 15.29 mm meyve boyu, Tulameen çeşidinde ise meyve enini 15.55 mm, meyve boyunu 18.03 mm olarak belirlemiştir. Yıldız (2011), Trabzon (Hayrat) yöresinde bazı böğürtlen ve ahududu çeşitleri ile yaptığı adaptasyon

Bilecik Ekolojisinde Yetiştirilen Ahududu (*Rubus idaeus* L.) Çeşitlerinin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi

çalışmasında Heritage ve Tulameen ahududu çeşitlerinin meyve boylarını sırasıyla 15.63 mm; 17.84 mm, meyve enlerini 15.89 mm; 18.69 mm olarak belirlemiştir. Kahramanmaraş'ta Hollanda Boduru, Aksu Kırmızısı, Heritage ve Rubin çeşitlerinin kullanıldığı çalışmada meyve ağırlıklarının 1.31-1.70; meyve eninin 11.53-14.23 ve meyve boyunun 11.83-13.46 arasında değiştiği bildirilmiştir (Ada, 2014). Güneş ve Küçük Hüseyin (2019), Çorum'da 6 ahududu çeşidi ile yaptıkları adaptasyon çalışmasında bazı fenolojik ve pomolojik özellikleri incelemişler ve iki yılın ortalamalarına göre çeşitlerin meyve ağırlıklarını 2.11 g (Heritage)- 2.23 (Canby) g değerleri arasında tespit ettiklerini, Heritage ahududu çeşidinin incelenen özellikler bakımından ön plana çıktığını bildirmişlerdir.

Çizelge 2. Ahududu Çeşitlerinin 2020 ve 2021 Yılları Fiziksel Özellikleri

Çeşit	Ort. Meyve Ağırlığı		Meyve Eni		Meyve Boyu*	
	2020	2021	2020*	2021	2020	2021
Heritage	3.24	3.17	19.06 ^a	17.41 ^a	18.50 ^a	19.62 ^a
Tulameen	3.06	2.96	17.72 ^{ab}	17.39 ^a	19.30 ^a	16.98 ^a
Canby	1.63	1.56	14.28 ^c	16.30 ^a	15.87 ^b	17.21 ^b

*: p<0.05, **: p<0.01. Aynı sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında fark yoktur.

Ahududu çeşitlerinin 2020 ve 2021 yıllarına ait kimyasal içerikleri Çizelge 3'de verilmiştir. SÇKM, pH ve titre edilebilir asit oranlarının çeşit özelliğinden kaynaklanabildiği gibi iklim, toprak ve kültürel uygulamalardan da etkilendiği bilinmektedir. Çalışmada SÇKM oranları çeşitler arasında denemenin ilk yılı istatistiki açıdan önemli bulunmazken ikinci yıl istatistiki açıdan (p<0.05) önemli bulunmuştur. SÇKM miktarı % 9.45 (Tulameen)- %11.35 (Heritage) arasında değişmiştir. Giresun ilinde yapılan bir çalışmada SÇKM oranları %9.12-13.66 (Kurt ve ark., 2003); Karadeniz'de yürütülen bir çalışmada ahududu çeşitlerinin SÇKM oranları %10.30-13.80 arasında değişmiş ve bu bölge için Heritage çeşidinin yetiştirilmesi önerilmiştir (Cangi ve İslam, 2003). Eğirdir Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü'nde 2009 yılında yapılan bir çalışmada Suda çözünebilir kuru madde oranları %9.83-%13.40 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Bazı kırmızı ahududu çeşitleriyle yürütülen bir çalışmada SÇKM oranı Heritage % 9.47, Tulameen %10.10 ve Canby çeşidinde ise % 8.93 belirlenmiştir (Güneş ve Küçük Hüseyin, 2019).

Çalışmamızda kullanılan çeşitlerin pH değerleri incelendiğinde ilk yıl en yüksek pH miktarı Canby (2.87) çeşidinde en düşük Tulameen (2.06) çeşidinde, ikinci yıl ise en yüksek pH Tulameen çeşidinde (3.77) tespit edilmiştir. Bu durum aynı ekoloji aynı çeşit olsa bile değişen iklim şartlarının etkilerini göstermektedir (Aydemir, 2008).

Titre edilebilir asitlik miktarlarında çeşitler arasında istatistiki olarak fark gözlenmemiştir. Çalışmamızda titre edilebilir asitlik oranları % 2.63 (Heritage)- 4.03 (Canby) arasında değişmiştir. Adana koşullarında yapılan bir çalışmada titre edilebilir asit miktarı % 1.27-1.82; pH değerleri ise 2.95-3.18 arasında bulunmuştur (Türemiş ve ark., 2006). Çorum ilinde yapılan bir çalışmada pH 3.11-3.40 arasında değiştiğini titre edilebilir asit miktarının Heritage çeşidinde en düşük %1.78, en yüksek 2.54 Hollanda Boduru çeşidinde belirlenmiş ve çeşitler arasındaki iki özellik istatistiki açıdan önemli bulunduğunu bildirilmişlerdir (Güneş ve Küçük Hüseyin, 2019).

Çizelge 3. Ahududu Çeşitlerinin 2020 ve 2021 Yılları Kimyasal Özellikleri

Çeşit	SÇKM (%)		pH		TEA (%)	
	2020	2021**	2020	2021**	2020	2021
Heritage	10.35 ^a	11.35 ^a	2.80 ^a	3.51 ^b	2.63 ^a	2.63 ^a
Tulameen	9.45 ^a	9.93 ^b	2.06 ^a	3.77 ^a	3.79 ^a	4.02 ^a
Canby	9.37 ^b	9.99 ^b	2.87 ^a	3.67 ^a	2.94 ^a	4.03 ^a

*:p<0.05, **: p<0.01. Aynı sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında fark yoktur.

SONUÇ

Son yıllarda giderek üretimi artan bahçe bitkileri içerisinde önemli yere sahip olan üzüm meyveleri; pazarda yüksek fiyat bulması ve bahçe kurulum maliyetlerinin kısa sürede üreticiye geri dönmesi, insan sağlığı açısından önemini giderek anlaşılması üretimde de artışın gerçekleşmesini sağlamaktadır. Bilecik yöresinde yapılan bu çalışma ile Bilecik ilinde yetiştirilen farklı kırmızı ahududu çeşitlerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmamızda elde ettiğimiz bulgular ve önceki çalışmalar ışığında ahududu yetiştiriciliğinin koşullara ve ekolojik koşullara duyarlılık göstermektedir. Ayrıca ahududu yetiştiriciliğinin yetiştirildiği yere hatta yıllar arasında bile farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Diğer araştırmalarında bildirdiği gibi verim, meyve ağırlığı ve destek sistemine ihtiyaç duymaması bakımında ön plana çıkan Heritage çeşidi çalışmamızda da ön plana çıkmıştır. Bulgular sonucunda ikinci önemli çeşit ise Tulameen olarak belirlenmiştir. Sofralık yetiştiricilikte meyve eti sertliği önemli bir kriter olup bu iki çeşit sert meyve etine sahip olduğu için sofralık tüketim için ön plandadır.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder..

KAYNAKLAR

- Ada, M. (2014). Bazı Ahududu (*Rubus idaeus* L.) Çeşitlerinin Kahramanmaraş Koşullarına Adaptasyonu, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Ağaoğlu, Y.S., Çelik, M. ve Atilla, S.P. (2003). Bazı Ahududu Çeşitlerinin Ayaş (Ankara) Koşullarına Adaptasyonu Üzerinde Ön Değerlendirmeler. Ulusal Kivi ve Üzüm Meyve Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, 23-25 Ekim 2003, Ordu.
- Aydemir, M. (2008). Açıkta ve Isıtmasız Cam Sera Koşullarında Yetiştirilen Bazı Ahududu (*Rubus idaeus* L.) ve Böğürtlen (*Rubus fruticosus* L.) Çeşitlerinin Bitki ve Meyve Özelliklerinin İncelenmesi. Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Balcı, G. ve Keles, H. (2019). Bazı Ahududu Çeşitlerinin Yozgat Ekolojisinde Adaptasyon Yeteneklerinin Belirlenmesi. KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi, 22(6): 823-829.
- Cangi, R. ve İslam, A. (2003). Bazı Böğürtlen Çeşitlerinin Ordu Ekolojik Koşullarına Adaptasyonu Üzerine Araştırmalar (2000-2002 Gözlem Sonuçları), Ulusal Kivi ve Üzüm Meyveler Sempozyumu Bildirileri, 348-352.
- Demirsoy, L., Demirsoy, H., Bilgener, Ş., Ersoy, B., Öztürk, A., Balcı, G. & Çelikel, G., (2006). Samsun'da Yapılan Ahududu Çeşit Adaptasyon Çalışmaları. II, Ulusal Üzüm Meyveler Sempozyumu, 14 (16), 205-211.
- Ercişli, S. (2004). A Short Review of the Fruit Germplasm Resources of Turkey. Genetic Resources And Crop Evolution, 51 (4), 419-435.
- Erenoğlu, B. ve Ağaoğlu, Y.S. (2013). Ahududu. Ağaoğlu ve Gerçekcioğlu (Ed.), Üzüm Meyveler. Ankara: Tomurcukbağ Ltd. Şti. Eğitim Yayınları.
- Eroğlu, Z. ve Gerçekcioğlu, R. (2006). İki Ürün Veren Bazı Ahududu (*R. idaeus* L.) Çeşitlerinin Tokat Koşullarındaki Performansları. II. Ulusal Üzüm Meyveler Sempozyumu, 14 (16), 244-249.
- Ertürk, Y.E. ve Geçer, M.K. (2012). Üzüm Meyveler Ekonomisi. İğdır Üniv. Açık Erişim Sistemi.
- Eyduran, S., Ağaoğlu, S., Çelik, M., 2006. Bazı Ahududu Çeşitlerinin Ayaş (Ankara) Koşullarına Adaptasyonu Üzerine Araştırmalar. II. Ulusal Üzüm Meyveler Sempozyumu, 14 (16), 224-230.

- FAO, (2020). Bitkisel üretim istatistikleri. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Gerçekçiöğlü, R., Özdemir, Z., Güneş, M., Edizer, Y. (2003). Bazı Ahududu Çeşitlerinin Tokat Yöresine Adaptasyonu. Ulusal Kivi ve Üzümsü Meyveler Sempozyumu, Bildiriler Kitabı 330-336, Ordu
- Göktaş, A., Demirtaş, İ. ve Atasay, A. (2009). Bazı Ahududu Çeşitlerinin Eğirdir (Isparta) Yöresine Adaptasyonu. III. Ulusal Üzümsü Meyveler Sempozyumu, 10 (12), 120-125.
- Güneş, M.ve Küçük hüseyin, E. (2019). Bazı kırmızı ahududu (*Rubus idaeus* L.) çeşitlerinin çorum ekolojik koşullarına adaptasyonu, Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi, 8 (2), 113-122.
- Hummer, K.E. (2010). Rubus pharmacology: Antiquity to the present. HortScience 45, 1587–1591.
- Kılıç, O., Çopur, U. ve Görtay, Ş. (1991). Meyve ve sebze işleme teknolojisi uygulama kılavuzu, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Notları, 7, 147.
- Kurt, H., Turan, A. ve Ruşen, M. (2003). Bazı Ahududu ve Böğürtlen Çeşitlerinin Giresun Ekolojik Koşullarına Adaptasyonu (2000-2003 Sonuçları), Ulusal Kivi ve Üzümsü Meyveler Sempozyumu, Bildiri Kitabı, 365-368.
- Küçük hüseyin, E. (2017). *Bazı Ahududu (Rubus idaeus L.) Çeşitlerinin Çorum Koşullarına Adaptasyonu* (Yüksek Lisans tezi). Erişim adresi: [file:///C:/Users/HPELITEBOOK840/Downloads/482353%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/HPELITEBOOK840/Downloads/482353%20(2).pdf)
- Lopez-Corona, A.V., Valencia-Espinosa, I., González-Sánchez, F.A., Sánchez-López, A.L., Garcia-Amezquita, L.E. & Garcia-Varela, R. (2022). Antioxidant, Anti-Inflammatory and Cytotoxic Activity of Phenolic Compound Family Extracted from Raspberries (*Rubus idaeus*): A General Review. *Antioxidants*, 11(6):1192.
- Pehlivan, M. (2000). *Bazı Ahududu Çeşitlerinin Oltu İlçesine Adaptasyonu Üzerine Bir Araştırma. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Pehlivan, M. ve Güler yüz, M. (2010). Bazı Ahududu Çeşitlerinin (*Rubus idaeus* L.) Oltu (Erzurum) Ekolojisine Adaptasyonu Üzerinde Bir Araştırma, Alinteri, 18 (B); 7-13.
- Poyraz Engin, S. ve Boz, Y. (2019). Ülkemiz Üzümsü Meyve Yetiştiriciliğinde Son Gelişmeler, UAZİMDER Uluslararası Anadolu Ziraat Mühendisliği Bilimleri Dergisi, (Özel sayı 1), 108-115.
- TUİK, (2022). Bitkisel Üretim İstatistikleri. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/>
- Türemiş, N., Burğut, A., İğdırlı, D., Doğan, Y. ve Çalışkan, M., (2006). Bazı Ahududu Çeşitlerinin Adana Koşullarına Adaptasyonu. II, Ulusal Üzümsü Meyveler Sempozyumu, 14 (16), 212-218.
- Yıldız, A. (2011). Hayrat (Trabzon) Koşullarında Yetiştirilen Bazı Ahududu ve Böğürtlen Çeşitlerinin Adaptasyonu. Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>

Atf İçin: Akçin, H. ve Köse, R. T. (2023). Tarım Arazilerinde Değişime Neden Olan Parametrelerin Google Earth Engine Veri Madenciliği ve WebCBS Aplikasyonu ile Değerlendirilmesi. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 1363-1376.

To Cite: Akcin, H. & Kose, R. T. (2023). Evaluation with Google Earth Engine Data Mining and WebGIS Application of Parameters Causing Change in Agricultural Lands. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 1363-1376.

Tarım Arazilerinde Değişime Neden Olan Parametrelerin Google Earth Engine Veri Madenciliği ve WebCBS Aplikasyonu ile Değerlendirilmesi

Hakan AKÇIN^{1*}, Rüveyda TERCAN KÖSE²

Öne Çıkanlar:

- GEE Sentinel-2 verileriyle bitkilerin yoğunlukları ve bitki sağlığı tespit edilmiştir.
- GEE ile tarım arazilerindeki bitki örtüsü, nem ve su içerikli değişimler değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler:

- Google Earth Engine (GEE)
- Tarım arazileri
- Sentinel-2
- TerraClimate
- Veri madenciliği ve WebCBS

ÖZET:

Tarım arazilerinin, değişen yapısının ve arazi yönetimi için sürdürülebilir modellerin geliştirilebilmesi amacıyla, zamansal olarak değişime neden olan parametrelerin belirlenmesi ve değerlendirilerek kullanılması gerekmektedir. Uzaktan algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS)'nin katkısıyla tarım arazileri için uygun modeller geliştirilebilmektedir. Bu çalışmada; tarım alanlarındaki değişimler, Orta Karadeniz bölümünde bulunan Çorum ilinin Merkez ilçesi sınırları içerisinde örnek bir alan seçilerek, Google Earth Engine platformu üzerinden uzaktan algılanmış verilerin veri madenciliği işlemleri ve webCBS uygulamaları için ilgili kodlar yazılarak elde edilen analizler incelenmiştir. Terra Climate uygulamasıyla aylık iklim ve iklimsel su dengesi verileriyle 2020 yılı için aylık iklim değişimi incelenirken, Sentinel-2 verileriyle de arazi sınıflandırması yapılarak bant kombinasyonları ile bitkilerin yoğunlukları, bitki sağlığı tespit edilmiştir. Bitkilerin değişimlerini belirlemek için 2021 yılına ait yedi farklı indeks değeri hesaplanmış, tarım arazilerindeki bitki örtüsü, nem ve su içerikli değişimler değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde; örnek alandaki tarım arazilerinde arazi ısı değişiminde en yüksek sıcaklığın 2021 Eylül ayında, en düşük sıcaklığın ise Şubat ayında gerçekleştiği, tarım arazilerindeki bitki örtüsünün 2021 Nisan, Mayıs, Haziran aylarında orta derece sağlıklı bitki yoğunluğuna sahip iken 2021 Ekim, Kasım, Aralık aylarında sağlıklı ve zayıf bitki yoğunluğuna sahip olduğu tespit edilmiştir. İklim verilerinin incelenmesinden, yağış değerlerinin bölgenin iklim özellikleri de göz önüne alındığında yaz aylarında oldukça düşük gösterdiği, kış aylarında da yükseldiği görülmüştür. Meteoroloji Genel Müdürlüğü 2021 yılı iklim raporuna göre 2020 yılı Türkiye geneli yer yüzeyi sıcaklık ortalaması 14.9°C iken, çalışma alanında bu sıcaklığın 19.01°C olarak ortalama değerin üzerinde seyrettiği belirlenmiştir.

Evaluation with Google Earth Engine Data Mining and WebGIS Application of Parameters Causing Change in Agricultural Lands

Highlights:

- Density of plants and plant health were determined with GEE Sentinel-2 data.
- Changes in vegetation, moisture and water content in agricultural lands were evaluated with GEE.

Keywords:

- Google Earth Engine,
- Farmland
- Sentinel-2
- TerraClimate
- Data mining & WebGIS

ABSTRACT:

In order to develop sustainable models for agricultural land, its changing structure and land management, it is necessary to determine and evaluate the parameters that cause temporal change and to use them. With the contribution of remote sensing (UA) and Geographic Information System (GIS), suitable models for agricultural lands can be developed. In this study, changes in agricultural areas, a sample area was selected within the borders of the Centre District of Çorum Province, located in the Central Black Sea Region, and the analyzes obtained by writing the relevant codes for data mining operations of remotely sensed data via Google Earth Engine platform and webGIS applications were examined. With the Terra Climate application, monthly climate and climatic water balance data and monthly climate change for 2020 were examined. Land classification was made with the Sentinel-2 data, and the densities and plant health of the plants were determined with the band combinations. To determine the changes in plants, seven different index values for 2021 were calculated; Changes in vegetation, moisture and water content in agricultural lands were evaluated. When the results obtained are examined; In the agricultural lands in the sample area, the highest temperature in the land heat exchange occurs in September and the lowest temperature is in 2021 February, the vegetation cover in the agricultural lands, while it has a moderately healthy plant density in 2021 April, May and June, it has been determined that it has unhealthy and weak plant density in 2021 October, November and December. From the examination of the climate data, it was seen that the precipitation values decreased considerably in the summer months and increased in the winter months, considering the climatic characteristics of the region. According to the 2021 climate report of the General Directorate of Meteorology, the average temperature of the ground surface in Turkey in 2020 was 14.9°C, while it was determined that this temperature was 19.01°C above the average value in the study area.

¹ Hakan AKÇIN (Orcid ID: 0000-0002-8245-0018), Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye

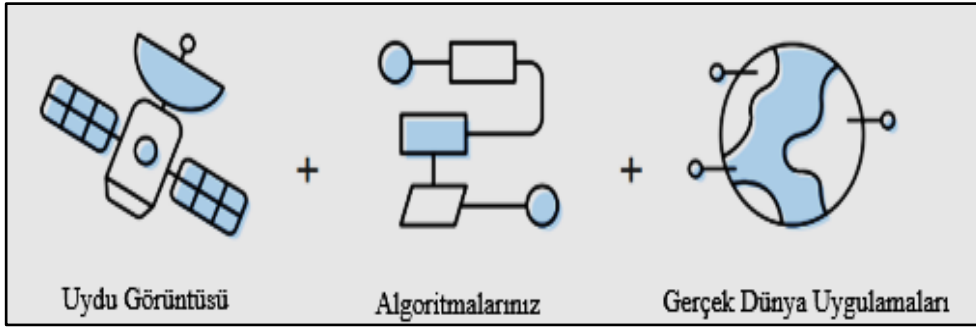
² Rüveyda TERCAN KÖSE (Orcid ID: 0000-0002-6536-2649), Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği ABD, Zonguldak, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Hakan AKÇIN, e-mail: akcinh@beun.edu.tr

Bu çalışma Rüveyda TERCAN KÖSE'nin Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir. Makale 12-14 Mayıs 2022 tarihinde XI. Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği (TUFUAB) Teknik Sempozyumu'nda sözlü olarak sunulmuştur.

GİRİŞ

Uydu görüntüleri; arazi kullanımı ve bitki örtüsü ile ilgili analizlerde başvurulan en önemli veri kaynaklarından biridir. Farklı nitelikteki uydular sayesinde çok farklı çözünürlükte ve içerikte görüntüler elde edilebilmektedir. Bununla birlikte; son yıllarda geliştirilen bulut teknolojileri ile uydu görüntülerinin depolanması ve işlenmesi de daha kolay hale getirilmiştir. Bu teknolojiler sayesinde istenilen veriler hızlı ve güvenilir şekilde elde edilip, analizler gerçekleştirilebilmektedir. Böylece elde ettiğimiz büyük boyuttaki verilerin kişisel bilgisayarlara indirilmesinin ve gereksiz depolama yapılmasının önüne geçilmiştir (Dereli, 2018). Bu gelişmelere paralel olarak büyük boyutlu uydu görüntüleri ve uydulardan elde edilen verileri birleştirerek araştırma yapabilme olanağını sunan Google Earth Engine (GEE) son yıllarda kullanıcılara büyük avantajlar sağlamaktadır. GEE; akademik, kar amacı gütmeyen, ticari ve kamu kuruluşlarındaki kullanıcılar için coğrafi veri kümelerinin bilimsel analizi ve görselleştirilmesi için bir platformdur (GEE FAQ, 2022). GEE, kırk yıllık Uzaktan Algılama (UA) verisi arşivinden oluşan büyük veri kümelerini küresel ölçekte veri madenciliği uygulamalarına açarak kullanılabilir hale getirmekte ve webCBS uygulamalarının yapılabilmesini sağlamaktadır. İçerisinde arazi yönetimi açısından çevre, iklim, arazi örtüsü, jeoloji, nüfus, hastalık, afet gibi çok sayıda veri kümesini barındırır. Sahip olduğu bu geniş veri kümesi ile Şekil 1'den de görüldüğü üzere özellikle gerçek dünyaya ilişkin değişim analizleri algoritma geliştirerek, hızlı ve etkili bir biçimde yapılabilmektedir.



Şekil 1. Google Earth Engine Çalışma Biçimi (GEE, 2022)

Yanlış arazi kullanımı sonucu; tarım, orman ve mera alanlarındaki erozyon, tahribat, verimlilik azalması veya kaybı, verimli tarım ve mera alanlarının amaç dışı kullanımı ve usulsüz faydalanmalar, hızlı nüfus artışı ve kentleşmenin getirdiği olumsuz etkiler gerçekleşen temel olgulardır. Arazi tahribatı sonucunda, sadece tarım arazileri ve meralar gibi üretim alanlarında değil aynı zamanda; orman, sulak alan, bozkır ve maki gibi doğal alanlarda da biyolojik, ekolojik ve ekonomik olarak verimlilik azalması veya kayıpların yaşandığı bilimsel araştırmalarla raporlanmaktadır (EMGM, 2019). Bu nedenle geleceğimiz açısından toprakların korunmasının ve sürdürülebilir kullanımının önemi her geçen gün artmaktadır.

Bu kapsamda mevcut verilere kolay bir şekilde ulaşılabilmesi, değişimin hızlı bir şekilde izlenebilmesi ve verilerin stratejik araştırmalarda etkili bir şekilde kullanılabilmesi açısından GEE üst düzey katkı sağlamaktadır (Yılmaz ve Ark., 2020). Gerçekleştirilen bu çalışmada amaç; tarım arazilerine ilişkin değişimi, geliştirilen algoritmalar ile yüksek doğrulukla sınıflandırma çalışmaları ve ek veriler kullanılarak analiz etmektir. Bu amaçla, Orta Karadeniz Bölgesinden belirlenen bir kısım tarım arazilerini kapsayan bölgenin sınıflandırma çalışması yapıp sonuçları değerlendirilmiştir. UA kapsamında kullanılan ve formülleştirilerek görüntü analizi gerçekleştirilmesine olanak sağlayan çok sayıda spektral indeks bulunmaktadır. Bu çalışmada; Sentinel-2 verileriyle 2021 yılı için Normalize

Edilmiş Fark Bitki İndeksi (NDVI), Yeşil alan Normalize Edilmiş Fark Bitki İndeksi GNDVI, Normalize Edilmiş Fark Nem İndeksi NDMI, Normalize Edilmiş Yanma Oranı İndeksi (NBRI), Normalize Edilmiş Fark Su İndeksi (NDWI), Normalize Edilmiş Fark Tuzluluk İndeksi (NDSI) ve Normalize Edilmiş Yeşillik İndeksi (NDGI) değerleri hesaplanarak arazilerdeki bitki örtüsü, nem ve su içerikli değişimlerin sonuçları analiz edilmiştir. Ayrıca, MODIS uydusunun MOD11A2 modülü kullanılarak çalışma alanının 2020 yılına ait arazi ısı değişimleri ve TerraClimate verileri kullanılarak 2020 yılı için iklimsel değişim incelenmiştir.

MATERYAL VE METOT

Google Earth Engine

GEE, bulut tabanlı coğrafi (jeo-uzamsal) veri işleme platformu olup tüm analizler çok kısa bir sürede gerçekleştirilebilmektedir. Google destekli platformda bulunan ve toplanan veriler herkesin erişimine açık olarak sunulmaktadır. Bu sistem; LANDSAT, MODIS, ASTER, Sentinel gibi uydulardan elde edilmiş çok sayıda görüntü içerisinde en kullanışlı olanını dolayısıyla; bulutsuz, pussuz, dumansız, gölgelerin vb. olmadığı mozaik görüntüleri kullanmaktadır. Ağaç, orman ve su alanları, arazi kullanımındaki değişiklikleri veya tarım alanlarının değişimini değerlendirmek için GEE'yi kullanabilmek mümkündür. Platform küresel ölçekte veri madenciliği yapma olanağı sağlayarak veri sunmakla kalmayıp aynı zamanda webCBS analizi yapmayı sağlayan oldukça güçlü araçlar içermektedir (Mirelva and Nagasawa, 2019). GEE platformu içerisinde son 40 yıla ait küresel ölçekli birçok veri bulundurmaktadır (Aghlmand ve ark. 2021).

GEE kataloğunda birçok uydunun görüntüsü ya da işlenmiş hazır verileri bulunmaktadır. Sahip olduğu kod editörüyle başka bir ortam kullanmaya gerek kalmadan, GEE ara yüzünde işlemler gerçekleştirilebilmektedir. Şekil 2'de GEE kod editörü çalışma biçimi gösterilmiştir.



Şekil 2. GEE Kod Editörü (GEE Code Editörü, 2022)

Kod editörü bölümü, coğrafi ve mekânsal verileri işleyişlerinin hızlı ve kolay bir şekilde geliştirilmesi amacıyla tasarlanmıştır. Bu bölümde kodların yazımı gerçekleştirilerek, istenilen analizler elde edilir. Bu kodların yazımında bazı ipuçları otomatik olarak verilmektedir. Kod

yazımında yapılan hatalar sistem aracılığıyla gösterilerek düzeltme işlemi yapmaya olanak sağlamaktadır.

Sentinel-2 ve MODIS verileri

ESA (European Space Agency)'nın altı farklı Sentinel uydu misyonu bulunmaktadır. Çalışmada bu misyonlardan Sentinel-2 (MSI)'nin görüntüleri kullanılmıştır. Sentinel-2 uyduları Sentinel-2 MSI A ve B olup, multispektral yüksek çözünürlüklü algılayıcılara sahip uydulardır. Bitki örtüsü, toprak ve sulak alanlar gibi arazi örtüsü analizlerinin yapılması amaçlanmıştır. Sentinel-2 misyonu ayrıca acil durum servisleri içinde bilgi aktarımı yapabilmektedir. SENTİNEL 2-A, 23 Haziran 2015 tarihinde, Sentinel 2-B ise 7 Mart 2017'de fırlatılmıştır. Sentinel-2 MSI uyduları, görünür bölge (RGB) ve yakın kızılötesi (NIR) bantlar da dahil olmak üzere 10m ile 60m arasında değişen konumsal çözünürlükle 13 spektral bant görüntüyü ticari amaç gütmeyen tüm kullanıcılara ücretsiz bir şekilde sunmaktadır (Suhet, 2013). Bu bağlamda, Landsat-8 uydusuna ek olarak arazi örtüsü değişimleri, ormancılık çalışmaları, çevresel ve iklimsel değişimler gibi birçok çalışmaya yardımcı olmaktadır.

Çalışmada diğer bir görüntü verisi olarak NASA tarafından geliştirilen MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) sensörü görüntüleri kullanılmıştır. MODIS sensörü 1999'da Terra uydusu üzerinden 2002 yılında da Aqua uydusu üzerinden görüntüler almaya başlamıştır. Bu görüntüler sayesinde dünya yüzeyinde meydana gelen değişimleri gözlemlemek mümkün hale gelmiştir. Terra uydusunun dünya etrafındaki yörüngesi sabahları kuzeyden güneye, Aqua uydusunun ise öğleden sonra güneyden kuzeye doğrudur. Her iki uydu 0.4µm ile 14.4µm arasındaki dalga boyunda 36 spektral bant ve 2330km görüş alanı genişliğine sahiptir. 250m, 500m, 1000m çözünürlüklü veri toplarlar. Bir veya iki günde Dünya üzerindeki görüntülemeleri tamamlarlar. MODIS verileri kullanılarak yeryüzü ve atmosferdeki parçacıklar ölçülmekte, arazi örtüsü/arazi kullanımı, çevresel ve iklimsel birçok parametre ile zaman serisi analizleri gerçekleştirilebilmektedir (MODIS, 2022).

IDAHO-TerraClimate verileri

TerraClimate, küresel karasal yüzeyler için aylık iklim ve iklimsel su dengesi veri kümesidir. IDAHO üniversitesinin veri tabanında 1958-2021 arası aylık iklim ve iklimsel su dengesinin yüksek çözünürlüklü verileri (Yağış, sıcaklık, kuraklık, gerçek evapotranspirasyon vb.) bulunmaktadır Bu veri tabanı GEE aplikasyonu ile webCBS uygulamalarına açık hale getirilmiştir (Abatzoglou ve ark., 2018). Çalışmada GEE aplikasyonu ile 2021 yılı Sentinel-2 görüntü setine en yakın tarihli IDAHO üniversitesi 2020 yılı TerraClimate iklim veri setine ait uygulama gerçekleştirilmiştir.

Rastgele orman (Random Forest-RF) algoritması ile görüntülerin sınıflandırılması

RF; topluluk öğrenme algoritması olup, birden fazla karar ağacını oluşturur ve daha doğru, istikrarlı bir tahmin elde etmek için onları birleştirir ve nihai kestirimi yapılarak görüntüdeki kararsız piksellerin hangi sınıfa dahil olacağını belirler. Çalışmada GEE platformu üzerinden webCBS uygulaması olarak görüntü sınıflandırması yapılırken, tarım arazilerini kapsayan alandaki farklı sınıflara ait (yol sınıfı, tarımsal alan sınıfı, ekilmeyen boş alanlar sınıfı vb.) birden çok karar ağacı üzerinden, her bir karar ağacı farklı bir gözlem örneği üzerinde eğitilerek çeşitli modeller üretilmiş, sınıflandırma oluşumu sağlanmıştır. RF'nin yüksek sınıflandırma doğruluğuna sahip olduğu ve verilerdeki aykırı değerleri iyi tolere ettiği yapılan bir çok bilimsel çalışmada da gösterilmiştir (Liu ve ark., 2012) ve bu nedenle GEE aplikasyonu ile gerçekleştirilebilen bir çok makina öğrenme algoritması içerisinde bu yöntemin kullanılması benimsenmiştir.

Sınılandırılan görüntüler için doğruluk analizinin yapılması UA'nın temel kuralıdır. Sınılandırma işleminde, raster görüntüdeki piksellerin yanlış sınıfa atanmasından dolayı hatalar oluşabilmektedir. GEE, arşivinde aynı bölge için bulunan ve uygulama bölgesi için kesin bilgi sağlayan kaynak veri ile sınılandırılan görüntü istatistiksel olarak karşılaştırılarak düzensizlik matrisi oluşturulmak suretiyle genel doğruluk oranını belirlenmektedir. %60'ın üzerindeki oransal değerler sınılandırmanın doğru yapıldığını ifade eder. Uygulamada ekili alanlar, yol ve bina, ekili olmayan alanlar ve boş alanlar için seçilen eğitim alanları sınılandırılacak görüntü üzerinde seçilerek, bu alanlar dışında kalan test alanlarına ilişkin piksel değerleri, referans kabul edilen veri ile karşılaştırılmış ve her sınıfın sınılandırma doğruluğu da ayrıca belirlenmiştir.

GEE platformu üzerinden gerçekleştirilen bu uygulamada, sınılandırma için ilk olarak 2020 yılına ait Sentinel-2 uydu görüntüsü kullanılarak filtreleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Sınılandırma için kullanılacak eğitim ve test noktalarının bölgeye homojen dağılım göstermesine dikkat edilmiştir. Ayrıca, kullanılacak bantların (B2, B3, B4, B8, NDWI, NDVI) seçimi de gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada Random Forest algoritması kullanılarak sınılandırma işlemi tamamlanmıştır.

Uygulama doğruluklarını kontrol edebilmek için ise GEE veri tabanından alınan referans verileri kullanılmıştır. Sınılandırılan görüntüden 25 bant kullanılarak, filtreleme amaçlı ilk sınılandırma için 2230 adet piksel, ikinci ve nihai sınılandırma için 1732 adet piksel kullanılmasıyla GEE üzerinden hata matrisi diğer bir ifade ile düzensizlik matrisi oluşturulmuştur. Hata analizinde sınılandırılmış piksel ile referans değeri arasında farklar alınarak karşılaştırma yapılmıştır. Buna göre '0' değeri alan noktalar doğru, '0' dışındaki değerler ise yanlış sınılandırılmış piksel sayısı olarak düzensizlik matrisinde yer almıştır. Bu matrisin köşegen terimleri toplamı doğru sınılandırılmış pikseller toplamı olup, toplam değer 1732 test verisine oranı ise sınılandırmanın genel doğruluk değeri olarak GEE platformundan elde edilmiştir.

Spektral indeksler ile görüntü zenginleştirme analizleri

Uzaktan Algılanmış piksel tabanlı raster görüntülerde farklı bantlarda algılanmaya bağlı olarak her bir pikselin yansıma değerine göre görüntü oluşumu söz konusudur. Ancak bu görüntülerin bilgi içeriğinin artırılabilmesi için zenginleştirilmesi gereklidir. Görüntü zenginleştirmede amaç, dijital görüntü özelliklerinin birbirinden ayırt edilebilirlik derecesi ile orijinal görüntüden görsel olarak elde edilebilecek bilginin miktarını arttırmaktır. Bu zenginleştirme işlemlerinden biri de matematiksel fonksiyonlar kullanılarak farklı banttaki görüntülere spektral dönüşümler uygulamaktır. Bu sayede kaynak görüntünün spektral bilgi içeriği değiştirilmiş olur. Uygulanan dönüşüm işlemiyle görüntüye yeni bir bilgi eklenmemekte ancak var olan bilgi, içerik açısından daha zengin olacak şekilde görüntülenmekte ve bilgi sağlanmaktadır.

Bitkiler üzerine gelen elektromanyetik dalgalar, bitkiden yansiyarak uydu sensörlerinde farklı dalga boylarında algılanırlar. Vejetasyon spektral belirteci olarak adlandırılan bu yansıma değerleri sağlıklı bir bitkide elektromanyetik dalgaların mavi ve kırmızı bölgelerinde çok düşük, yakın kızılötesi bölgesinde ise çok yüksektir. Bitki strese girdiğinde ya da öldüğünde ise yakın kızıltesi bölgedeki yansıma değerleri düşer. Stres nedenlerine bağlı olarak ilgili belirtiler veya bitkinin ölmesi, spektral yansıma olarak arazi uydu görüntülerine zenginleştirme işlemleri uygulanarak tespit edilebilmektedir. Bitkilerde stres ve ölüme neden olan faktörlerden önemli olanlarından birkaçı; susuzluğa bağlı kuraklık, tuzluluk, arazi yüzey sıcaklığındaki artış ve azalışa bağlı don etkisi ile aşırı kimyasallara bağlı toksit etkidir (Talebpour, 2016).

Ele alınan bu çalışmada Sentinel-2 A ve B görüntüleri için; Normalize Edilmiş Fark Bitki İndeksi (NDVI), Yeşil alan Normalize Edilmiş Fark Bitki İndeksi GNDVI, Normalize Edilmiş Fark

Nem İndeksi NDMI, Normalize Edilmiş Yanma Oranı İndeksi (NBRI), Normalize Edilmiş Fark Su İndeksi (NDWI), Normalize Edilmiş Fark Tuzluluk İndeksi (NDSI) ve Normalize Edilmiş Yeşillik İndeksi (NDGI) değerleri ile uygulama bölgesindeki tarım arazileri için zenginleştirilmiş bilgi içeriği elde edilmiştir.

Bu çalışmada öncelikle bitki vejetasyonları incelenerek bitki örtüsü yoğunluklarında ve sağlıklı bitki yapısındaki değişimlerin gözlenmesi amacıyla yakın kızılötesi yansımaya bağlı olarak zenginleştirme işleminde spektral bitki indeksleri olan NDVI, GNDVI, NDWI ve NDSI kullanılmıştır. NDVI verileri nemli ve kurak koşulları daha belirgin bir şekilde yansıtmakta olup, oransal Eşitlik 1’de (Pettorelli ve ark., 2005; Çelik ve Karabulut, 2014), GNDVI oransal eşitliği ise Eşitlik 2’de verilmiştir. GNDVI’da kırmızı yerine yeşil spektrum ölçülür. Bu indeks, bitkilerde klorofil değişimine NDVI’den daha duyarlıdır ve bitkilerin yeşillenme aşaması olan erken ve orta büyüme aşamalarındaki ürün gelişimi için kullanılır. Görüntü haritası üzerinde bitkiler kırmızıdan yeşile doğru sınıflandırılır.

$$NDVI = (NIR - Kırmızı) / (NIR + Kırmızı) \quad (1)$$

NIR= Near Infrared Reflectance (Yakın Kızılötesi Yansıma)

$$GNDVI = (NIR - green) / (NIR + green) \quad (2)$$

Su alanlarının tespitinde ve değişiminde, kayıp su alanlarının hesabı için NDWI değerleri büyük öneme sahiptir. Su alanı belirlemek için bir spektral indeks olan NDWI kullanılması durumunda bu indeks için üç sınır değer verilmektedir. Sıfırdan küçük değerler su olmayan alanlar olarak sınıflandırılırken, 0 – 0,2 arasındaki değerler sığ su alanlar olarak ve 0,2’den büyük değerler ise su içeren alanlar olarak sınıflandırılmaktadır (Çağlayan ve ark. 2018). Normalleştirilmiş fark su indeksi oranı aşağıda Eşitlik 3’te verilmiştir (McFeeters, 1996; Çağlayan ve ark., 2018).

$$NDWI = (YEŞİL - NIR) / (YEŞİL + NIR) \quad (3)$$

NDGI, bitki örtüsü gelişiminin küçük artış süreçleri sırasında pozitif ve negatif değerleri nicel olarak yakalayan bir indeks olarak tanımlanmaktadır. NDGI; Sentinel-2 görüntülerindeki yeşil, kırmızı ve yakın kızılötesi (NIR) bantlarının yansımalarını kullanarak t1 ve t2 zamanı arasında bitkinin yeşillik değişim bileşenlerine göre normalleştirilmiş değerini -1 ile +1 değer aralığında hesaplayan ve bitkideki düzenli değişimi ortaya koyan bir indekstir (Nedkov, 2017). Ayrıca bu indeks NDVI deki kar ve don etkisini ortadan kaldıran bir indekstir. NBRI analizi ise, yanmış alanları vurgulamak, ekim yapılmamış çıplak arazileri belirlemek ya da son zamanlarda anız yakılmış alanları belirlemek için kullanılmakta ve yanma şiddetini tahmin etmek için uydu görüntülerinin yakın kızıl ötesi (NIR) ve kısa dalga kızılötesi (SWIR) spektral bantlarını kullanılmaktadır. NBRI değeri yüksek bölgelerde sağlıklı bitki örtüsünden söz edebilirken düşük değerler çıplak arazi, sağlıklı bitki örtüsü ya da son zamanlarda yakılmış bir tarım arazisini ifade eder. Normalize Edilmiş Yanma Oranı İndeksi (NBRI) yakın ve kısa dalga kızılötesi spektral bantlar kullanılarak eşitlik 4 ile elde edilmektedir.

$$NBRI = (NIR - SWIR2) / ((NIR + SWIR2)) \quad (4)$$

NDMI, diğer bitki örtüsü indeksleri ile birlikte kullanılan ve bitki nemi ile ilişkili olan sayısal bir göstergedir (Hardisky ve ark., 1983). NDMI, bitki örtüsü alanlarındaki nem değişimlerini belirlemek için NIR ve SWIR bantları kullanılarak kuraklık takibi ve bitki örtüsü alanlarında nemlilik değişimi tespit edilebilmektedir (Sarp ve ark., 2018).

NDSI; tarım arazilerindeki tuzlu alanları ortaya çıkarmak ve sağlıklı bitki örtüsü ile tuzlu alanlar arasındaki ilişkileri ortaya çıkarmak amacıyla geliştirilmiştir. Düşük indeks değeri tarım arazilerindeki bitkilerin ya sağlıklı olduğunu ya da bu alanlarda bitki yetiştirme dönemlerinde erken evre dönemini göstermektedir (Sönmez ve ark., 2015). Normalize Edilmiş Fark Tuzluluk İndeksi oranı aşağıda eşitlik

5’de verilmiştir. Normalize Edilmiş Fark Nem İndeksi NDMI de benzer şekilde yakın ve kısa dalga kızılötesi spektral bantlar kullanılarak eşitlik 6 ile elde edilmektedir.

$$NDSI = (Mavi - NIR) / (Kırmızı + NIR) \quad (5)$$

$$NDMI = (NIR - SWIR1) / (NIR + SWIR1) \quad (6)$$

İnceleme alanı

İnceleme alanı, Türkiye’nin Orta Karadeniz bölümünde bulunan Çorum ili, Merkez ilçesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Yüzölçümü 12.820km² dir. Enlem ve boylam değerlerine göre ise; 39 derece 54 dk. 20 sn. kuzey enlemleri ile 34 derece 04 dk. 28 sn. doğu boylamları arasında yer almaktadır. Çalışma alanı, bu enlem ve boylam değerleri arasında kalan tarım arazilerini içermektedir. Bölge; Karadeniz ikliminden İç Anadolu iklimine geçiş yeri üzerinde bulunmakta, genel olarak yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve yağışlıdır. Kuzeyden güneye doğru gidildikçe iklim sertleşir (Anonim, 2019).



Şekil 3. Çalışma Alanı ve GEE’de Kullanılan Görüntü

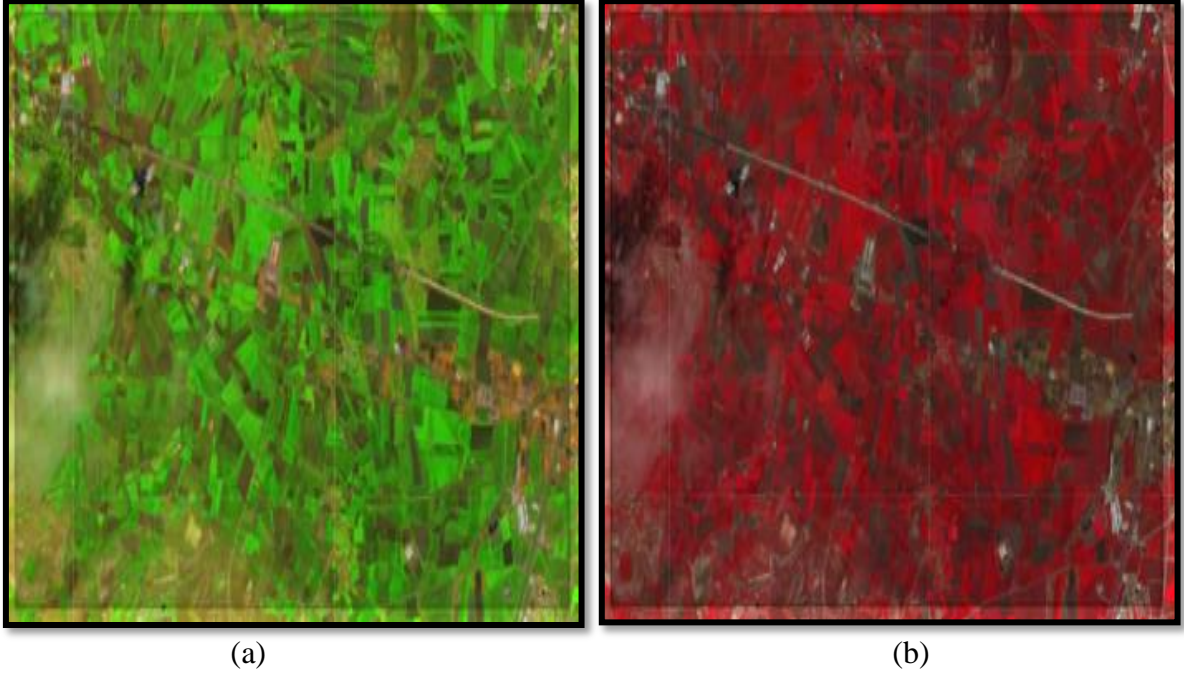
İnceleme alanının coğrafi konumu ve Sentinel-2 görüntüsü Şekil 3’te verilmiştir. 25 Band uydu görüntüsü üzerinde 2020 yılı için sınıflandırma çalışması yapılarak bant kombinasyonları ile bitkilerin yoğunlukları ve bitki sağlığı tespit edilmiştir. Bitkilerin değişimlerini belirlemek için 2021 yılına ait yedi farklı indeks değeri hesaplanmış, tarım arazilerindeki bitki örtüsü, nem ve su içerikli değişimler değerlendirilmiştir. İkinci aşamada, NASA tarafından geliştirilmiş Terra ve Aqua uydularına sahip spektrometrik MODIS görüntüleri analiz edilmiştir. MOD11A2 uydusu görüntüleri ile çalışma alanının 2020 yılına ait arazi ısı değişimleri incelenmiştir. Üçüncü ve son aşamada, 2020 yılına ait TerraClimate iklim verileri değerlendirilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

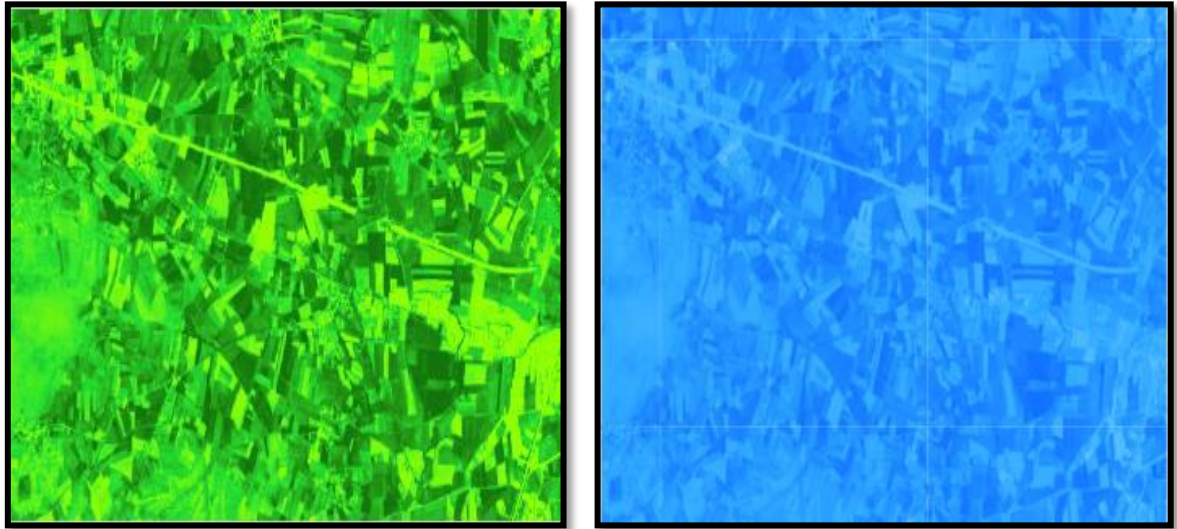
Sentinel-2 A ve B bant kombinasyonları ile tarım arazilerine ilişkin özelliklerin daha iyi anlaşılması sağlanmıştır. Tarım bantı kombinasyonunda mahsullerin sağlığını izlemek için SWIR-1 (B11), yakın kızılötesi (B8) ve mavi (B2) bantları kullanılmıştır. Renkli kızılötesi bant kombinasyonunda ise sağlıklı ve sağlıklı bitki örtüsünün vurgulanması sağlanmış ve yakın kızılötesi (B8) bantı kullanarak klorofil içeriği incelenmiştir. Tarım bantı kombinasyonu ve renkli kızılötesi bant kombinasyonu ile elde edilen görüntüler Şekil 4’te gösterilmiştir. Bu kombinasyonlarda yoğun bitki örtüleri koyu renkler ile vurgulanmaktadır.

Şekil 5’te, spektral dönüştürme işlemleri ile NDVI ve NDWI piksel değerlerine göre zenginleştirilerek oluşturulmuş inceleme bölgesinin görüntüsü görülmektedir. Bitki ve su alanı

yoğunlukları açık renkten koyu renge doğru artmaktadır. Görüntü içerikleri bölgede bitki yoğunlunun azaldığını ve toprak su tutma kapasitesinin de düşük olduğunu göstermektedir.



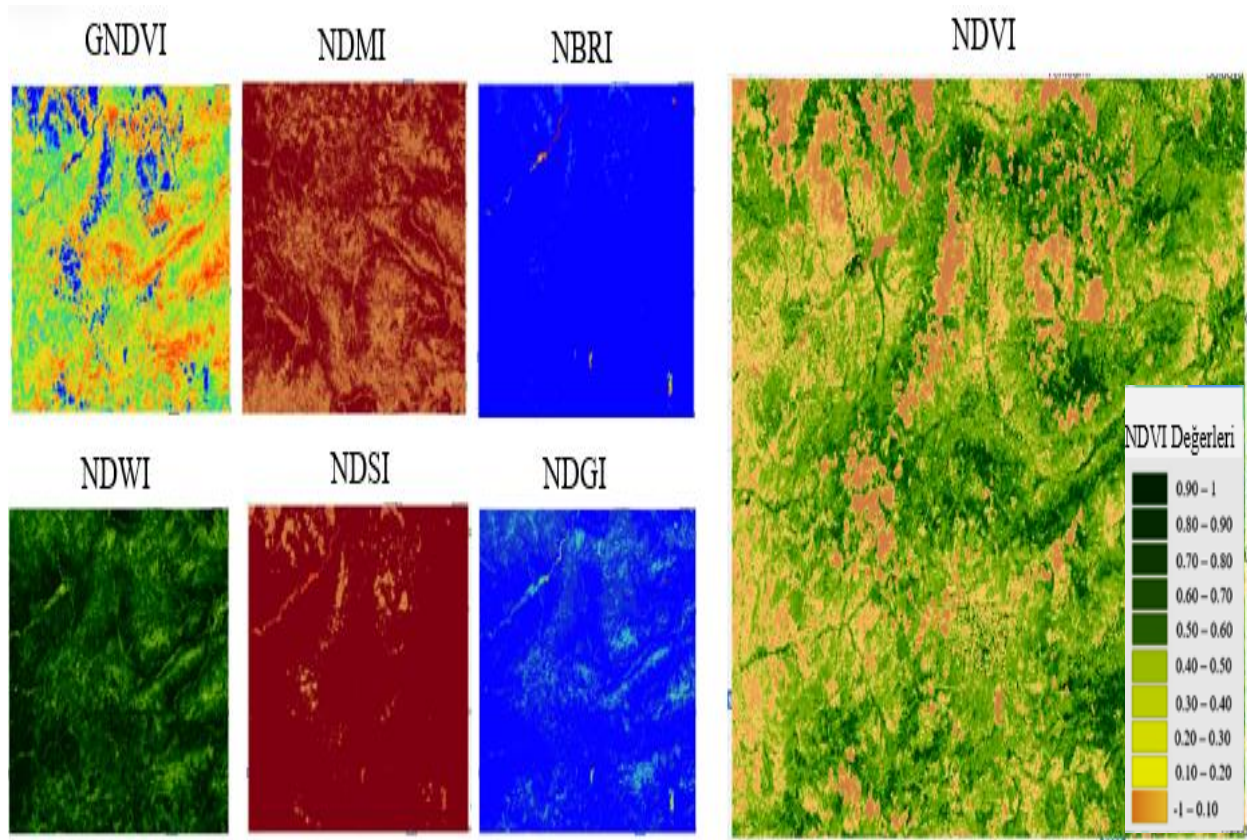
Şekil 4. Sentinel-2 Bant Kombinasyonları Elde Edilen Görüntüler (a) Tarım Bandı Kombinasyonu, (b) Renkli Kızılötesi Bant Kombinasyonu



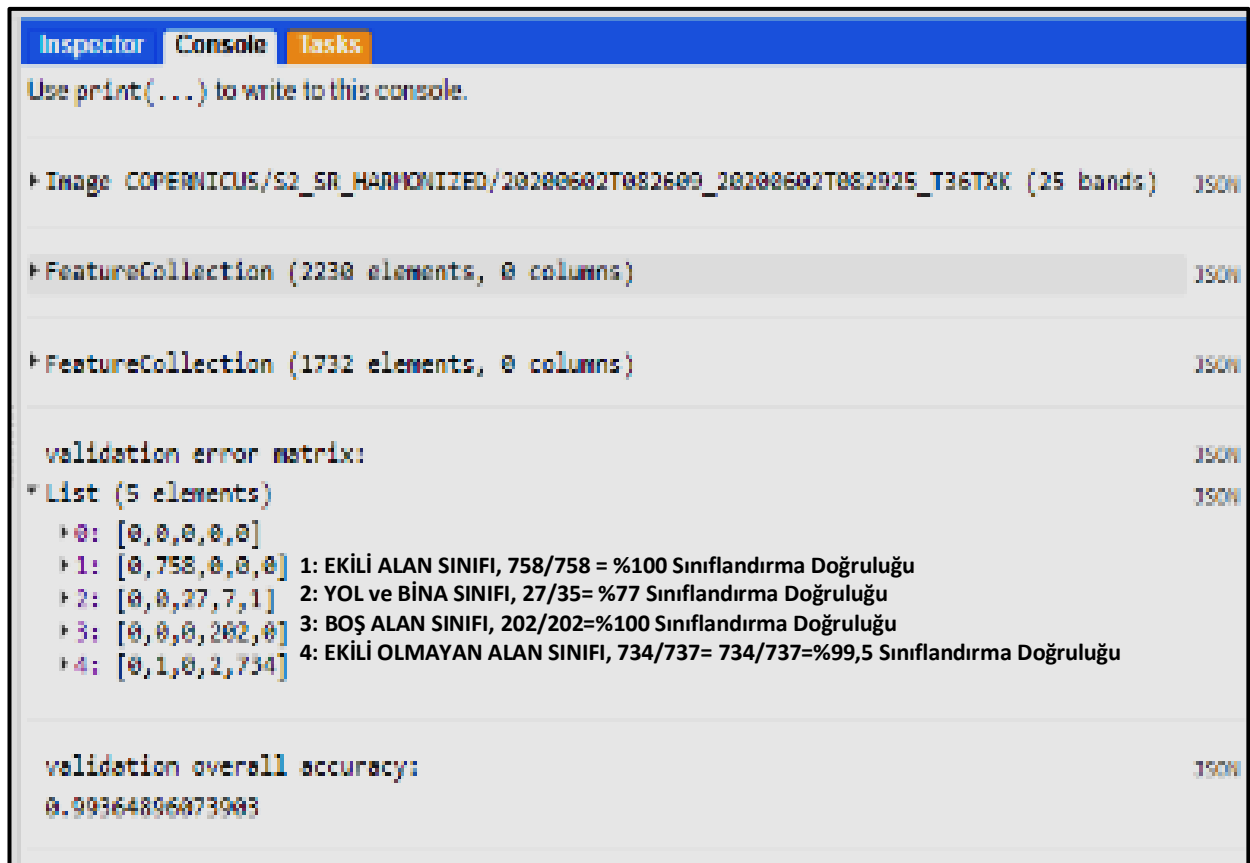
Şekil 5. Çalışma Alanının (a) NDVI, (b) NDWI Görüntüsü

İkinci çalışmada Sentinel-2 A ve B verileri kullanılarak 2021 yılına ait uydu görüntüsü üzerinden bitki indeksleri hesaplanmıştır. 2021 yılına ait NDGI, NDVI, GNDVI, NDMI, NDWI, NDSI ve NBRI indekslerinin aylara göre elde edilen değişim değerleri Çizelge 1’de, bitki indeks haritaları ise Şekil 6’da gösterilmiştir.

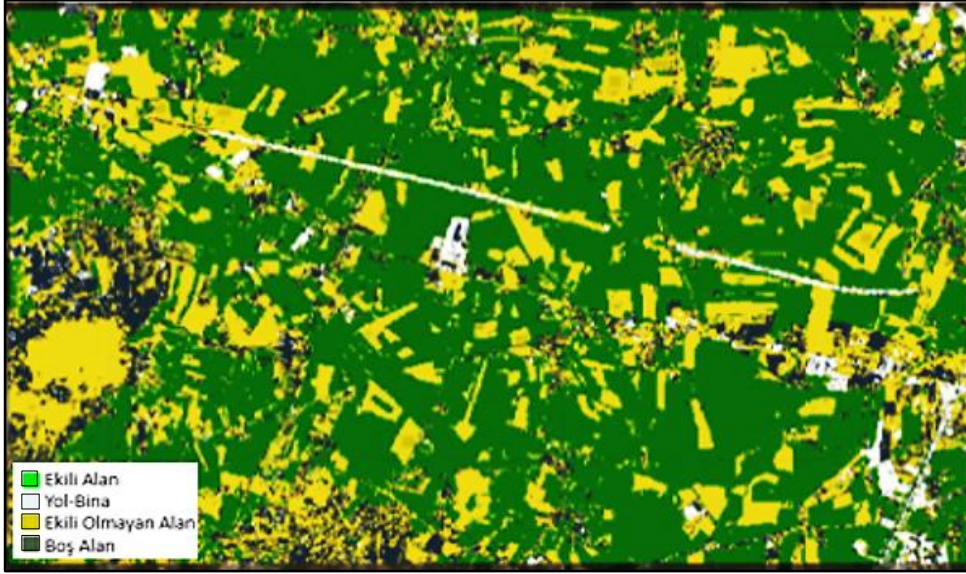
Bölgenin arazi sınılandırma çalışması için yapılan uygulamada filtrasyondan sonraki nihai sınıflamada %99 genel doğrulukla sınılandırma değerlendirme yapılmıştır. Sınılandırma doğruluğu için çıktı düzensizlik matrisi Şekil 7’de, arazi sınılandırma haritası Şekil 8’de gösterilmiştir. Düzensizlik matrisinde doğru sınılandırılan piksel sayısı, matrisin köşegen değerlerinin toplamı olup $758+27+202+734=1721$ pikseldir ve sınılandırmanın genel doğruluğu $1721/1732= \%99,36$ olarak bulunmuştur. Bu değer sınılandırma haritasının çok yüksek doğrulukla elde edildiğini göstermektedir



Şekil 6. İnceleme Bölgesindeki Tarım Arazileri İçin Bitki İndeks Haritaları



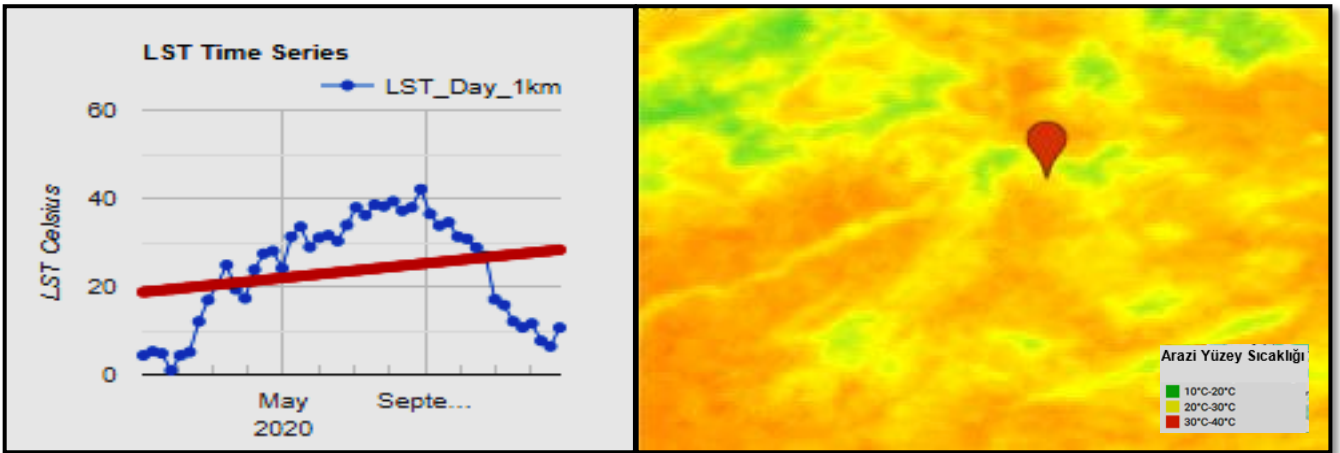
Şekil 7. GEE Uygulaması Hata Matrisi Ve Doğruluk Değerleri



Şekil 8. Bölgenin Arazi Sınıflandırma Haritası

MOD11A2 uydusu görüntüleri ile çalışma alanının 2020 yılına ait arazi ısı değişimlerinin incelenmesi sonucu elde edilen zaman serisi grafiği Şekil 9'da verilmiştir. Çalışmada en büyük sıcaklığın Eylül ayında, en düşük sıcaklığın ise Şubat ayında gerçekleştiği saptanmıştır.

2020 yılına ait TerraClimate verileriyle yapılan çalışmada da bölgenin iklim verileri değerlendirilmiştir. TerraClimate, küresel karasal yüzeyler için aylık iklim ve iklimsel su dengesi veri setidir. WorldClim veri kümesinden yüksek uzamsal çözünürlüklü klimatolojik normalleri, daha kaba uzamsal çözünürlükle, ancak zamana göre değişen verilerle birleştiren iklimsel destekli enterpolasyon kullanır. Uygulamadan elde edilen bulgular Çizelge 2'de gösterilmiştir.

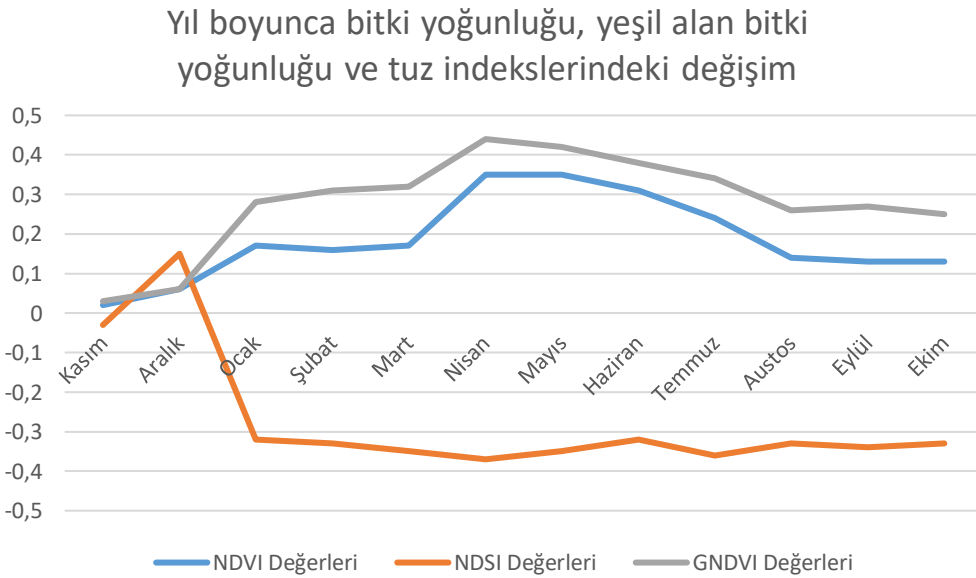


Şekil 9. Bölgenin 2020 yılı Arazi Yüzeyi Sıcaklık Değişimi Zaman Serisi Grafiği ve Haritası

Çalışma bölgesi alanında bitki örtüsü yoğunluğunu oluşturan tarımsal ürünler buğday, nohut ve soğan olup büyük çoğunluğu buğday tarlalarıdır (Anonim, 2022). GEE ile inceleme alanında; tarımsal nitelikli arazilerde belirtilen tarımsal ürünlerin bitki örtüsü yoğunluğu, bitki sağlığı, arazi ısı değişimi ve iklimsel özelliklerin araştırıldığı bu çalışmada elde edilen bulgular şu şekilde değerlendirilmiştir:

- Sentinel-2'nin sınıflandırma çalışmaları sonucu elde edilen görüntüden, tarım arazileri içerisinde ekim yapılmayan alanlarda artış olduğu belirlenmiştir.
- NDGI indeks değerleri analiz edildiğinde, bitki örtüsü gelişimi için indeksin negatif değerlerde ve bitki gelişiminin düşük seviyede olduğu görülmektedir.

- NDGI indeks değerleri analiz edildiğinde, bitki örtüsü gelişimi için indeksin negatif değerlerde ve bitki gelişiminin düşük seviyede olduğu görülmektedir.
- NBRI analizi ile bölgenin NBRI değerinin yıl boyu çok düşük değerlere sahip olduğu, bunun çıplak arazi varlığının artması ya da sağlıklı bitki örtüsüne sahip tarım arazilerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.
- NDMI analizi sonucu, bitki örtüsü alanlarındaki nem değişimlerini belirlemek için NIR ve SWIR bantları kullanıldığında düşük nem değişimi tespit edilmiştir. Değerler yıl boyunca tarımsal alanlardaki toprak neminin düşük seviyelerde olduğunu göstermektedir.
- Buğday, Nohut ve soğanın özellikle fide devresinde tuza karşı daha duyarlı bitkiler olduğu bilimsel araştırmalar ile gösterilmiştir (Bayraklı, 1998). Bu tür bitkiler için tuzluluğun etkisini 14 ile 16 hafta arasında gösterdiği ve bitkide stres oluşturduğu ve hatta bitkinin ölmesine yol açtığı belirtilmektedir (Sönmez ve ark., 2015). İnceleme bölgesi için yapılan araştırmada, tuz oranının en az olduğu Kasım ve Aralık aylarında ekimi yapılan buğdayın ilk 16 hafta olan Nisan'a kadar bitki yoğunluğu ve yeşillenmede artışla beraber tuz indeks değeri olan NDSI değerlerinde de düşüş dolayısıyla tuz oranlarında artış belirlenmiştir (Çizelge 1 ve Şekil 10). Bu durumun, bölgedeki tarım arazilerindeki bitkilerin 2021 Mayıs ayına kadar düşük seviyede yoğunluk artışına neden olduğu ve 2021 Mayıs sonrasında da yoğunluğunda azalma yarattığı görülmüş olup, bunun stres kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca 2021 Ocak, Şubat ve Mart aylarında bitki yeşillik indeks değerlerinin ve bitki yoğunluk indeks değerlerinin oldukça düşük olması, bitkilerin sağlıklı olduğunu ya da bu alanlarda bitki yetiştirme dönemlerinde bitkinin erken evre dönemini göstermektedir.



Şekil 10. İnceleme Bölgesindeki NDVI, GNDVI ve NDSI Değerlerinin 2021 Yılı İçin Karşılaştırma Grafiği

- NDWI analizi sonuçları, bölgedeki tarım arazilerinin yıl boyu toprak su tutma kapasitesinin düşük olduğunu, sadece Aralık ayında su tutma seviyesinin bir miktar yükseldiğini göstermektedir. NDVI değerleri yıl içerisinde çok sapma göstermemekle beraber sifıra yakın değerler göstermesi, bölgede yeşil alan varlığının oldukça az olduğunu, mevcut olanların da sağlıklı ve zayıf olduğunu göstermektedir. Bölgenin NDVI değerleri buğday bitkisinin büyüme evresinde 2021 Nisan, Mayıs, Haziran aylarında bir miktar yükselirken, 2021 Ekim, Kasım, Aralık aylarında düşüş göstermektedir.

• Arazi yüzey sıcaklık değişimleri incelendiğinde, 2021 Nisan ayından 2021 Eylül'e kadar arazi yüzey sıcaklığında artış görülerek 2021 Eylül'de 40°C üzerinde pik yaptığı ve en düşük arazi yüzey sıcaklık değerinin belirlendiği 2021 Şubat ayına kadar da azalışta olduğu görülmektedir.

• Çalışma bölgesindeki NDWI spektral indeks analizinden elde edilen bulgular zemin su içeriğinin oldukça düşük olduğunu göstermektedir. Buna paralel olarak Terra Climate iklim verileri de yağış değerlerinin, bölgenin iklim özellikleri de göz önüne alındığında, yaz aylarında oldukça düşük, kış aylarında ise yüksek olduğunu göstermektedir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü 2021 yılı iklim raporuna göre 2020 yılı Türkiye geneli sıcaklık ortalaması 14.9°C iken (Anonim, 2020), çalışma alanında ortalama sıcaklık 19.01°C olarak saptanmıştır.

Çizelge 1. İnceleme Bölgesinin 2021 Yılı İçin Elde Edilen Bitki Endeksi Değerleri

2021	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
NDGI (Normalize Edilmiş Yeşillik İndeksi)	-0.11	-0.16	-0.15	-0.11	-0.10	-0.10	-0.11	-0.12	-0.15	-0.12	-0.02	0
GNDVI (Yeşil alan Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi)	0.28	0.31	0.32	0.44	0.42	0.38	0.34	0.26	0.27	0.25	0.03	0.06
NDMI (Normalize Edilmiş Fark Nem İndeksi)	-0.05	-0.02	-0.03	0.08	0.10	0.06	-0.02	-0.10	-0.10	-0.10	0	0.2
NDWI (Normalize Edilmiş Fark Su İndeksi)	0.08	0.05	0.04	0.20	0.22	0.19	0.11	-0.01	0.01	0	0.06	0.23
NDSI (Normalize Edilmiş Fark Tuzluluk İndeksi)	-0.32	-0.33	-0.35	-0.37	-0.35	-0.32	-0.36	-0.33	-0.34	-0.33	-0.03	0.15
NBRI (Normalize Edilmiş Yanma Oranı İndeksi)	-0.28	-0.31	-0.32	-0.44	-0.42	-0.38	-0.34	-0.26	-0.27	-0.25	-0.03	-0.06
NDVI (Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi)	0.17	0.16	0.17	0.35	0.35	0.31	0.24	0.14	0.13	0.13	0.02	0.06

Çizelge 2. İnceleme alanının 2020 yılı Terra Climate iklim analizi değerleri

2020	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Gerçek Evapotranspirasyon Su	10.50	34.10	51.50	43.00	50.20	66.40	5.90	3.60	6.40	14.50	9.60	18.00
Palmer Endeksi	0.00	0.00	18.00	48.00	77.60	86.50	191.40	170.70	123.80	69.40	25.60	1.70
Potansiyel Evapotranspirasyon	-2.26	-2.17	-2.93	-3.93	-4.61	-3.89	-4.21	-4.44	-4.74	-5.25	-5.63	-6.38
Yağış Akış	10.5	34.1	69.5	91.0	127.8	152.9	197.3	174.3	130.2	83.9	35.2	19.7
Nem	39	53	21	22	45	66	4	2	5	14	9	19
Radyasyon Yüzeysel Sulu Kar	1	5	1	1	2	3	0	0	0	1	1	1
En Yüksek Sıcaklık	54.60	79.80	48.90	26.50	19.00	15.00	12.40	10.60	9.30	8.30	7.50	7.30
En düşük Sıcaklık	67.6	102.5	151.7	223.7	258.7	299.4	333.6	305.2	225.9	171.3	102.2	75.2
Buhar Basıncı	12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rüzgâr Hızı	5.0	8.5	14.5	16.2	23.0	27.0	31.0	29.8	29.2	23.8	11.5	8.6
	-3	-1.2	2.5	2.9	8.8	11.8	14.7	13.2	13.2	10.0	0.5	1.1
	0.48	0.50	0.60	0.76	1.02	1.27	1.42	1.39	1.16	0.92	0.69	0.58
	1.5	2.3	2.4	2.5	2.2	2.0	2.8	2.5	2.2	1.6	1.4	1.0

SONUÇ

Her geçen gün artan nüfus, tarımsal ürünlere ve içilebilir su kaynaklarına olan ihtiyaçların artmasına neden olmakta ve dünya üzerinde dengesiz arazi kullanım değişimleri meydana gelmekte, özellikle tarım alanlarının kontrolsüzce tahrip olmasına neden olmaktadır. Meydana gelen bu değişimlerin belirlenebilmesi ve gözlemlenebilmesi UA ve CBS'nin önemini ortaya çıkarmıştır. UA verilerinin CBS ile analiz edilebilmesiyle, arazi yönetimi için gerekli olan büyük alanların stratejik planlamaların yapılması olanaklı hale gelmiştir. Bu alanda GEE, yoğun verilere dayalı analizlerle arazi yönetimi açısından üst düzey performans ortaya koymaktadır. UA'ya yönelik bant kombinasyonlarının sınıflandırılması ve farklı indekslerde görüntüler ve haritalar üretilebilmesi GEE'nin güçlü yanısıdır. GEE, bulut teknolojisinin kullanıldığı güçlü veri tabanı sayesinde araştırmacılara hızlı ve güvenilir birçok veriyi sunmaktadır. Aynı zamanda veri madenciliği ve webCBS için kod bloklarının yazabileceği bir platform da sunmaktadır. Ayrıca, arazi kullanım planlamalarına altlık oluşturan geçmişten günümüze değişimin tespit edilmesi ile sürdürülebilir arazi kullanım planlamalarına önemli katkılar sağlamaktadır.

Orta Karadeniz Bölgesinde belirlenen inceleme alanı için veri madenciliği ile elde edilen görüntüler ve sayısal verilerin analizine yönelik GEE uygulamasının, tarım arazilerindeki değişimin belirlenmesi amacıyla uygun olarak makro düzeyde arazi yönetimine katkı sağlayabileceği gösterilmiştir. Uygulamada, ekim yapılmayan tarım arazilerinde artış olduğu belirlenmiştir. Bölgede arazi yüzey sıcaklık değerinin 40°C 'yi aştığı saptanmıştır. Araştırma sonucu belirlenen indeks parametreleri bitki yoğunluğunun, yeşillenmenin ve bitki neminin ilkbaharda bir miktar yükselirken, sonbaharda düşüş olduğunu göstermektedir. Bu durum bölgedeki bitki örtüsü yoğunluğunun sağlıklı ve zayıf yapıda olduğunu göstermektedir. Ayrıca, özellikle bitki erken evresinde ve ilkbaharda bitki gelişimi ile beraber toprak tuzluluğunun da artması bitkilerin strese maruz kalabileceğinin de bir göstergesidir. Bununla beraber, toprak su tutma kapasitesinin yıl boyu düşük seviyede olduğu saptanmıştır. İklim verileri incelendiğinde, yağış değerlerinin bölgenin iklim özellikleri de göz önüne alındığında yaz aylarında oldukça düşüş gösterdiği, kış aylarında yükseldiği görülmüştür. Bölgenin 19.01°C'lik sıcaklık ortalaması ile Türkiye ortalama sıcaklığının üzerinde olduğu gözlemlenmiştir. Gerçekleştirilen incelemelerle elde edilen parametreler ve arazi yüzey sıcaklığı trend analizi ileriki yıllarda bölgede kuraklık olabileceğinin sinyallerini vermektedir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışmada kullanılan uydu görüntüleri ve diğer verileri parasal karşılığı olmadan sağladığı için GEE' ne teşekkürlerini sunar.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

- Abatzoglou, J. T., Dobrowski, S. Z., Parks, S. A., & Hegewisch, K. C. 2018. TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958-2015. *Scientific Data*, 5, 1–12.
- Aghlmand, M., Kalkan, K., Onur, M. İ., Öztürk, G., & Ulutak, E. 2021. Google Earth Engine ile arazi kullanımı haritalarının üretimi. *Niğde Ömer Halis demir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(1), 38-47.

- Anonim, 2016. T.C. Çorum Valiliği İl Gıda Tarım Ve Hayvancılıkmüdürlüğü Çorum İli Tarımsal Verileri, https://corum.tarimorman.gov.tr/Belgeler/ÇORUM_İL_GIDA_TARIM_VE_HAYVANCILIK_MÜDÜRLÜĞÜ_BİLGİ_NOTU_2016.pdf (Erişim Tarihi: 02.01.2023)
- Anonim, 2019. Çorum İli 2019 Yılı Çevre Durum Raporu, https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/corum_2019_-cdr-20201117201349.pdf (Erişim tarihi: 15.04.2022).
- Anonim, 2020. Türkiye 2020 Yılı İklim Değerlendirmesi, <https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/yillikiklim/2020-iklim-raporu.pdf> (Erişim tarihi: 15.04.2022).
- Bayraklı, F., 1998. *Toprak Kimyası*. O.M.Ü. Ziraat Fakültesi Ders Kitabı No: 26, 1. Baskı, Samsun, 214s.
- Çağlayan EB., Erel F, Samur EB., Deniz M, Mobariz MA, Kaplan G, 2020. Uzaktan Algılama Teknikler ile Akşehir Gölü'ndeki Alansal Değişiminin İzlenmesi, *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi*, 2(2); 70-76.
- Çelik MA, Karabulut M, 2014. Farklı İndeks Modelleri (EVI, NDVI, VCI) Kullanılarak Resul Osman Dağı (Kilis) Bitki Örtüsünün İncelenmesi. Coğrafyacılar Derneği Uluslararası Kongresi, (s. 373-379), Muğla.
- Dereli MA, 2018. Web Tabanlı Google Earth Engine ile NDVI Zaman Serisi Analizi: Şanlıurfa il Merkezi Örneği. 6 th International GAP Engineering Conference, (s. 374-377), Şanlıurfa.
- EMGM, 2019. *Çölleşmeyle Mücadele Ulusal Stratejisi ve Eylem Planı 2019-2030*. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara-Türkiye.
- GEE, 2022. *Google Earth Engine*. Erişim adresi: <https://earthengine.google.com/>
- GEE Code Editörü, 2022. *Google Earth Engine Code Editörü*. Erişim adresi: <https://code.earthengine.google.com/>
- GEE FAQ, 2022. *Google Earth Engine FAQ*. Erişim adresi: <https://earthengine.google.com/faq/>
- Hardisky M, Klemas V, Smart R, 1983. The Influences of Soil Salinity, Growth Form, and Leaf Moisture on the Spectral Reflectance of Spartina Alterniflora Canopies. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 49: 77-83.
- Liu, Y., Wang, Y., & Zhang, J. 2012. New machine learning algorithm: Random forest. In International Conference on Information Computing and Applications. (pp. 246-252). Springer, Berlin, Heidelberg.
- MODIS 2022. Erişim Adresi: <https://modis.gsfc.nasa.gov/about/>
- Mirelva PR, Nagasawa R, 2019. Application of Sentinel-1 data for classifying croplands using Google Earth Engine. *Int. J. Geoinformatics*, 15(3):21-31.
- McFeeters SK, 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7):1425-1432.
- Nedkov R, 2017. Normalized Differential Greenness Index For Vegetation Dynamics Assessment. *Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences*, 70, No 8:1143-1146.
- Pettorelli N, Vik JO, Mysterud A, Gaillard JM, Tucker CJ, Stenseth NC, 2005. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in ecology & evolution*, 20(9): 503-510.
- Sarp G, Temurçin K, Aldırmaz Y, Baydoğan E, 2018. Spatial Analysis of Forest Fires Using Remote Sensing Technologies; A Case of 2017 Mersin-Anamur Forest Fire. Innovation and Global Issues Congress IV, (s. 300-308), Antalya.
- Sönmez NK, Aslan GE, Kurunç A, 2015. Farklı Tuz Stresi Altındaki Domates Bitkisinin Spektral Yansıma İlişkileri. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 21 (2015): 585-595.
- Suhet, 2013. *SENTİNEL-2 User Handbook 1*: 9.
- Talebpour B, 2016. *Şeker Pancarı Tarımında Değişken Oranlı Gübreleme Olanakları* (Doktora Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>.
- Yılmaz OS, Oruç MS, Ateş AM, Gülgen F, 2020. Orman Yangın Şiddetinin Google Earth Engine ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanarak Analizi: Hatay-Belen Örneği. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(2): 1519-1532.

Atf İçin: Eryiğit, T. ve Husamalddin, A. H. (2023). Irak-Süleymaniye Koşullarında Farklı Hümik Asit Dozlarının Mısırın (*Zea mays* L.) Verim ve Kalite Özellikleri Üzerine Etkisi. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 1377-1393.

To Cite: Eryiğit, T. & Husamalddin, A. H. (2023). Effects of Different Humic Acid Doses on Yield and Quality Properties of Corn (*Zea mays* L.) in Iraq-Sulaymaniyah Conditions. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 1377-1393.

Irak-Süleymaniye Koşullarında Farklı Hümik Asit Dozlarının Mısırın (*Zea mays* L.) Verim ve Kalite Özellikleri Üzerine Etkisi

Tamer ERYİĞİT^{1*}, Aso Hashm HUSAMALDDIN²

Öne Çıkanlar:

- Çeşitler arasında fark bulunmamıştır.
- Hümik asitin bitki büyümesi üzerinde olumlu etkileri olmuştur.
- Hümik asite çeşitlerin tepkisi farklı olmuştur.

Anahtar Kelimeler:

- Hümik asit
- Kalite özellikleri
- Mısır
- Organik gübre
- Verim

ÖZET:

Araştırma, 2020 yaz büyüme sezonunda Irak, Süleymaniye eyaletinin Ranya bölgesi ekolojik koşullarında yürütülmüştür. Çalışmanın amacı, hümik asidin mısır büyümesi ve verimi üzerindeki etkisini araştırmaktır. Deneme, iki ticari çeşit (DKC6050 ve DKC6664) ve dört hümik asit dozunun (HA1: 0 kg/ha, HA2: 60 kg/ha, HA3: 120 kg/ha ve HA4: 180 kg/ha) toprağa uygulanmasını içermektedir. Çalışmada, çeşitler ana parsellere ve hümik asit dozları ise çeşitlerin üzerindeki etkilerini daha doğru bir şekilde incelemek için alt parsellere yerleştirildiği bir deneme deseni kullanılmıştır. Deneyde, büyüme, verim ve verim bileşenlerinin özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre hümik asit uygulamasının çimlenme süresi, koçan çapı, protein oranı ve yağ oranı dışındaki tüm bitkisel ve verim parametrelerini olumlu etkilediği belirlenmiştir. Çeşitler ile hümik asit dozları arasındaki etkileşim sonucunda, tohum verimi, 100 tohum ağırlığı, bitki başına verim, koçan çapı, hasat indeksi, yaprak alanı indeksi, gövde çapı ve püsküllenme süresi için hümik asit dozları arasında önemli farklar gözlenmiştir. En yüksek tane verimi DKC6050 çeşidinden (9844.8 kg/ha) alınmıştır. Çeşitlerin hümik aside tepkileri aynı olmuş ve bu nedenle çeşitler arasında karşılaştırma için kayda değer farklılıklar gözlenmemiştir. Ancak, pek çok özellik yönünden DKC6050 çeşidinin ümitvar bir çeşit olduğu ve araştırmanın yürütüldüğü ekolojide yetiştiriciliğinin yapılabileceği tespit edilmiştir.

Effects of Different Humic Acid Doses on Yield and Quality Properties of Corn (*Zea mays* L.) in Iraq-Sulaymaniyah Conditions

Highlights:

- There was no difference between the varieties.
- Humic acid had positive effects on plant growth.
- The response of cultivars to humic acid was different.

Keywords:

- Humic acid
- Quality properties
- Maize
- Organic fertilizer
- Yield

ABSTRACT:

The research was carried out in the ecological conditions of the Ranya region of Sulaymaniyah province, Iraq in the summer growing season of 2020. The goal of the study was to investigate the impact of humic acid on the growth and yield of corn. The trial included two commercial cultivars (DKC6050 and DKC6664) and soil application of four rates of humic acid (HA1: 0 kg/ha, HA2: 60 kg/ha, HA3: 120 kg/ha and HA4: 180 kg/ha). The experiment was conducted according to the split-plot experimental design in randomized blocks. In the study, a trial pattern was designed so that varieties were placed in the main plots, and doses of humic acid were placed in the subplots for a more precise investigation of their effects on the cultivars. In the experiment, the characteristics of growth, yield, and yield components were examined. According to the results, it was determined that applying humic acid positively affected all vegetative and yield parameters except for the germination time, cob diameter, protein ratio, and oil ratio. As the result of the interaction between the cultivars and the humic acid doses, significant results were obtained for seed yield, 100 seeds weight, yield per plant, cob diameter, harvest index, leaf area index, stem diameter, and silk appearance time. The highest grain yield was obtained from the DKC6050 variety (9844.8 kg/ha). Responses of cultivars to humic acid were the same and therefore no appreciable differences were observed between cultivars for comparison. However, it has been determined that the DKC6050 variety is a promising variety in terms of many characteristics and can be cultivated in the ecology where the research is carried out.

¹ Tamer ERYİĞİT (Orcid ID: 0000-0001-5069-8206), Van Yuzuncu Yil University, Gevaş Vocational School, Department of Plant and Animal Production, Van, Türkiye

² Aso Hashm HUSAMALDDIN (Orcid ID: 0000-0001-8084-9300), University of Raparin, College of Science, Department of Biology, Iraq

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Tamer ERYİĞİT, e-mail: tamyigit@hotmail.com

This study was produced from the Master's thesis of Aso Hashm HUSAMALDDIN.

INTRODUCTION

Corn (*Zea mays* L.) is an herbaceous plant belonging to the (Poaceae) family. The cultivated corn counted as the most productive forage crop. Its photosynthesis is the kind of C4, with its highest capability of producing carbohydrates per unit area per day. Corn is planted in most environments from 58° latitude in north Canada and Russia to 40° latitude in south America (Darrah et al., 2019).

In the world, cereals are the first-ever source of energy. The world population relies on foods that are cereal-based for their staple foods. Cereals such as maize, rice, and wheat are the most commonly used plants in food production along with vegetables, roots, and tubers. They are the major meals of developing countries, due to their high carbohydrate content, availability, and affordability (García-Lara and Serna-Saldivar, 2019). Maize has a higher average yield in unit area than wheat, that's why maize is the first in production worldwide, but, wheat is the most planted cereal (FAO, 2018).

Ten millenniums ago, maize was domesticated in Mesoamerica in what is now Mexico by native people. After the Discovery of the American continent, it spread to the world (García-Lara and Serna-Saldivar, 2019). Nowadays, maize is the most important cereal, beating rice and wheat in production a decade ago, because of the genetic remodeling and improvement in the yielding regulars (FAO, 2018). Maize production has increased the most because of its higher adaptation ability to different ecological conditions and strong demand for use in the production of human food (Scott et al., 2018), bioethanol (Kumar and Singh, 2018), feedstock (Loy and Lundy, 2018), sweeteners, and other nonfood industrial products.

The world population rises day by day, farmers have to plant more and increase the population per unit area. The increase in production and yield depends on soil fertility and its capability to provide elements (macro, micro, and trace), but the soil has its own limits, it cannot nourish plants forever. The soil loss of elements can be compensated by adding chemical fertilizers and adding organic matter (von Wirén et al., 2000; Soobhany, 2019). Organic matter directly or indirectly affects the growth and production of crops. Supplying nutrients or modifying soil's physical properties, which leads to promoting the root system surrounding the environment, results in better plant growth (Chang et al., 2007).

Humic Substances are found in the sources that contain organic matter, such as soil and water. Due to biological and chemical operations, they exist more in the soil than in the water. Humic substances generally consist of humin, which is not soluble in any PH, Humic Acid which is soluble in alkaline mediums and partially in water, and Fulvic Acid which is soluble in any PH. They are defined as; A common division of congenitally existing various organic substances, which are identified by their dark colour, resistance, and high molecular weight (Dvies et al., 2012). Humic Acids (HA) are common final products of chemical and microbial deterioration of dead biologicals in soil all over the world. They can be carried to the soil as a diverse, high molecule, and colloid aggregates (Asli and Neumann, 2010). Generally, humic acid affects the plant by enhancing growth, increasing yield, and uptake of nutrients. In Soil, they have many important roles such as making nutrients available, regulating carbon and oxygen traffic between air and soil, and the conversion and transport of toxic chemicals. In addition to their effects on Plant Physiology and Soil specifics, they affect the role of microorganisms in the soil (Calvo et al., 2014).

In the Ranya district, no other similar studies have been carried out, that studied corn and humic acid together in order to study the growth, yield, and yield quality of corn. During this investigation I found that farmers lack knowledge about the importance of corn and humic acid, they still use higher

doses of NPK fertilizers to improve their productivity, while, they can raise their yield by using lesser amounts of NPK with using humic acid. The following aspects can be answered and make recommendations by the study:

- i. The possibility of cultivating corn in this area.
- ii. To determine the effects of humic acid on growth, yield, and yield components.
- iii. To show how the application of humic acid to the soil can affect the growth and yield of plants.

In this study, it is aimed to show the importance of the maize plant in human life today and the importance of humic acid applied at different levels as an organic fertilizer, and also its effect on the yield and quality characteristics of maize. The target of the research is to increase the total yield, and then increase of protein ratio and oil content of the seeds through the enhancing growth of the crop during the period of germination until the maturity of the plant.

MATERIALS AND METHODS

The experiment was conducted in the 2020 growing season under farmer conditions in the Ranya district of Sulaymaniyah, 36° 13' North latitude and 44° 55' East longitude, and an altitude of 853 m above sea level, Iraq (Figure 1). This area is famous for good arable lands and many crops are grown by the farmers.



Figure 1. Ranya District Location

The Soil of Study Area

The soil sample was taken from 15 different spots in a zig-zag shape layout, at the depth of (0 – 30 cm), then dried and mixed properly. According to the soil analysis done in Zanko laboratories, the soil texture is clay loam, and the properties of the surface (0 – 30 cm) were: PH 7.91, salt content 0.0%, EC 142 mmhos/cm, organic matter 1.94 CaCO₃ 41.41%, available plant nutrient forms; P₂O₅ 13.15 PPM, K₂O 158.4 PPM. The trial area is salt-free, limy, slightly alkaline, enough in K₂O, P₂O₅, and enough organic matter as shown in (Table 1).

Table 1. Some Chemical and Physical Properties of The Trial Soil

Depth	Soil Texture	EC mmhos/cm	Salt %	PH	Lime CaCO ₃ %	Organic matter %	Available Plant Nutrients (ppm)	
							K ₂ O	P ₂ O ₅
0-30 cm	Clay-Loam	142	0%	7.91	41.41	1.9	13.15	158.4

Ecology and meteorology of the area

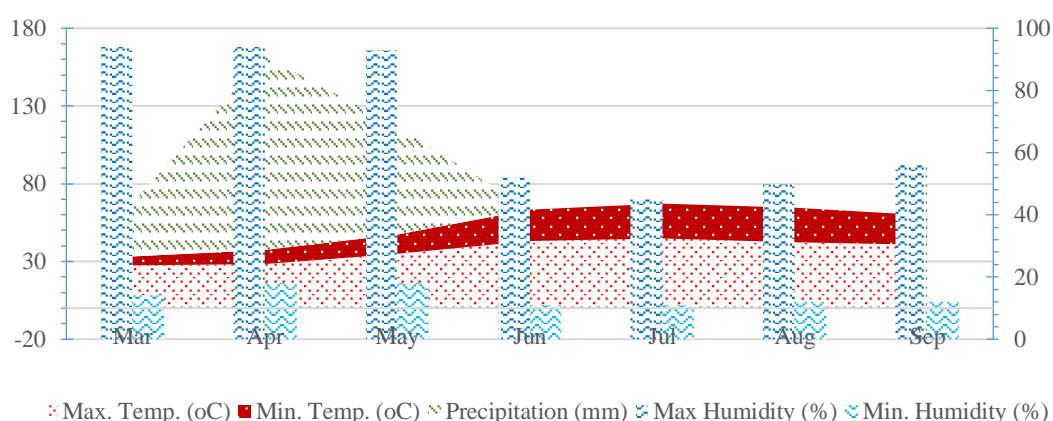
Ranya District is placed in northern Iraq. It is well known for with humid and hot summer temperatures and its bloodless winters. Average temperatures range from -1 °C to 43 °C. It is a region that receives a significant amount of rain with little snow in winters. The location is in fact known for its artificial lake “Darband” in the region and is surrounded by mountains. The precipitation values for the last ten years of Ranya District are given in Table 2 for a preview of the precipitation conditions before the trial season.

Table 2. Precipitation in Ranya District Over the Last Decade

Year	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
mm/year	844	661	547	836	581	691	947	561	850	1618

Source: Ranya agriculture directory

The average annual precipitation for the last decade was 814.12 mm, which starts in October and continues to the end of May. Most of the rain comes in December, January, February, and March. With a low ratio of snow usually in December and January in the town center, but the mountains around the city almost turn white from November to May. The four seasons are really shown in the Ranya district, with cold winter in which the temperature goes below 0 °C, and a hot summer sometimes temperature boosts until 45 °C with a medium level of humidity. The temperature degrees usually start to rise in the middle of February and in March it's about 15 °C. From April to June the temperature degrees start to get warmer, starting from 20 to 38 °C. In July and August, temperature degrees range from 40 to 45 °C. From the beginning of September, they will decrease slowly until it reaches 0 to 5 °C in December and January with some frost as shown in (Figure 2).

**Figure 2.** Meteorological Data for 2020 in the Ranya District

Experimental treatments

The experimental treatments included two hybrids of corn (DKC6050 and DKC6664) which are commercial hybrids developed and breed in Türkiye. The varieties were applied to the main plot and the four levels of 32% HA granules form (PERLHUMUS®) was applied to the sub-plots. The HA

doses were calculated and weighted properly, then mixed with the soil of each plot evenly before fixing irrigation pipelines except for control plots.

Experimental design and analysis

The study was conducted based on a split-plot experimental design in randomized blocks with four replications. The blocks were set up with two main plots each of which contained four treatments of humic acid (HA) doses (HA1: 0 kg HA/ha, HA2: 60 kg HA/ha, HA3: 120 kg HA/ha, and HA4: 180 kg HA/ha) in sub-plots, respectively. Each plot's size was 2.4 m in width and 5 m in length. The distance between the main plots was 2m, and 1m between subplots. Each plot contained four rows 60 cm apart, and each row consisted of 20 cm apart intra-row spacing. The all of HA doses were applied before sowing. In the trial, as the source of nitrogen, 200 kg/ha pure nitrogen (Urea (46% N), half of which was applied during sowing and the other after the plants reached 15 cm long. Additionally, 200 kg/ha pure phosphorus (Triple Super Phosphate (P₂O₅)) fertilizer was applied to all plots before sowing by mixing with the soil. Sowing was performed on the 30th of July 2020. Irrigation and weed control treatments were performed based on need. The observations of yield and yield attributes and some other agronomic properties were recorded on 10 plants which were randomly selected from two middle rows in each subplot. The harvest was performed after the deletion of the plot sides and 50cm from two middle head rows.

Statistical analysis

The variance analysis of data for each of the properties was performed by using the IBM SPSS (v. 23.0) software according to the split-plot in randomized block design. In addition, the means of the examined features were grouped according to the LSD multiple comparison test at the 5% significance level with the CoStat-C (v. 6.303) software.

RESULTS AND DISCUSSION

The Anova analysis of data recorded for plant height, stem diameter, leaf number, leaf area index, harvest index, seed per cob, and rows per cob obtained from applying different doses of HA and two cultivars were shown in Table 3 and their averages values and LSD groups were presented in Table 4.

Plant Height

In Table 3, it is seen that there are significant ($P < 0.01$) differences between HA doses in terms of the effects of maize on plant height, but there is no significant ($P > 0.05$) difference between varieties and their interactions with HA doses.

Table 3. Variance Analysis Results Regarding the Observed Attributes' Average Values Obtained As A Result of Humic Acid Fertilizer Application in Corn Varieties

Variation Sources	DF	Plant height	Stem diameter	Leaf number	Leaf area index	Harvest index	Seed per cob	Rows per cob
		M.S.	M.S.	M.S.	M.S.	M.S.	M.S.	M.S.
Block	3	565.300	0.070	7.809	0.241	26.869	279.959	0.630
Cultivar (C)	3	450.750	0.001	0.403	0.001	19.375	321.818	0.160
Error 1	9	225.669	0.001	0.601	0.001	11.006	498.960	0.867
Humic acid (HA)	1	296.027 **	0.068 **	6.656 **	0.290 **	147.016 **	3309.195 **	5.658 **
C X HA	3	44.719	0.012 *	0.180	0.123 **	21.526 **	111.940	0.260
Error 2	12	21.062	0.004	0.318	0.009	2.950	342.120	0.433
CV (%)		2.773	2.836	4.263	5.268	8.615	5.747	2.839

*: Statistically significant ($P < 0.05$); **: Statistically very significant ($P < 0.01$)

In the experiment, it was determined that the plant height values of both varieties varied between 161.73 - 169.23 cm (Table 4). It can be said that this situation arises from the morphological and genetic similarity of the cultivars. The height of plants increased in accordance with the increase of humic acid doses. It was found that the maximum plant height was obtained from the fourth HA dose (180 kg/ha) as 171.48 cm, while the minimum plant height was obtained from the control (0 kg/ha) as 157.23 cm. In the comparison of the doses, the height of the plants in the fourth rate increased by 2% and 4% compared to the third and second humic doses respectively.

The plant height increase associated with HA application may have been caused by the physiological effects of humic acid, including increased cell membrane permeability, acceleration of cell division, and root system development (Khaled & Fawy, 2011). Similar results that support these findings were demonstrated by Balbaa & Awad, 2013, Daur & Bakhashwain, 2013, El-Saber et al., 2014, Moghadam et al., 2014, Banitamim & Shokuhfar, 2017, Hussain et al., 2018, Aseres et al., 2019, and Hassan et al., 2019).

Table 4. Average Values of Observed Parameters Obtained in Corn Varieties as A Result of Different Humic Acid Dose Applications

CULTIVARS (C)	HA Doses	Plant height (cm)	Stem diameter (cm) *	Leaf number (pieces)	Leaf area index (LAI) *	Harvest index (%) *	Number of seeds per cob (pieces)	Number of rows per cob (pieces)
DKC6050	HA1	153.03	2.02 c	12.17	1.70 cd	16.84 d	287.87	22.17
	HA2	164.78	2.12 bc	12.67	1.61 d	18.28 d	317.20	22.67
	HA3	162.30	2.13 bc	13.47	1.84 bc	19.22 cd	336.53	23.33
	HA4	166.80	2.18 b	14.13	2.23 a	28.52 a	333.13	24.23
	Mean	161.73	2.11	13.11	1.84	20.71	318.68	20.02
DKC6664	HA1	161.43	2.02 c	12.20	1.60 d	15.77 d	303.10	22.23
	HA2	165.48	2.05 c	12.83	1.92 bc	16.12 d	315.17	22.90
	HA3	173.88	2.13 bc	14.13	1.86 bc	21.70 bc	339.57	23.90
	HA4	176.15	2.30 a	14.17	1.96 b	23.04 b	342.27	23.93
	Mean	169.23	2.12	13.33	1.84	19.16	325.03	19.00
Humic Acid (HA) Doses' Means **	HA1	157.23 C	2.02 C	12.18 B	1.65 C	16.30 C	295.48 C	22.20 B
	HA2	165.13 B	2.08 BC	12.75 B	1.77 B	17.20 C	316.18 B	22.78 B
	HA3	168.09 AB	2.13 B	13.80 A	1.85 B	20.46 B	338.05 A	23.62 A
	HA4	171.48 A	2.24 A	14.15 A	2.10 A	25.78 A	337.70 A	24.08 A
LSD (%5) C	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
LSD (%5) for HA	4.821	4.821	0.592	0.102	1.804	19.430	0.691	
LSD (%5) for C x HA	ns	0.178	ns	0.288	5.10	ns	ns	

*- The means shown with the same small letter in the same column have no statistically ($P>0.05$) significant difference.

**-. The means shown with the same *italic capital* letter in the same column have no statistically ($P>0.05$) significant difference.

Stem Diameter

In the study, no statistical ($P>0.05$) difference was observed between the varieties in terms of stem diameter (Table 3), and it was determined that the average values of stem diameter varied between 2.11 - 2.12 cm (Table 4). While very significant differences ($P<0.001$) were determined between HA doses in Table 3, significant differences were found between the interactions of cultivar x humic acid doses ($P>0.05$).

As a result of the applications of humic acid doses, it was found that the maximum stem diameter observed was obtained from the fourth dose (180 kg/ha) application as 2.24 cm and the minimum stem diameter was obtained from the control treatment as 2.02 cm (Table 4). The humic substances have been determined to have a positive effect due to their impact on providing nutrients, for better plant growth through absorbing more ions such as nitrogen and potassium, which in turn

increase photosynthesis efficiency, cell development, and increase in number and size of the vascular bundles which leads to more growth in stem diameter (Shahryari et al., 2011). As seen in Table 4, it was determined that cultivars showed different responses to HA application doses, and therefore, the maximum stem diameter (2.30 cm) was obtained from the interaction between HA4 x DKC6664 cultivar, while the lowest stem diameter (2.02 cm) was measured from the control application in both cultivars (Figure 3). The results of the research are in line with the results of Eldardiry et al., 2012, Ragheb, 2016, and Hassan et al., 2019, who reported that the increase in HA doses made the stem diameter thicker.

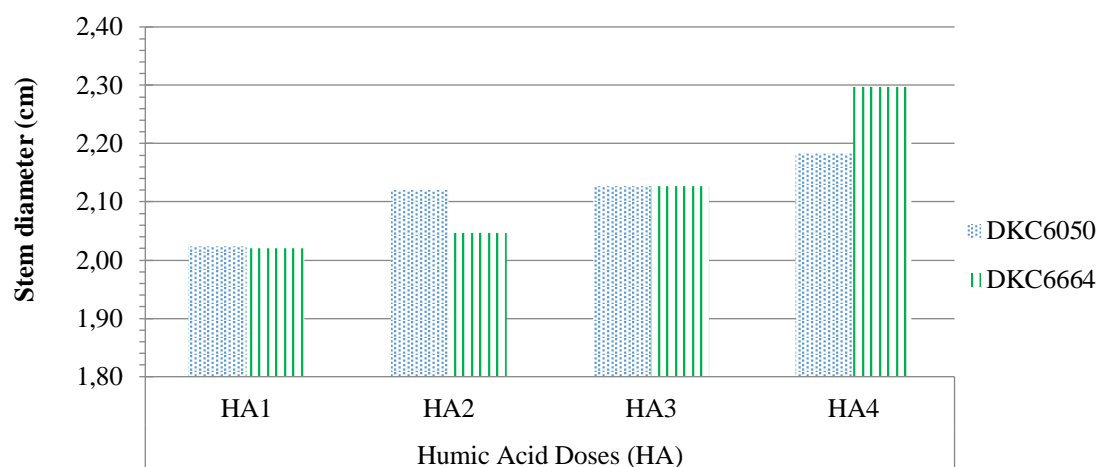


Figure 3. Cultivar and Humic Acid Doses' Interaction for Stem Diameter

Number of Leaf

As seen from Table 3, in terms of leaf number, the differences between the two cultivars and their interactions with HA doses were statistically nonsignificant ($P > 0.05$). On the other hand, it was determined that there were statistically very significant ($P < 0.01$) differences between the four doses of HA applied. It was determined that the leaf number of both varieties varied between 13.11 - 13.33 pieces as in Table 4. Here it can be said that the main reason was the similarity of the cultivar based on genetics and morphology. In the study, it was found that the maximum number of leaves (14.15 pieces) was obtained from the fourth dose (180 kg/ha) application, while the minimum leaf number (12.18 pieces) was counted from the control dose (Table 4).

The increase in the leaf number of corn plants could have been related to the positive effects of humic acid on the growth of the plant through the enhancement of root growth, and its architecture (Zandonadi et al., 2019), which results in more increase in root size, branching, root hair density increased, and larger surface area. Which leads to more nutrient uptake and boosted the major biochemical pathways (Canellas and Olivares, 2014; Aseres et al., 2019).

As seen from Table 4, it was determined that the numbers of leaf were varied between 12.17 - 14.17 pieces in terms of varieties x humic acid doses' interactions. The results of the study were found to be in accordance with the results obtained by Daur & Bakhshwain, (2013) who reported with an increase in HA doses the number of leaves has been increased.

Leaf Area Index (LAI)

As seen in Table 3, it was observed that the treatment of HA significantly affected the LAI of the corn plants. In terms of leaf area index, while there wasn't a significant difference between cultivars, the HA doses and the interaction between the varieties x HA had statistically significant ($P < 0.0$)

differences. It was determined that the leaf area indexes were calculated as 1.84 for both varieties (Table 4).

As a result of the significant effects of different doses of humic acid on the leaf area index, it was found that the maximum leaf area index (2.10) was obtained from the fourth dose (180 kg/ha) application, and the minimum leaf area index was obtained from the control dose (0 kg/ha) as 1.65 (Table 4 and Figure 4).

It was thought that the increase of LAI with the increase of HA dose was related to the effects of HA due to the improving the soil around the root zone (Daur and Bakhshwain, 2013), uptake of macronutrients and micronutrients (El-Saber et al., 2014). Therefore, it was determined that the maximum leaf area index was obtained from the HA4 x DKC6050 interaction as 2.23, while the minimum leaf area index was obtained from the control x DKC6664 interaction as 1.60 (Figure 4). The results of the study were found to be in accordance with the results reported by Daur & Bakhshwain, 2013, El-Saber et al., 2014, Aseres et al., 2019 and Sharif & AL-Rawi, 2019, who stated that with the increase in HA rates, the LAI have been increased positively.

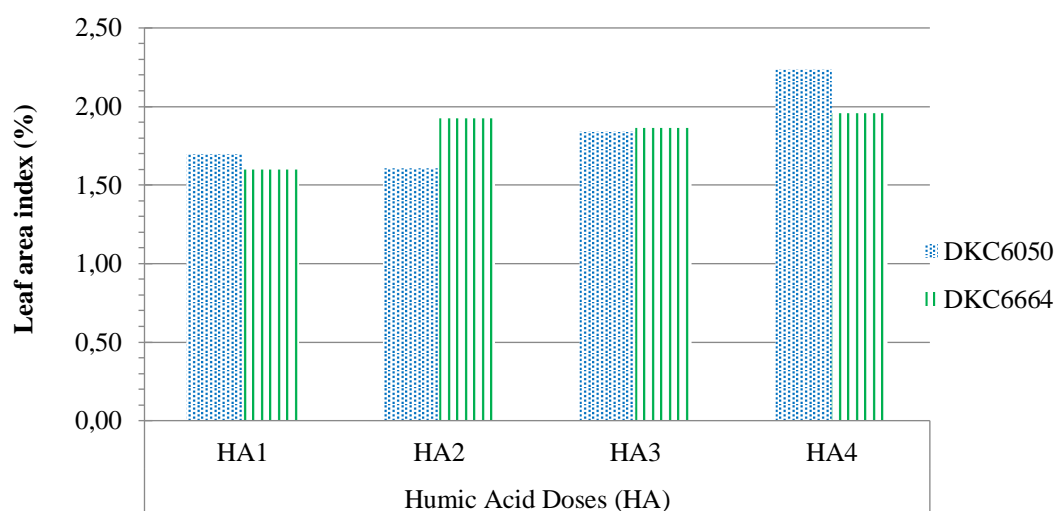


Figure 4. Cultivar and Humic Acid Doses' Interaction for Leaf Area Index

Harvest index (HI)

The analysis of variance of the harvest index presented in Table 3 showed that there was no significant difference in harvest index between cultivars ($P > 0.05$), but very significant ($P < 0.01$) differences between the interactions of humic acid doses and cultivar x HA doses.

In the study, it was observed that the average values of the harvest indexes varied between 19.16 - 20.71 % in terms of varieties (Table 4). It was also determined that with the increase in HA doses, the harvest index had increased significantly. The highest harvest index percentage has been recorded in the fourth dose of HA (180 kg/ha) as 25.78%, while the minimum harvest index has been obtained from the control plot as 16.30% (Table 4).

Due to the humic acid's crucial effects on plant metabolism of cells, expanded leave area, more root growth, acting as growth hormones, and more photosynthesis rates, it resulted in increasing the harvest index (Maruf and Mam-Rasul, 2019). Therefore, it was determined that the maximum HI value (28.52%) was obtained from the HA4 x DKC6050 interaction, while the minimum HI value (15.77%) was obtained from the control x DKC6664 interaction (Figure 5). The study results were found to be consistent with the results of many previous studies reporting the effects of humic acid on the harvest

index of the corn plant (El-Saber et al., 2014; Moghadam et al., 2014; Aseres et al., 2019; Maruf and Mam-Rasul, 2019).

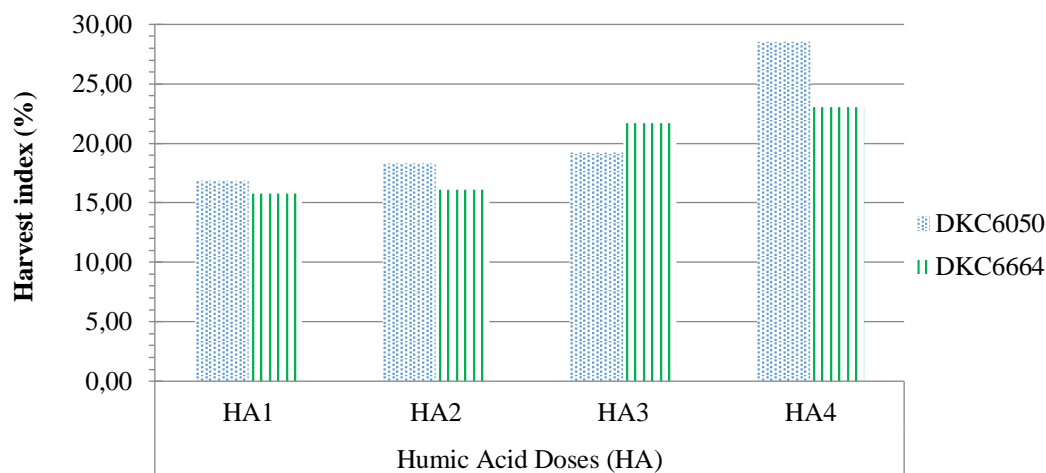


Figure 5. Cultivar and Humic Acid Doses' Interaction for Harvest Index

Number of Seeds per cob

The results of the study indicated that there was no statistically significant ($P > 0.05$) difference between the two cultivars in terms of the number of seeds per cob. It was determined that the values of both cultivars were counted as 318.68 pieces for DKC6050 and 325.03 pieces for DKC6664 (Table 4). As seen in Table 3, there was a statistically significant ($P < 0.01$) difference between the HA doses' effects on the number of seeds per cob.

In Table 4, it was shown that the maximum number of seeds per cob was recorded from the third (120 kg/ha) and fourth (180 kg/ha) doses of humic acid as 338.05 and 337.70 pieces, respectively, while the minimum number of seeds was recorded from the control plot as 295.48 pieces/cob. The results can be related to the positive effects of humic acid application. Because, HA improves soil structure conditions (Çelik et al., 2010), enhancing absorption and abundance of nutrients through promoting the nutrient chelating process (Berbara & Garcia, 2014), and also there are physiological processes such as promoting plant cell metabolism and increasing leave area (Nardi et al., 2009).

According to Table 3, there wasn't any significant ($P > 0.05$) difference between the interaction effects of the cultivar x HA doses. As seen in Table 4, it was determined that the number of seeds per cob ranged from 342.27 pieces (control plot x DKC6050 variety) - 287.87 pieces (the fourth dose of HA x DKC6664 variety). It was determined that the results of the study were consistent with the results of previous studies (Azeem et al., 2014; El-Saber et al., 2014; Moghadam et al., 2014; Hussain et al., 2018; Maruf and Mam-Rasul, 2019; Oktem and Oktem, 2020), which indicated that with the increase of HA doses the number of seeds per cob increased.

Number of rows per cob

As observed in Table 3, there was a very statistically significant ($P < 0.01$) difference for the different doses of HA on the number of rows per cob of the corn, while there were no statistically significant ($P > 0.05$) differences observed for the cultivars and their interaction with the HA doses. In Table 4, it was determined that the values of the number of rows per cob in both cultivars were 23.10 pieces/cob for DKC6050 and 23.24 pieces/cob for DKC6664.

In the study, it was seen that the highest values of the number of rows per cob were obtained from the fourth (180 kg/ha) and third (120 kg/ha) doses of HA as 24.08 and 23.62 pieces, respectively. And, the minimum values of the number of rows per cob with 22.78 and 22.20 pieces were counted

from the second (60 kg/ha) and first (0 kg/ha) doses of HA (Table 4). As shown in Table 4, the mean values for the varieties x humic acid doses' interactions ranged from 24.23 to 22.17 pieces/cob.

The cobs and their number of rows are one of the most important features of the corn plant related to the yield. The number of rows determined at the beginning of cob formation (El-Sahookie, 1990), the increase of rows, and other features of the cob can be related to the positive effects of humic acid on the increasing soil fertility, enhancing crop performance and finally, production increased (Jahan et al., 2019). Similar outcomes to the presented results of the number of rows per cob related to HA application were reported in the previous studies (Moghadam et al., 2014; Banitamim and Shokuhfar, 2017; Maruf and Mam-Rasul, 2019).

Cob diameter

In the study, no statistical ($P>0.05$) difference was observed between the varieties in terms of cob diameter (Table 5), and it was determined that the average values of cob diameter ranged between 3.88 - 3.92 cm for both cultivars, respectively (Table 6). When the variance analysis of cob diameter was examined in Table 5, the differences between the HA doses were not statistically significant ($P>0.05$). These results may be caused by external and environmental factors such as high temperatures, which affect the tassels and cob of the corn.

The temperature especially at the time of cob formation was very high and most of the time it was over 40 °C. As seen in Table 5, it was determined that there were very significant statistical ($P<0.01$) differences among the common effects of both factors, and the reactions of cultivars to the different doses of HA were different.

Table 5. Variance Analysis Results Regarding the Observed Parameters' Average Values Obtained As A Result of Humic Acid Fertilizer Application in Corn Varieties

Variation Sources	DF	Cob diameter		Yield per plant		100 seeds weight		Husk ratio		Seed yield		Protein ratio		Oil ratio	
		M.S.	M.S.	M.S.	M.S.	M.S.	M.S.	M.S.	M.S.	M.S.	M.S.	M.S.	M.S.	M.S.	
Block	3	38.99	32.99	2.69	5.680	229196.1	2.295	0.066							
Cultivar (C)	3	31.84	2.35	11.52	9.570	16276.6	1.488	0.113							
Error 1	9	57.85	74.38	2.54	9.405	516086.4	2.359	0.174							
Humic acid (HA)	1	425.55	3060.83	**	26.84	**	14.001	*	21255152.0	**	5.665	0.100			
C X HA	3	4.05	**	290.51	**	11.37	**	8.414	2017010.5	**	2.460	0.118			
Error 2	12	26.52	15.15	2.07	3.076	105229.9	2.320	0.097							
CV (%)		6.891	4.421	3.868	15.189	4.421	17.678	9.107							

*: Statistically significant ($P<0.05$); **: Statistically very significant ($P<0.01$)

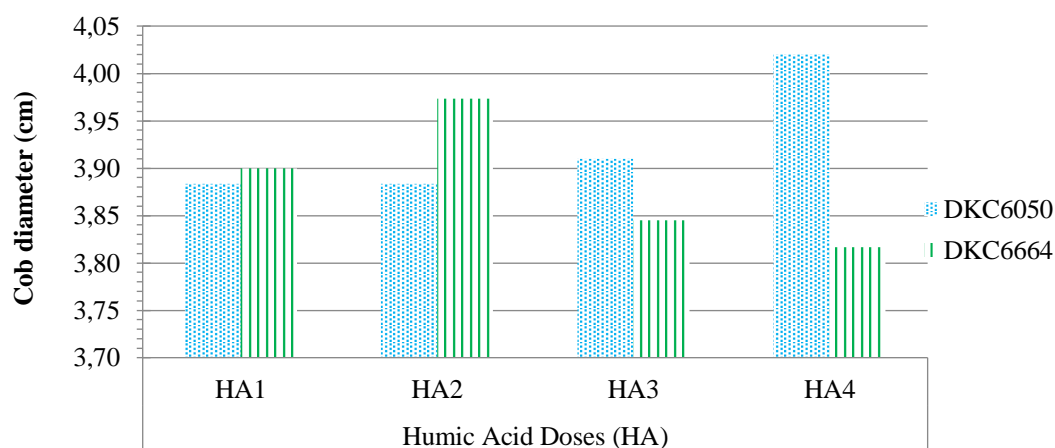


Figure 6. Cultivar and Humic Acid Doses' Interaction for Cob Diameter

The DKC6050 cultivar showed a positive response to the increase of HA, so the maximum diameter of the cob was obtained as 4.02 cm from the fourth dose of HA, while the DKC6664 variety showed a negative response to the HA dose increased and the lowest cob diameter was obtained in HA4 with 3.82 cm (Table 6 and Figure 6). According to some previous studies (Ertani et al., 2011; Maruf and Mam-Rasul, 2019), the using of HA doses alone without interaction with other factors didn't show any notable difference.

Yield per plant

As seen in Table 5, it was determined that there was no statistically significant ($P>0.05$) difference between the cultivars, while there were statistically very significant differences ($P<0.01$) between the HA doses applied and between the effects of interactions of factors in terms of yield per plant. In the research, the yield of a plant has been studied as one of the most important yield parameters, and it has directly related to the whole biological processes and the final yield of the plant, thus it can be affected by both genetics and growth factors (El-Sahookie, 1990).

In Table 6, it was seen that the yields per plant were 87.77 g/plant for DKC6050 and 88.32 g/plant for DKC6664. The maximum average yield per plant value (110.82 g/plant) was obtained from the application of the fourth dose of HA (180 kg/plant), while the minimum yield per plant was recorded in the control dose as 68.17 g/plant. When it was compared to the third and second doses of HA, it produced 12% and 31% more yield, respectively. As seen in Table 6, it was determined that the maximum yield per plant (118.14 g/plant) was measured from the interaction of the fourth dose of HA (180 kg/ha) with the DKC6050 cultivar, while the minimum values of the yield per plant (67.55 and 77.68 g/plant) were obtained from the interaction of H1 and H2 dose of HA and DKC6664 variety (Figure 7).

Application of organic substances including humic acid increased nitrogen availability in soil and other micro and macronutrients which leads to increased yield and enhanced seed quality. As known, the nutrients that come from organic sources are working more efficiently in different functions in plants (Ahmad et al., 2014; Du et al., 2016). Additionally, the increased yield per plant could be related to the enhancing cell development, regulating enzymes, and triggering photosynthesis (Gao et al., 2020) by increasing chlorophyll content, light absorption, and fine structure of the chloroplast as a result of adding organic substances (Fan et al., 2014). The results of this study were in accordance with the results of previous studies reported by Sharif and AL-Rawi, 2019, and Wulandari et al., 2019.

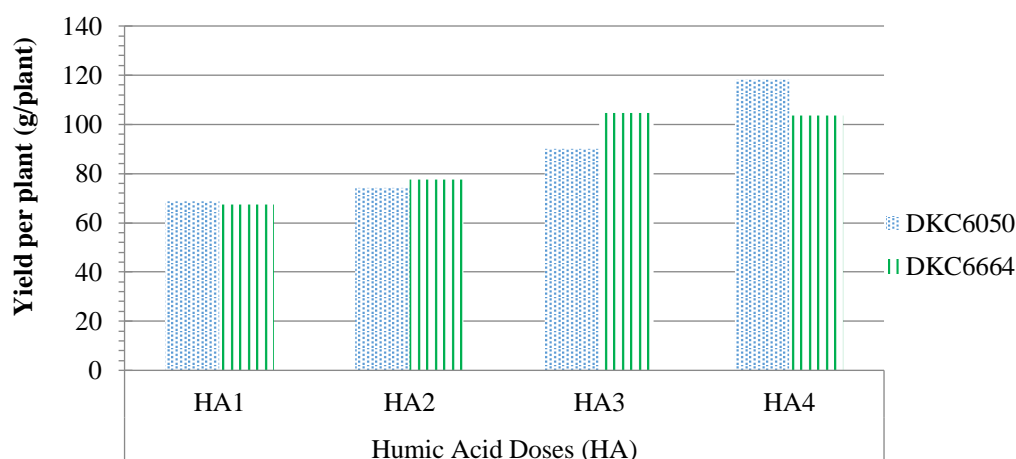


Figure 7. Cultivar and Humic Acid Doses' Interaction for Yield Per Plant

100 seeds weight

As seen in Table 5, there wasn't a statistically significant ($P>0.05$) difference between the cultivars in terms of the 100 seeds weight, while their interaction with HA doses and applying HA doses alone had statistically very significant ($P<0.01$) different effects on 100 seeds weight. In the study, it was determined that the 100 seeds weight values of both cultivars DKC6050 and DKC6664 were 36.61 g and 37.81 g, respectively (Table 6).

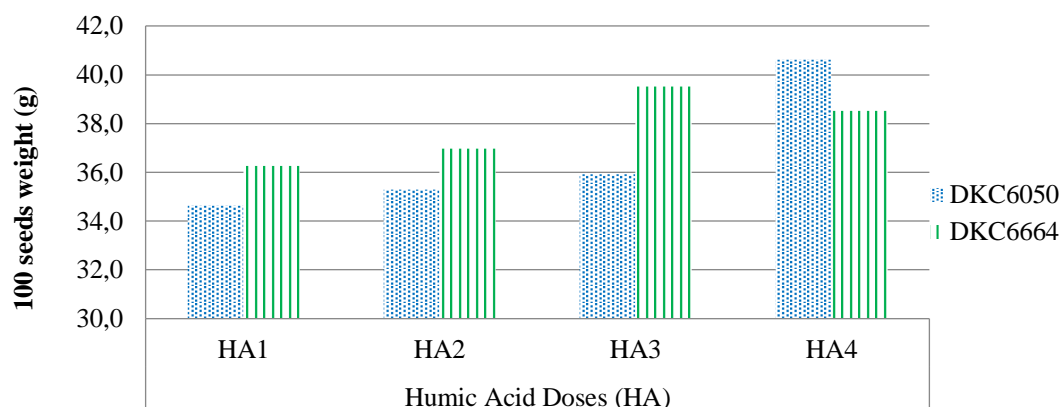


Figure 8. Cultivar and Humic Acid Doses' Interactions for 100 Seeds Weight

Table 6. Average Values of Observed Parameters Obtained in Corn Varieties As A Result Of Different Humic Acid Dose Applications

CULTIVARS (C)	HA Doses	Cob diameter (cm) *	Yield per plant (g/plant) *	100 seeds weight (g) *	Husk ratio (%)	Seed yield (kg /ha) *	Protein ratio (%)	Oil ratio (%)
DKC6050	HA1	3.88 a-c	68.79 de	34.63 c	10.19	5732.4 de	6.40	3.30
	HA2	3.88 a-c	74.08 de	35.30 c	11.78	6173.3 de	8.57	3.33
	HA3	3.91 a-c	90.09 c	35.92 c	10.89	7507.8 c	9.06	3.54
	HA4	4.02 a	118.14 a	40.61 a	11.14	9844.8 a	9.53	3.29
	Mean	3.92	87.77	36.61	11.00	7314.6	8.39	3.37
DKC6664	HA1	3.90 a-c	67.55 e	36.25 bc	9.60	5628.8 e	8.45	3.22
	HA2	3.97 ab	77.68 e	36.98 bc	11.70	6473.6 d	8.72	3.50
	HA3	3.85 bc	104.53 b	39.53 ab	12.00	8710.6 b	9.17	3.47
	HA4	3.82 c	103.51 b	38.51 ab	15.09	8625.7 b	8.97	3.71
	Mean	3.88	88.32	37.81	12.10	7359.7	8.83	3.48
Humic Acid (HA) Doses' Means **	HA1	3.89	68.17 <i>D</i>	35.44 <i>C</i>	9.90 <i>B</i>	5680.6 <i>D</i>	7.42	3.26
	HA2	3.93	75.88 <i>C</i>	36.14 <i>C</i>	11.74 <i>AB</i>	6323.5 <i>C</i>	8.64	3.42
	HA3	3.88	97.31 <i>B</i>	37.72 <i>B</i>	11.44 <i>AB</i>	8109.2 <i>B</i>	9.12	3.51
	HA4	3.92	110.82 <i>A</i>	39.56 <i>A</i>	13.11 <i>A</i>	9235.3 <i>A</i>	9.25	3.50
LSD (%5) C	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
LSD (%5) for HA	5.41	4.09	1.51	1.84	340.76	ns	ns	ns
LSD (%5) for C x HA	ns	11.57	4.28	ns	963.82	ns	ns	ns

*: The means shown with the same small letter in the same column have no statistically ($P>0.05$) significant difference.

** : The means shown with the same *italic capital* letter in the same column have no statistically ($P>0.05$) significant difference.

When 100 seeds weight were observed in terms of HA efficiency in Table 6, the lowest seed weight was recorded in the control plot (35.44 g), which in comparison to the second dose difference was not significant. On the other hand, the highest 100 seeds weight (39.56 g) was recorded in the fourth (180 kg/ha) HA dose (Table 6). The mean values showed that with the increase of HA applied the seed weight was increased. The reason of seeds weight increased belongs to the improvement of the physical and chemical features of the soil, and also, it increased due to the biomass increase as a result of acceleration in productivity of plants, physiology, and biochemistry (Canellas and Olivares,

2014). The study results were approved by results of some previous studies (Balbaa and Awad, 2013; El-Saber et al., 2014; Moghadam et al., 2014; Hussain et al., 2018; Aseres et al., 2019; Maruf and Mam-Rasul, 2019). As shown in Table 6 and Figure 8, the highest weight of 100 seeds (40.61 g) was recorded in the interaction of DKC6050 with the fourth dose of HA (180 kg/ha), while the minimum mean value among the interactions was recorded within DKC6050 interaction with the control plot (34.63 g) which had no statistically significant difference with the second and third dose of HA x DKC6050 interactions.

Husk ratio

In Table 5, there was a statistically significant ($P < 0.05$) difference between HA doses in terms of the husk ratio of the corn, while no significant ($P > 0.05$) differences were observed between the cultivars and between their interactions with the HA doses.

In the experiment, it was determined that the husk ratio of both cultivars was determined as 11.00 - 12.10 % (Table 6). When the mean values of the husk ratio were examined in Table 6, it was seen that the minimum husk ratio was obtained from the control plot as 9.90%, while the maximum husk ratio was obtained from the fourth dose of HA (180 kg/ha) as 13.11%.

In Table 6, the range of mean values among the interaction varied between 9.60 - 15.09%. The husk ratio participated in the C_4 photosynthesis of the corn plant, and its structure is similar to the other leaf of the plant with lesser vascular bundles and veins (Pengelly et al., 2011). The results of the study related to husk ratio could be evaluated that as a green part of a plant and its structure husk leaf could have been affected by genetic and growth factors that affected the whole plant. Humic acid has a positive effect on photosynthesis, chlorophyll content, respiration, and nuclear acid formation (Kim, 2003), thus, it may be, the increase in the husk ratio was related to the application of the humic acid.

Seed yield

As seen in Table 5, there was no statistically significant ($P > 0.05$) difference between the effects of cultivars on the seed yield of the corn, while their interactions with HA doses and Ha acid doses had statistically very significant ($P < 0.01$) effects on seed yield. In the research, it was determined that the seed yield values of both cultivars were obtained as 7314.58 and 7359.69 kg/ha, respectively (Table 6). When the mean values of seed yield were examined in Table 6, the highest seed yield was determined from the fourth dose of HA as 9235.30 kg/ha, while the lowest seed yield was recorded in the control plot as 5680.59 kg/ha. The increase in seed yield could have been caused by the uptake of macro and micronutrients, and their stimulating effects on photosynthesis, respiration, protein, and nuclear acids, which were affected by HA Kim, 2003, and Tejada and Gonzalez, 2003. Additionally, HA increases root growth, improved soil structure, enhances microorganisms' life in the soil, and acts as plant growth hormone (Maruf and Mam-Rasul, 2019). From the above information, it could be determined that these factors have positively affected the seed yield of corn. Many previous studies indicated that with the increase of humic acid the seed yield of corn had been increased (Azeem et al., 2014; Banitamim and Shokuhfar, 2017; Aseres et al., 2019; Maruf and Mam-Rasul, 2019; Oktem and Oktem, 2020). As shown in Table 6 and Figure 9, the highest seed yield was recorded in the interaction of DKC6050 with the fourth dose of HA (180 kg/ha) as 9844.84 kg/ha, while the minimum mean value (5628.82 kg/ha) among the interactions was recorded within DKC6664 interaction in the control plot. Thus, the mean values indicated that DKC6050 responded better than DKC6664 with the increase in HA doses.

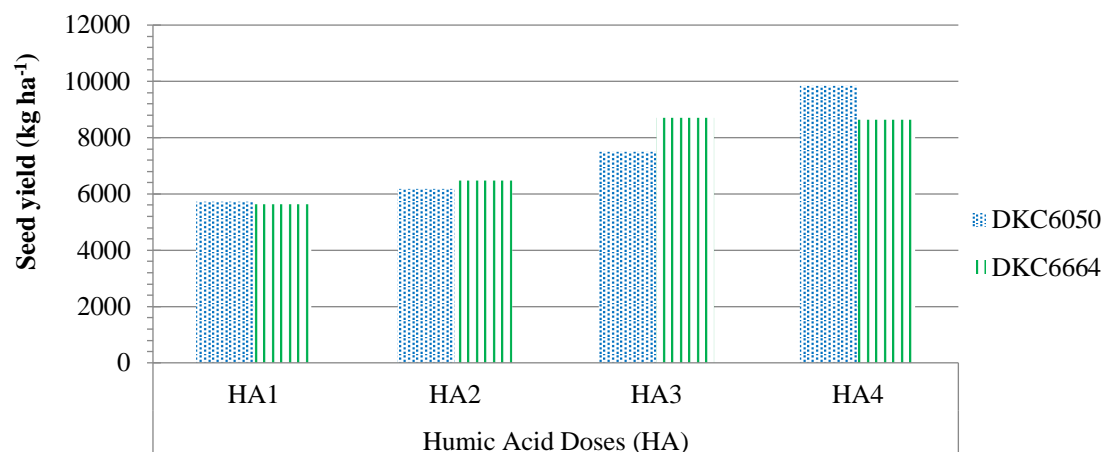


Figure 9. Cultivar and Humic Acid Doses' Interaction for Seed Yield

Protein ratio

According to the variance analysis in Table 5, there were no statistically significant ($P > 0.05$) differences between cultivars, HA doses, and their interaction effects on the protein ratio of corn seeds. As seen in Table 6, it was determined that the mean values of protein ratio for both varieties were found as 8.39 and 8.83%.

When the mean values of the protein ratio were examined in Table 6, it was seen that the average values of the protein ratio obtained as a result of each HA dose application varied between 7.42 and 9.25 %. Contrary to the study, some previous studies' results reported by Rajpar et al., (2011), El-Saber et al., (2014), Esmaili et al., (2016), and Oktem and Oktem, (2020), the protein ratio should have been increased in accordance with the increase of the humic acid doses. It could be stated that the environmental effects such as extreme heat and drought affected the results of this study, due to the temperature during protein formation stages being very high in the Ranya district.

As seen from Table 6, it was observed that the average protein ratio obtained from interactions of both factors ranged from 6.40 to 9.53 %. It could be evaluated that this was due to the varieties showing the same reaction to each of the HA doses.

Oil ratio

As seen in Table 5, there were no statistically significant ($P > 0.05$) differences between cultivars, HA doses, and their interaction effects on the oil ratio of corn seeds. According to Table 6, it was determined that the germination values of both varieties were monitored as 3.37 and 3.48 %.

When the mean values of the oil ratio were examined in Table 6, it was seen that the average oil values obtained as a result of each HA dose application varied between 3.50 and 3.26%. Although the difference between them was not statistically significant, it was observed that the oil ratio increased numerically as the HA dose increased.

As seen from Table 6, it was determined that the average oil ratio obtained from interactions of both factors ranged from 3.22 to 3.71 %. Contrary to the findings of the study, in some previous studies which evaluated the effects of humic acid on the oil ratio, it was reported that with the application of HA, the oil ratio was increased (Khazaie et al., 2011; Rajpar et al., 2011; Alireza, 2012; Esmaili et al., 2016; Noroozisharaf and Kaviani, 2018). The results of the study could be affected by environmental factors such as extreme heat in the summer of the Ranya district, in which most of the days reached above 40 °C.

CONCLUSION

Based on the results of the field experiment, it can be concluded that DKC6050 and DKC6664 varieties didn't show any notable difference in most traits tested. However, the DKC6050 cultivar stood out for many of the properties examined. Additionally, it was determined that the reactions of the cultivars to humic acid doses were the same for many of the investigated traits. As a result of the study, it was seen that the applied humic acid positively affected most of the observed parameters, especially seed yield. However, humic acid applied to the soil did not show any notable difference in the oil ratio of corn seeds, while it increased the protein in a non-significant way. Greater attention and work should be considered to develop corn production and reach a sustainable level that would fulfil local needs. For better suggestions, different forms of humic acid (liquid and powdered), application methods (foliar), and rates of humic acid should be studied with more hybrids and cultivars of corn. Humic acid testing needs further research, especially in the spring, in order to be able to recommend the best variety and dose of humic acid for corn cultivation in Ranya, Sulaymaniyah.

Conflict of Interest

The article authors declare that there is no conflict of interest between them.

Author's Contributions

The authors declare that they have contributed equally to the article.

REFERENCES

- Ahmad, M., Ahmad, Z., Jamil, M., Nazli, F., Latif, M., Fakhar-U-Zaman, A. M., (2014). Integrated use of plant growth promoting rhizobacteria, biogas slurry and chemical nitrogen for sustainable production of maize under salt-affected conditions. *Pakistan Journal of Botany*, 46(1): 375-382
- Alireza, S., (2012). Effect of humic substances on the quality of essential oils of medicinal plants. *Journal of Medicinal Plants Research*, 6(13).
- Aseres, M. E., Liu, A., Mwalupaso, G. E., (2019). Integration of humic acid with nitrogen yields an auxiliary impact on physiological traits, growth and yield of maize (*Zea mays* L.) varieties. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(3): 6681-6700.
- Asli, S., Neumann, P. M., (2010). Rhizosphere humic acid interacts with root cell walls to reduce hydraulic conductivity and plant development. *Plant and Soil*, 336(1): 313-322.
- Azeem, K., Khalil, S. K., Khan, F., Shahenshah, S., Qahar, A., Sharif, M., Zamin, M., (2014). Phenology, yield and yield components of maize as affected by humic acid and nitrogen. *Journal of Agricultural Science*, 6(7): 286-293.
- Balbaa, M., Awad, A., (2013). Effect of humic acid and micronutrients foliar fertilization on yield, yield components and nutrients uptake of maize in calcareous soils. *Journal of Plant Production*, 4(5): 773-785.
- Banitamim, K., Shokuhfar, A., (2017). Influence different level of humic acid and irrigation regime on seed yield and morphological traits of corn under warm and dry climate condition. *Journal of Crop Nutrition Science*, 3(1): 1-13.
- Berbara, R. L. L., Garcia, A. C., (2014). Humic substances and plant defense metabolism. in physiological mechanisms and adaptation strategies in plants under changing environment. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8591-9>.
- Calvo, P., Nelson, L., Kloepper, J. W., (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, 383(1-2): 3-41.
- Canellas, L. P., Olivares, F. L., (2014). Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 1(1): 1-11.

- Çelik, H., Katkat, A. V., Aşık, B. B., Turan, M. A., (2010). Effects of humus on growth and nutrient uptake of maize under saline and calcareous soil conditions. *Žemdirbystė-Agriculture*, 97(4): 15-22.
- Chang, E., Chung, R. S., Tsai, Y. H., (2007). Effect of different application rates of organic fertilizer on soil enzyme activity and microbial population. *Soil Science and Plant Nutrition*, 53(2): 132-140.
- Darrah, L. L., McMullen, M. D., Zuber, M. S., (2019). Breeding, genetics and seed corn production in corn. *Chemistry and Technology*, 9: 19-41.
- Daur, I., Bakhshwain, A. A., (2013). Effect of humic acid on growth and quality of maize fodder production. *Pakistan Journal of Botany*, 45: 21-25.
- Dvies, G., Ghabbour, E., Khairy, K., (2012). Humic substances: Structures, properties and uses. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53354-8.00012-8>.
- El-Saber, M. M., Gomaa, M. A., Radwan, F. I., Khalil, G. A. M., Kandil, E. E., El-Saber, M. M., (2014). Impact of humic acid application on productivity of some maize hybrids under water stress conditions. *Middle East Journal of Applied Sciences*, 4(3): 668-673.
- El-Sahookie, M., (1990). *Maize Production and Improvement*. Ministry of higher education and scientific research - university of Baghdad.
- Eldardiry, E. I., Sabreen, K., Abd El Hady, M., (2012). Improving soil properties, maize yield components grown in sandy soil under irrigation testaments and humic acid application. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 6(7): 587-593.
- Ertani, A., Francioso, O., Tugnoli, V., Righi, V., Nardi, S., (2011). Effect of commercial lignosulfonate-humate on *Zea mays* L. metabolism. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(22): 11940-11948.
- Esmaili, S., Tadayyon, A., Tadayon, M., Alhossainy, M., (2016). Response of some quantitative and qualitative traits of cotton cultivars to foliar application of humic acid in saline soil. *Journal of Oil Plants Production*, 3(1): 1-14.
- Fan, H. M., Wang, X. W., Sun, X., Li, Y. Y., Sun, X. Z., Zheng, C. S., (2014). Effects of humic acid derived from sediments on growth, photosynthesis and chloroplast ultrastructure in chrysanthemum. *Scientia Horticulturae*, 177: 118-123.
- FAO, (2018). *Faostat, Fao*. Statistical databases faostat.fao.org.
- Gao, C., El-Sawah, A. M., Ismail Ali, D. F., Hamoud, Y. A., Shaghaleh, H., Sheteiwy, M. S., (2020). The integration of bio and organic fertilizers improve plant growth, grain yield, quality and metabolism of hybrid maize (*Zea mays* L.). *Agronomy*, 10(3): 1-25.
- García-Lara, S., Serna-Saldivar, S. O., (2019). Corn history and culture. *Chemistry and Technology*, 1: 1-18.
- Hassan, H., Huthily, K., Mohsen, K., (2019). Effect of humic acid and silicon on some growth characteristics of maize (*Zea mays* L.). *Basrah Journal of Agricultural Sciences*, 32(2): 23-32.
- Hussain, A., Mukhtiar, A., Subhanullah, Ali, W., Tariq, M., Muhammad, S., Khan, M. K., Owais-Khan, M., (2018). Impression of disparate levels of poultry manure and humic acid on the yield and yield traits of maize (*Zea Mays* L.). *European Journal of Experimental Biology*, 08(04): 342-351.
- Jahan, M., Nassiri, M., Amiri, M. B., (2019). The effect of humic acid and water super absorbent polymer application on sesame in an ecological cropping system: a new employment of structural equation modeling in agriculture. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 6(1): 1-15.
- Khaled, H., Fawy, H. A., (2011). Effect of different levels of humic acids on the nutrient content, plant growth, and soil properties under conditions of salinity. *Soil and Water Res.*, 6(1): 21-29.
- Khazaie, H. R., Eyshi, R. E., Bannayan, M., (2011). Application times and concentration of humic acid impact on aboveground biomass and oil production of hyssop (*Hyssopus officinalis*). *Journal of Medicinal Plant Research*, 5(20): 5148-5154.
- Kumar, D., Singh, V., (2018). Bioethanol Production from corn. *Chemistry and Technology*, 12: 615-631.
- Loy, D. D., Lundy, E. L., (2018). Nutritional properties and feeding value of corn and its coproducts. *Chemistry and Technology*, 3: 633-659.

- Maruf, M. T., Mam-Rasul, G. A., (2019). Effect of humic acid and sulfur fertilizer levels on some physiological traits of maize (*Zea mays* L.) On calcareous soil. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(6): 13199-13217.
- Moghadam, H. R. T., Khamene, M. K., Zahedi, H., (2014). Effect of humic acid foliar application on growth and quantity of corn in irrigation withholding at different growth stages. *Maydica*, 59(2): 124-128.
- Nardi, S., Carletti, P., Pizzeghello, D., Muscolo, A., (2009). Biological activities of humic substances. *Biophysico-Chemical Processes Involving Natural Nonliving Organic Matter in Environmental Systems*, 6: 305-339.
- Noroozisharaf, A., Kaviani, M., (2018). Effect of soil application of humic acid on nutrients uptake, essential oil and chemical compositions of garden thyme (*Thymus vulgaris* L.) under greenhouse conditions. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 24(3): 423-431.
- Oktem, A. G., Oktem, A., (2020). Effect of humic acid application methods on yield and some yield characteristics of corn plant (*Zea mays* L. indentata). *Journal of Applied Life Sciences International*, 23(11): 31-37.
- Pengelly, J. L., Kwasny, S., Bala, S., Evans, J. R., Voznesenskaya, E. V., Koteyeva, N. K., Edwards, G. E., Furbank, R. T., von Caemmerer, S., (2011). Functional analysis of corn husk photosynthesis. *Plant Physiology*, 156(2): 503-513.
- Ragheb, E., (2016). Sweet corn as affected by foliar application with amino and humic acids under different fertilizer sources. *Egyptian Journal of Horticulture*, 43(2): 441-456.
- Rajpar, I., Bhatti, M. B., Hassan, Z. U., Shah, A. N., Tunio, S. D., (2011). Humic acid improves growth, yield and oil content of *Brassica campestris* L. *Pakistan Journal of Agriculture, Agricultural Engineering and Veterinary Sciences*, 27(2): 125-133.
- Scott, P., Pratt, R. C., Hoffman, N., Montgomery, R., (2018). Chapter 10 - speciality corns. In *corn: Chemistry and Technology*, 3: 289-303.
- Shahryari, R., Khayatnezhad, M., Bahari, N., (2011). Effect of two humic fertilizers on germination and seedling growth of maize genotypes. *Advances in Environmental Biology*, 5(1): 114-117.
- Sharif, M. H., AL-Rawi, O. H., (2019). Response of several genotypes of maize (*Zea mays* L.) to organic fertilizer (Humic ACID). *Plant Archives*, 19: 112-117.
- Soobhany, N., (2019). Insight into the recovery of nutrients from organic solid waste through biochemical conversion processes for fertilizer production. *Journal of Cleaner Production*, 241: 118-413.
- Tejada, M., Gonzalez, J. L., (2003). Effects of foliar application of a byproduct of the two-step olive oil mill process on maize yield. *Agronomie*, 23(7): 617-623.
- von Wirén, N., André, B., Harling, H., Gojon, A., Patriarca, E., Merrick, M., Miller, A., Reiss, B., Frommer, W. B., (2000). Improving fertiliser use efficiency in agro-ecosystems and nutrient efficiency in plants. *Developments in Plant Genetics and Breeding*, 6(C): 225-233.
- Wulandari, P., Sulistyarningsih, E., Handayani, S., Purwanto, B. H., (2019). Growth and yield response of maize (*Zea mays* L.) on acid soil to different rates of humic acid and NPK fertilizer. *Ilmu Pertanian (Agricultural Science)*, 4(2): 76-84.
- Zandonadi, D. B., Matos, C. R. R., Castro, R. N., Spaccini, R., Olivares, F. L., Canellas, L. P., (2019). Alkamides: a new class of plant growth regulators linked to humic acid bioactivity. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 6(1): 1-12.

Atf İçin: Keskin, B., Temel, S. ve Akbay Tohumcu, S. (2023). Kıraç Şartlarda Yetiştirilen Selvi Sirken'in Tohum Verimi ve Bazı Verim Unsurları Üzerine Farklı Ekim Zamanlarının Etkileri. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 1394-1404.

To Cite: Keskin, B., Temel, S. & Akbay Tohumcu, S. (2023). The Effects of Different Sowing Times on Seed Yield and Some Yield Components of Mountain Spinach Grown in Arid Conditions. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 1394-1404.

Kıraç Şartlarda Yetiştirilen Selvi Sirken'in Tohum Verimi ve Bazı Verim Unsurları Üzerine Farklı Ekim Zamanlarının Etkileri

Bilal KESKİN^{1*}, Süleyman TEMEL¹, Seda AKBAY TOHUMCU¹

Öne Çıkanlar:

- Ekim zamanları belirlendi
- Tohum verimleri belirlendi
- Sap verimleri belirlendi

Anahtar Kelimeler:

- *Atriplex nitens*
- Kuru koşullar
- Hasat indeksi
- Sap verimi
- Ekim zamanı
- Bitki boyu

ÖZET:

Bu çalışma farklı ekim zamanlarının selvi sirken'in tohum verimine etkilerini belirlemek amacı ile iki yıl (2019-2020) süreyle İğdir ekolojik koşullarında yürütülmüştür. Araştırmada farklı ekim dönemlerinin selvi sirken'in bitki boyu, dal sayısı, sap kalınlığı, olgunlaşma süresi, sap verimi, tohum verimi, hasat indeksi, biyolojik verim ve bin tane ağırlığı üzerine etkileri belirlenmiştir. Deneme 3 tekerrürlü olmak üzere tesadüf blokları deneme desenine göre kuru koşullarda kurulmuştur. Çalışmada incelenen parametreler üzerine ekim zamanlarının (bin tane ağırlığı hariç) etkisi önemli bulunmuştur. Ekim zamanının geciktirilmesi incelenen parametrelerde önemli düşüşlere neden olmuştur. Yıllar açısından değerlendirildiğinde ise dal sayısı, bitki boyu, olgunlaşma süresi ve bin tane ağırlığı istatistiksel olarak önemli bulunmuş ve yağışlı geçen 2020 yılında bu değerler (bin tane ağırlığı hariç) 2019 yılına göre daha yüksek olmuştur. En yüksek sap verimi (3541.5 kg/da), tohum verimi (1586.6 kg/da) ve biyolojik verim (5128.1 kg/da) ilk ekim zamanı olan Mart ayı ortasında yapılan ekimlerden elde edilmiştir.

The Effects of Different Sowing Times on Seed Yield and Some Yield Components of Mountain Spinach Grown in Arid Conditions

Highlights:

- Sowing times determined
- Seed yields were determined
- Stem yields were determined

Keywords:

- *Atriplex nitens*
- Arid conditions
- Harvest index stem yield
- Sowing periods
- Plant height

ABSTRACT:

This study was carried out in İğdir ecological conditions for two years (2019-2020) in order to determine the effects of different sowing times on the seed yield of mountain spinach. In the study, the effects of different sowing times on the plant height, number of branches, stem diameters, maturation time, biological yield, stem yield, harvest index, seed yield and thousand grain weight of mountain spinach were determined. The research was carried out in dry conditions with three replications according to the randomized blocks experimental design. The effect of sowing times (except thousand grain weight) on the parameters examined in the study was found to be statistically significant. Delaying the sowing time caused significant decreases in the investigated parameters. When evaluated in terms of years, plant height, number of branches, maturation time and thousand grain weight were found to be statistically significant, and these values (except thousand grain weight) in the rainy 2020 year were higher than in 2019. According to the two-year average results, the highest stem yield (3541.5 kg/da), seed yield (1586.6 kg/da) and biological yield (5128.1 kg/da) were obtained from sowing in mid-March, which is the first sowing time.

¹ Bilal KESKİN (Orcid ID: 0000-0001-6826-9768), Süleyman TEMEL (Orcid ID: 0000-0001-9334-8601), Seda AKBAY TOHUMCU (Orcid ID: 0000-0002-0725-1318), İğdir Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, İğdir, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Bilal KESKİN, e-mail: bilalkeskin66@yahoo.com

GİRİŞ

Hayvan beslemede en çok kullanılan mısır, yonca ve fiğ gibi bitkilerin tuzlu topraklarda ve sulama olmaksızın yetiştirilmesi ekonomik değildir. Sulama imkanının bulunmadığı alanlarda veya tuzlu topraklarda yetiştirilebilecek alternatif yem bitkileri bu alanlar için önem kazanmaktadır. Son zamanlarda kültürel uygulamalarının (özellikle sulama ve gübreleme) bilinçsizce yapılması ve küresel ısınmaya bağlı olarak ekstrem iklim koşullarının oluşması (yüksek sıcaklık ve buharlaşma, düşük yağış gibi) üretim dışı kalmış tarım alanlarının miktarını artırmaktadır (Temel ve Şahin, 2011).

Selvi sirken dünyada kurak ve yarı kurak bölgelerde doğal florada bulunur ve kurağa, tuza karşı çok dayanıklıdır (Benzarti et al, 2013). Türkiye’de de dünyada olduğu gibi doğal olarak yetişen selvi sirken taze veya pişmiş olarak insan beslenmesinde, çiçeklenme dönemi ve sonrasında ise hayvan beslenmesinde kullanılmaktadır (Acar ve Dursun, 2012). İnsan ve hayvan beslenmesi dışında topraktan ağır metal bertarafı ve biyogaz üretimi gibi pek çok kullanım alanı mevcuttur. Selvi sirken tuzlu alanlarda yüksek verim verdiği, besin içeriğinin hayvan besleme açısından uygun olduğu, tuzlu su ile sulansa dahi veriminin düşmediği yapılan çalışmalarda belirlenmiştir (Watson, 1990; Akinshina et al, 2014; Altikat ve Alma, 2021). Çiçeklenme döneminde selvi sirken’in bitki boyunun 161.0 cm, sap kalınlığının ise 13.0 mm olduğunu belirlemişlerdir (Acar ve Güncan, 2002). Araştırmacılar bazı halofitlerle yürüttükleri bir çalışmada selvi sirken’in bitki boyunun 144.0 cm, tohum veriminin ise 161 kg/da olduğunu bildirmişlerdir (Rabbimov et al, 2011). Farklı ekim zamanlarının selvi sirken’in bitkisel özelliklerine etkilerini inceledikleri çalışmada araştırmacılar, bitki boyu ve sap kalınlığının farklı ekim zamanlarında değişiklik gösterdiğini, bitki boylarının 40.35-70.37 cm arasında, sap çapının 6.77-8.98 mm arasında değiştiğini saptamışlardır (Acar ve ark., 2019).

İğdir ekolojik koşullarında kuru şartlarda farklı ekim ve hasat zamanlarının selvi sirken’in ot verimine etkilerinin incelendiği bir çalışmada en yüksek kuru ot verimi (3602.4 kg/da) tohum ekimlerinin Mart ayı ortasın yapıldığı ve hasat işlemlerinin de çiçeklenme başlangıcında yapıldığı dönemlerde elde ettiklerini bildirmişlerdir (Keskin ve Temel, 2022). Kaba yem üretimi amacı ile aynı ekolojik koşullarda yürütülen farklı bir çalışmada araştırmacılar selvi sirken’in yaş ot veriminin ekim dönemlerine göre farklılık gösterdiğini, 11036.9-16947.2 kg/da arasında değiştiğini ve ekim zamanının geciktirilmesi ile yaş ot verimlerinde önemli azalışlar meydana geldiğini tespit etmişlerdir (Temel ve Keskin, 2022a). Yine İğdir’da sulu koşullarda farklı ekim zamanlarının selvi sirken’in tohum verimi üzerine etkilerini inceledikleri çalışmada araştırmacılar ekim zamanının gecikmesi ile tohum verimlerinde düşüş meydana geldiğini en yüksek tohum veriminin ilk ekim zamanından (Mart ortasında; 2597.3 kg/da), en düşük ise son ekim zamanından (Nisan ortasında; 952.3) elde edildiğini bildirmişlerdir (Temel ve Keskin, 2022b). Gerek kaba yem üretimi gerekse sulu koşullarda tohum üretimi için yürütülen çalışmalarda ekim zamanının selvi sirken’in ot ve tohum verimini önemli ölçüde etkilediği yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur (Temel et al., 2022).

Selvi sirken ile yürütülen çalışmalar daha çok ot verimine yönelik çalışmalar olup bu çalışmalarda farklı ekim zamanlarının ot verimi ve kalitesi üzerine etkileri belirlenmiştir (Keskin ve Temel, 2022; Temel ve Keskin, 2022a). Fakat tohum verimi ile ilgili çok az sayıda çalışma bulunmakta ve kuru koşullarda farklı ekim zamanlarının tohum verimine etkisi ile ilgili yapılmış çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışma, sulama imkanının olmadığı kurak bölgelerde selvi sirken’in tohum üretimi için yetiştirilmesi durumunda ne zaman ekileceğini ortaya koymak amacı ile yürütülmüştür.

MATERYAL VE METOT

Araştırma 2019-2020 yıllarında 2 yıl süre ile Iğdır Üniversitesi Tarımsal Uygulama ve Araştırma Müdürlüğü'ne ait kuru deneme alanında yürütülmüştür. Deneme tesadüf blokları deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak kurulmuştur. Denemenin kurulduğu 2019-2020 yıllarına ait yağış, sıcaklık ve nispi nem sırası ile 2019 yılında; 13.8 °C, 162.4 mm ve %57.3, 2020 yılında ise; 13.7 °C, 297.0 mm ve %57.7 olarak ölçülmüştür. Araştırmanın yürütüldüğü bölgeye ait sıcaklık, yağış ve nispi nemin uzun yıllar ortalamaları sırası ile 12.4 °C, 265.4 mm ve %54.6 olarak ölçülmüştür. Araştırmanın her iki yılında da sıcaklık ortalamaları uzun yıllar verilerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Araştırmanın birinci yılında toplam yağış miktarı (162.4 mm) uzun yıllar ortalamasından (265.4 mm) daha düşük iken, araştırmanın ikinci yılına ait ortalama yağış miktarı (297 mm) ise hem ilk yıla göre hem de uzun yıllar ortalamasından (265.4 mm) daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Araştırmanın Yürütüldüğü Iğdır İli İklim Verileri (Anonim, 2021)

Aylar	Sıcaklık (C)			Yağış (mm)			Nem (%)		
	2019	2020	Uzun Yıllar (1978-2017)	2019	2020	Uzun Yıllar (1978-2017)	2019	2020	Uzun Yıllar (1978-2017)
Ocak	0.6	0.0	-3.1	12.3	7.3	13.1	69.3	65.2	66.5
Şubat	3.7	1.9	0.3	19.0	14.1	15.5	61.9	64.4	59.8
Mart	6.8	10.6	6.9	23.5	18.1	21.5	59.7	56.4	49.9
Nisan	12.1	11.7	13.4	25.1	83.6	37.9	56.9	64.8	49.0
Mayıs	19.9	18.6	17.6	25.9	76.1	48.9	51.2	55.0	51.1
Haziran	25.6	23.9	22.3	13.6	15.7	33.2	45.8	44.7	45.7
Temmuz	27.3	26.7	26.2	0.6	30.2	14.7	40.1	48.4	43.3
Ağustos	27.0	24.2	25.6	0.6	15.3	9.8	41.3	47.6	44.5
Eylül	19.9	23.5	20.7	15.4	1.4	10.3	53.6	47.7	48.9
Ekim	15.8	14.5	13.3	4.5	7.3	28.1	58.1	49.6	62.3
Kasım	4.3	7.2	5.9	9.5	7.3	19.4	70.1	67.0	65.7
Aralık	3.3	1.9	-0.4	12.4	20.6	13.0	79.2	81.4	68.4
Top./Ort.	13.8	13.7	12.4	162.4	297.0	265.4	57.3	57.7	54.6

Araştırmanın yürütüldüğü alandan alınan toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiş (Çizelge 2) ve analiz sonuçlarına göre; araştırma alanı topraklarının killi-tınlı, organik maddesinin çok az, hafif alkali, hafif tuzlu, fosfor miktarının az, potasyum miktarının çok olduğu tespit edilmiştir (Richards, 1954; Ülgen ve Yurtsever, 1974).

Çizelge 2. Araştırmanın Yürütüldüğü Alanın Bazı Toprak Özellikleri

Bünye	EC (ds/m)	pH	Organik Madde (%)	Kireç (%)	N (%)	K (ppm)	P (ppm)
Killi-Tınlı	3.44	7.51	0.61	1.32	0.03	550.00	5.53

Araştırmada ekimler; Mart ortası (1.EZ), Mart sonu (2.EZ), Nisan başı (3.EZ) ve Nisan ortası (4.EZ) olmak üzere 4 farklı dönemde yapılmıştır. Araştırmanın birinci yılında ekimler 14 Mart, 28 Mart, 8 Nisan ve 18 Nisan'da, ikinci yılda ise; 21 Mart, 31 Mart, 10 Nisan ve 20 Nisan tarihlerinde yapılmıştır. Selvi sirken tohum ekimleri sıra aralığı 45 cm ve sıra üzeri 10 cm olacak şekilde 5 sıra halinde, 3-4 cm derinlikte yapılmıştır. Buna göre her bir parselin alanı 9 m² (4 m uzunluk x 2.25 m en) olarak ayarlanmıştır. Deneme kuru şartlarda yürütülmüş olup, yetiştirme süresi boyunca sulama ve gübreleme yapılmamıştır.

Hasatlar bitki üzerindeki meyvelerin %75'inin sarardığı dönemde yapılmıştır. Deneme parsellerinin her birinin başından 50 cm ve kenarlarından birer sıra kenar tesiri olarak ayrılmış, geri kalan alan hasat edilmiştir. Araştırmada dal sayısı, sap kalınlığı, bitki boyu, olgunlaşma süresi, sap verimi, hasat indeksi, tohum verimi, biyolojik verim ölçümleri yapılmıştır. Bitkiler toprak seviyesinin 10 cm üzerinden olacak şekilde orak yardımı ile biçilmiştir. Her parselden biçimi yapılan bitkiler içerisinde parseli temsilen 10 bitki seçilerek bu bitkilerden dal sayısı, bitki boyu ve sap kalınlığı

belirlenmiştir (Keskin ve Temel, 2022). 10 bitkinin metre ile boyları ölçülüp ortalaması alınarak bitki boyu, her bitkideki gövdeden çıkan dalların sayılması ve ortalamalarının alınması ile dal sayısı, dijital kumpas ile ölçülerek her bitkinin sap kalınlığı belirlenmiştir. Ölçümleri alınan bitkiler önce açık havada kurumaya bırakılmış daha sonra 40 °C'ye ayarlı etüvde kurutularak tartılmış sap ve tohum verimleri belirlenmiştir. Tohum verimleri selvi sirken tohumlarının perikarplı hali ile tartımından elde edilmiştir. Dekara sap ve tohum verimleri belirlendikten sonra biyolojik verim= sap verimi + tohum verimi, hasat indeksi= tohum verimi/ (tohum verimi + sap verimi)/100 formülleri ile saptanmıştır (Kır ve Temel, 2017).

Araştırmadan elde edilen bulgular yıl tekrarlamalı Tesadüf Blokları Deneme Desenine göre JMP (5.0.1) istatistik programı kullanılarak varyans analizleri yapılmış ve önemli çıkan ortalamalar LSD_(0.05) testine göre karşılaştırılmıştır (JMP, 2003)

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bitki Boyu (cm)

Araştırmanın her iki yılına ait farklı ekim zamanlarındaki selvi sirken'in bitki boyları Çizelge 3'te verilmiş olup, bitki boyu bakımından yıllar arasında istatistiksel olarak önemli farklılık gözlenmiştir. Birinci yılda selvi sirken'in ortalama bitki boyunun 284.4 cm, ikinci yılda ise 314.0 cm olduğu belirlenmiştir. Araştırmanın ikinci yılında toplam yağış miktarının yüksek olmasından dolayı bitki boyunun birinci yıldan daha fazla olduğu düşünülmektedir (Çizelge 3). Nitekim yağışın bitkilerin vejetatif aksamalarının gelişmesini teşvik ettiği ve bundan dolayı da bitki boyunda artışa sebep olduğu bilinmektedir (Keskin ve Temel, 2022). Araştırmanın iki yıllık ortalama sonuçlarına göre 1.EZ ve 2.EZ'den elde edilen bitki boyları arasında istatistiki olarak fark bulunmayıp, 3.EZ ve 4.EZ'ten elde edilen bitki boylarından daha yüksek oldukları belirlenmiştir. Ekim zamanlarının gecikmesi ile bitki boyunda düşüşler meydana gelmiştir. Nitekim ot üretim amacıyla yetiştirilen selvi sirken bitkisinde ekim zamanının gecikmesi ile bitki boyunun düştüğünü, bunun sebebinin de iklimsel faktörlerden dolayı geç ekimlerde bitkilerin strese girerek daha erken dönemde generatif aşamaya geçtiklerini, bunun da bitki boyunun düşmesine sebep olduğunu bildirmişlerdir (Keskin ve Temel, 2022). Farklı ekolojilerde yapılan çalışmalarda selvi sirken'in bitki boyunun; Acar ve Güncan (2002) çiçeklenme döneminde 161 cm, Toderich ve Tsukatania (2007) 121 ile 180 cm arasında, Rabbimov ve ark. (2011) 144 cm, Keskin ve Temel (2022) tam çiçeklenme döneminde 289.7 cm olduğunu belirlemişlerdir.

Çizelge 3. Farklı Ekim Zamanlarına Ait Selvi Sirken'in Bitki Boyları (cm)

Yıl	1.EZ	2.EZ	3.EZ	4.EZ	Yıl ort.
2019	308.9	290.8	271.7	266.1	284.4 ^b
2020	331.3	324.6	316.1	283.9	314.0 ^a
EZ ort.	320.1 ^a	307.7 ^a	293.9 ^b	275.0 ^c	
LSD _{yıl} : 7.9**		LSD _{EZ} : 13.2**		LSD _{yıl x EZ} : öd	

*p>0.05, **p>0.01, aynı harf ile gösterilen veriler istatistiksel olarak önemsizdir.

Sulu koşullarda farklı ekim zamanlarının selvi sirken'in tohum verimi üzerine etkilerini inceledikleri çalışmada Temel ve Keskin (2022b) en yüksek bitki boyunun ilk ekim döneminden (3.30 m) elde edildiğini saptamışlardır. Araştırmalar arasındaki farklılığın iklim ve ekolojik farklılıklardan ve selvi sirken'in yetiştirme amacına bağlı olarak farklı dönemlerde hasat edilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Dal sayısı (adet/bitki)

Araştırmanın her iki yılına ait farklı ekim zamanlarına göre selvi sirken'in dal sayıları Çizelge 4'te verilmiştir. Farklı ekim zamanlarından elde edilen dal sayısı ölçümlerinde yıllar arasında ve ekim

Kıraç Şartlarda Yetiştirilen Selvi Sirken'in Tohum Verimi ve Bazı Verim Unsurları Üzerine Farklı Ekim Zamanlarının Etkileri

zamanları arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar gözlenmiştir. Araştırmanın birinci yılına ait dal sayısı ortalamasının (30.9 adet/bitki) ikinci yıla ait dal sayısı (42.2 adet/bitki) ortalamasından istatistiki olarak daha düşük olduğu belirlenmiştir. Ekim zamanları açısından değerlendirildiğinde, en yüksek dal sayısı 40.7 adet/bitki ile ilk ekim döneminde, en düşük dal sayısı ise son ekim zamanında (33.1 adet/bitki) belirlenmiştir (Çizelge 3). Ekim zamanı geciktikçe dal sayısı azalmıştır. Bu azalış beklenen bir durumdur. Nitekim bitkilerde vejetasyon süresi uzadıkça dal sayısı artmaktadır. Konu ile ilgili olarak Keskin ve Temel (2022a) kaba yem üretim amacıyla yetiştirilen selvi sirken bitkisinde ekim zamanının geciktirilmesi ile dal sayısında düşüşler gözlendiğini ve en yüksek dal sayısının 45 adet/bitki olduğunu ve bu değer ilk ekim zamanından elde edildiğini bildirmişlerdir. Temel ve Keskin (2022b) sulu koşullarda farklı ekim zamanlarının selvi sirken'in tohum verimine etkisini inceledikleri çalışmalarında en yüksek dal sayısını ilk ekim zamanında (44.1 adet/bitki) belirlemişlerdir. Literatür taraması yapıldığında kuru koşullarda selvi sirken bitkisinin ekim zamanlarına göre tohum verimindeki değişiminin incelendiği bir çalışma bulunamamıştır. Ancak selvi sirken bitkisi ile aynı familyadan olan kinoa bitkisinin yüksek tohum verimi için uygun ekim zamanlarını belirlemek amacı ile yürüttükleri çalışmada araştırmacılar; dal sayısının geç ekimlere göre erken dönemde yapılan ekimlerde daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir (Temel ve Tufur, 2020). Aynı çalışmada istatistiki olarak en yüksek dal sayısı grubunu 1. ve 2. ekim zamanlarının (22.0 ve 22.4 adet bitki⁻¹), en düşük grubu ise 3. ve 4. ekim zamanlarının (20.5 ve 19.7 adet/bitki) oluşturduğunu bildirmişlerdir. Araştırmanın iki yıllık ortalama sonuçlarına göre ekim zamanının geciktirilmesi ile dal sayılarında düşüş gözlenmiş olup bu sonuç yapılan araştırmalarla uyum içerisindedir.

Çizelge 4. Farklı Ekim Zamanlarına Ait Selvi Sirken'in Dal Sayıları (adet/bitki)

Yıl	1.EZ	2.EZ	3.EZ	4.EZ	Yıl ort.
2019	34.5	32.3	28.9	27.9	30.9 ^b
2020	47.0	41.9	41.5	38.3	42.2 ^a
EZ ort.	40.7 ^a	37.1 ^b	35.2 ^b	33.1 ^c	
LSD _{Yıl} : 1.49**		LSD _{EZ} : 1.95**		LSD _{Yıl x EZ} : öd	

öd: önemsiz, **p>0.01, aynı harf ile gösterilen veriler istatistiksel olarak önemsizdir.

Sap Kalınlığı (mm)

İki yıl süreyle farklı ekim zamanlarının test edildiği çalışmada selvi sirken bitkisine ait ortalama sap kalınlıkları Çizelge 5'te verilmiştir. Sap kalınlığı bakımından yıllar arasında önemli bir farklılık bulunmazken, ekim zamanları arasında istatistiki olarak önemli farklılık belirlenmiş ve ekim zamanı geciktirildikçe selvi sirken'in sap kalınlığı azalmıştır. Buna göre en yüksek sap kalınlığı 1.EZ'den (19.9 mm), en düşük sap kalınlığı ise 4.EZ'ten (14.2 mm) elde edilmiştir. Selvi sirken ile yapılan bazı çalışmalarda sap kalınlığını Acar ve Güncan (2002) çiçeklenme döneminde 13 mm ve Keskin ve Temel (2022) çiçeklenme döneminde araştırmalarının birinci yılında 16.6 mm, ikinci yılda ise 15.3 mm olarak belirlemişlerdir. Farklı araştırmalarda araştırmacılar selvi sirken'in sap kalınlığının ekolojik farklılıklar, ekim ve hasat dönemlerine göre değişiklik gösterdiğini bildirmişlerdir (Acar ve Güncan 2002; Keskin ve Temel, 2022). Ekimi geciktirilen bitkilerde sap kalınlığının düşük çıkması, geciktirilen ekimlerde bitkilerin daha yüksek sıcaklıklara maruz kalması sebebiyle yeterli vejetatif gelişme göstermeden generatif döneme geçmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Temel ve Tufur, 2020). Benzer olarak sulu koşullarda tohum üretim amacıyla yetiştirilen selvi sirken bitkisinde ekim zamanının ilerlemesi ile sap kalınlığının düştüğünü bildirmişler (Temel ve Keskin, 2022b) ve bu sonuçlar araştırma bulgularımızı destekler niteliktedir.

Yıl x ekim zamanı interaksyonu açısından değerlendirildiğinde, en yüksek sap kalınlığı 2019 yılındaki ilk ekim döneminde belirlenmiştir (Çizelge 4). Araştırmanın birinci yılında 3.EZ ve 4.EZ'ten

Kıraç Şartlarda Yetiştirilen Selvi Sirken'in Tohum Verimi ve Bazı Verim Unsurları Üzerine Farklı Ekim Zamanlarının Etkileri

elde edilen sap kalınlıkları arasında istatistiki olarak fark gözlenmezken, araştırmanın ikinci yılında önemli farklılık belirlenmiştir. Bunun yıllar arasındaki iklim farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 5. Farklı Ekim Zamanlarına Ait Selvi Sirken'in Sap Kalınlıkları (mm)

Yıl	1.EZ	2.EZ	3.EZ	4.EZ	Yıl ort.
2019	20.7 ^a	18.4 ^{bc}	14.8 ^d	13.3 ^d	16.8
2020	19.1 ^{ab}	18.6 ^{bc}	16.9 ^c	15.0 ^d	17.4
EZ ort.	19.9 ^a	18.5 ^b	18.8 ^c	14.2 ^d	
LSD _{Yıl} : öd	LSD _{EZ} : 1.27**			LSD _{Yıl x EZ} : 1.80*	

öd: önemsiz, **p>0.01, *p>0.05, aynı harf ile gösterilen veriler istatistiksel olarak önemsizdir.

Olgunlaşma Süresi (Gün)

Farklı zamanlarda ekilen selvi sirken bitkisinin olgunlaşma sürelerine ait ortalama değerler Çizelge 6'da sunulmuştur. Olgunlaşma süresi bakımından yıllar ve ekim zamanları arasında istatistiki olarak önemli farklılıklar saptanmıştır. Çizelge 6 incelendiğinde, ikinci yılda (2020) selvi sirken bitkisinin tohumlarını ilk yıla göre daha geç bir sürede olgunlaştırdığı görülmüştür. Bunun sebebinin araştırmanın ikinci yılında yıllık yağış miktarı ve nispi nemin birinci yıla göre daha yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yağışın fazla olması bitkilerin vejetatif gelişimini artırarak hasat olgunluğuna gelmelerini geciktirmiş olabilir (Temel ve Keskin, 2022b). Ekim zamanı açısından değerlendirildiğinde, en yüksek olgunlaşma süresi 1.EZ'de (185.0 gün), en düşük olgunlaşma süresi ise 4.EZ'te (162.0 gün) belirlenmiş ve ekim zamanı geciktirildikçe olgunlaşma sürelerinin azaldığı belirlenmiştir. Sulu koşullarda selvi sirken'in farklı ekim zamanlarındaki tohum verimini belirledikleri çalışmada Temel ve Keskin (2022b) erken dönemde (Mart ortası) yaptıkları ekimlerden elde edilen olgunlaşma süresinin (186.5 gün), geç dönemde (Nisan ortası) yapılan ekimlerden (164.5 gün) daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca Temel ve Tufur (2020) selvi sirken ile aynı alt familyada (Chenopodiaceae) yer alan kinoa bitkisinde; istatistiksel olarak en yüksek olgunlaşma süresi ortalamasının ilk ekim zamanından (157.7 gün), en düşük ise en son ekim zamanından (142.1 gün) elde edildiğini belirtmişlerdir. Aynı çalışmada geç yapılan ekimlerde olgunlaşma sürelerinin kısılmasının ekimin geciktirilmesi ile artan hava sıcaklıkları bitkilerin yeterli vejetatif gelişme göstermeden generatif döneme geçmelerinden kaynaklandığını bildirmişlerdir.

Çizelge 6. Farklı Ekim Zamanlarına Ait Selvi Sirken'in Olgunlaşma Süreleri (gün)

Yıl	1.EZ	2.EZ	3.EZ	4.EZ	Yıl ort.
2019	188.0	180.0	172.0	164.0	171.3 ^b
2020	182.0	175.0	168.0	160.0	176.0 ^a
EZ ort.	185.0 ^a	177.5 ^b	170.0 ^c	162.0 ^d	
LSD _{Yıl} : 3.40*	LSD _{EZ} : 3.63**			LSD _{Yıl x EZ} : öd	

öd: önemsiz, *p>0.05, **p>0.01, aynı harf ile gösterilen veriler istatistiksel olarak önemsizdir.

Sap verimi (kg/da)

Sap verimi yıllar arasında istatistiki olarak önemli bulunmazken, ekim zamanları arasında % 1 ihtimal seviyesinde önemli farklılıklar göstermiş ve ortalama değerler Çizelge 7'de yer almıştır. Ekim zamanının geciktirilmesi ile sap veriminde önemli düşüşler gözlenmiş ve en yüksek sap verimi 3541.5 kg/da ile 1.EZ'den elde edilmiştir. Bu azalış Temel ve Tan (2002) tarafından da ifade edildiği gibi ekim zamanının gecikmesi ile bitkinin gelişim süresinin kısılmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Sulu koşullarda farklı ekim zamanlarının selvi sirken'in tohum verimine etkilerini inceledikleri çalışmada Temel ve Keskin (2022b) en yüksek kes veriminin Mart ortası ve Mart sonunda (4238.4, 3972.0 kg/da) yaptıkları ilk iki ekim zamanından, en düşük ise Nisan başı ve Nisan ortasında (2670.6,

Kıraç Şartlarda Yetiştirilen Selvi Sirken'in Tohum Verimi ve Bazı Verim Unsurları Üzerine Farklı Ekim Zamanlarının Etkileri

2238.0 kg/da) yaptıkları son ekimlerden elde ettiklerini bildirmişlerdir. Araştırmacılar serin iklim bitkilerinin yazlık olarak yetiştirildiğinde geç ekilmesi durumunda hava sıcaklıklarının artışı ile vejetatif gelişme göstermeden generatif döneme geçme eğiliminde olduğunu belirtmişlerdir. Böylece serin iklim bitkisi olan selvi sirken'in erken ekimlere göre geç ekimlerde kes veriminde düşüşlerin yaşandığını söylemek mümkündür (Temel ve Keskin, 2022b). Selvi sirken bitkisinin farklı ekim zamanlarındaki sap verimleri yıllara bağlı olarak farklılık göstermiş bu da yıl x ekim zamanı interaksyonunun önemli çıkmasına neden olmuştur. Nitekim araştırmanın birinci yılında 2.EZ ve 3.EZ'ten elde edilen sap verimleri istatistiki olarak önemli farklılık gösterirken, ikinci yılda istatistiksel olarak herhangi bir farklılık gözlenmemiştir.

Çizelge 7. Farklı Ekim Zamanlarına Ait Selvi Sirken'in Sap Verimleri (kg/da)

Yıl	1.EZ	2.EZ	3.EZ	4.EZ	Yıl ort.
2019	3928.2 ^a	2754.1 ^c	1759.5 ^e	1601.0 ^{ef}	2510.7
2020	3154.7 ^b	2483.7 ^d	2413.0 ^d	1583.5 ^f	2408.7
EZ ort.	3541.5 ^a	2618.9 ^b	2086.3 ^c	1592.2 ^d	
LSD _{yıl} : öd	LSD _{EZ} : 120.1**		LSD _{yıl x EZ} : 169.9**		

öd: önemsiz, **p>0.01, aynı harf ile gösterilen veriler istatistiksel olarak önemsizdir.

Tohum verimi (kg/da)

Tohum verimi üzerine farklı ekim zamanlarının test edildiği mevcut çalışmada elde edilen ortalama değerler Çizelge 8'de verilmiştir. Ekim zamanları açısından tohum verimleri istatistiki olarak önemli bulunmuş ve en yüksek tohum verimleri 1586.6 kg/da ile ilk ekim döneminde elde edilmiştir. Çizelge 7 incelendiğinde, ekim zamanı geciktirildikçe tohum verimlerinin düştüğü görülmüştür. Bu, geç dönemde yapılan ekimlere göre ilk ekim zamanında bitkilerin ortam koşullarından daha fazla istifade edebileceği daha uzun bir yetiştirme süresine sahip olmasından kaynaklanmış olabilir. Nitekim Temel ve Keskin (2022b) sulu koşullarda ekim zamanlarının selvi sirken'in tohum verimi ve bazı verim unsurları üzerine etkilerini inceledikleri çalışmalarında en yüksek tohum veriminin 2597.3 kg/da ile ilk ekim (Mart ortası) zamanından elde edildiğini ve ekimin geciktirilmesi ile tohum veriminde düşüşler gözlemlendiğini bildirmişlerdir.

Yapılan araştırmalarda selvi sirken tohum verimini Toderich ve Tsukatania (2007) 208 ile 296 kg/da arasında, Rabbimov ve ark. (2011) 161 kg/da ve Amouei (2013) 521.6 kg/da olarak belirlemişlerdir. Araştırmadan elde edilen tohum verimleri yapılan çalışmalardan daha yüksek olup, bunun sebebinin ekolojik farklılıklar olduğu düşünülmektedir. Selvi sirken'in halofit bir bitki olmasından dolayı İçdir ili tuzlu topraklarına iyi adaptasyon sağladığı bu nedenle tohum veriminin diğer araştırmalardan elde edilen sonuçlardan yüksek olduğunu söylemek mümkündür (Keskin ve Temel, 2022).

Varyans analizi sonuçlarına göre yıl x ekim zamanı interaksyonu istatistiksel olarak çok önemli bulunmuştur (Çizelge 7). Araştırmanın birinci yılında (2019) tohum verimleri 1.EZ ile 2.EZ arasında istatistiki olarak önemli farklılık gözlenirken, araştırmanın ikinci yılında istatistiksel olarak fark saptanmamıştır. Bunun; araştırmanın yürütüldüğü yıllara ait sıcaklık ve yağışın farklılık göstermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 8. Farklı Ekim Zamanlarına Ait Selvi Sirken'in Tohum Verimleri (kg/da)

Yıl	1.EZ	2.EZ	3.EZ	4.EZ	Yıl ort.
2019	1834.9 ^a	1365.1 ^b	717.3 ^e	498.2 ^f	1103.9
2020	1338.3 ^{bc}	1235.6 ^c	1091.3 ^d	490.4 ^f	1063.9
EZ ort.	1586.6 ^a	1300.4 ^b	904.3 ^c	544.3 ^d	
LSD _{yıl} : öd	LSD _{EZ} : 87.2**		LSD _{yıl x EZ} : 123.3**		

öd: önemsiz, **p>0.01, aynı harf ile gösterilen veriler istatistiksel olarak önemsizdir.

Biyolojik verim (kg/da)

Analiz sonuçları biyolojik verim üzerine ekim zamanı ve yıl x ekim zamanı interaksiyonun önemli etkisinin olduğunu göstermiştir ve sonuçlar Çizelge 9'da sunulmuştur.

Araştırmadan elde edilen iki yıllık ortalama sonuçlara göre en yüksek biyolojik verim; en erken ekim zamanı olan 1.EZ'den (5128.1 kg/da) elde edilirken, en düşük biyolojik verim en geç ekim zamanı olan 4.EZ'te (2136.6 kg/da) belirlenmiştir. Biyolojik verim sap ve tohum veriminin toplanması ile elde edildiğinden ekim zamanlarının geciktirilmesi bu iki parametredeki düşüşler biyolojik verimin de düşük olmasına neden olmuştur. Nitekim, Albayrak ve ark., (2005) tohum veriminin artması ile biyolojik verimin arttığını bildirmişlerdir.

Sulu koşullarda farklı ekim zamanlarının selvi sirken'in tohum verimine etkisini inceledikleri çalışmada araştırmacılar biyolojik verimlerin 4282.3-5743.7 kg/da arasında değiştiğini ve ekim zamanının geciktirilmesi ile önemli azalmaların olduğunu saptamışlardır (Temel ve Keskin, 2022b). Yapılan literatür taramalarında kuru koşullarda selvi sirken'in ekim zamanlarına göre tohum verimindeki değişimi ortaya koyan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ancak farklı yem bitkisi türlerinde yapılan çalışmalarda ekim zamanlarının geciktirilmesiyle tohum verimlerinin azaldığı ortaya konmuştur. Farklı ekolojilerde, farklı bitkilerle yürütülen çalışmalarda araştırmacılar biyolojik verim değerlerini; Albayrak ve ark. (2005) yaygın fiğde 597 ile 762 kg/da arasında, Temel ve Tufur (2020) kinoa da en yüksek 1035.3 kg/da, Karadağ ve ark. (2012) bazı mürdümük hatlarında ortalama 646.6 kg/da, Önkür ve Keskin (2019) farklı kinoa çeşitlerinde 448.8 ile 844.7 kg/da arasında, Akgün ve ark. (2007) farklı tritikale genotiplerinde 923.9 ile 1204.3 kg/da arasında olduğunu belirlemişlerdir. Her bitkinin sap verimi ve tohum verimi genetik özelliklerinden dolayı birbirinden farklı olacağından biyolojik verimlerinin de farklılık göstermesi beklenen bir durumdur. Biyolojik verimin yüksek olması bitkinin hem sap hem de tohum veriminin yüksek olduğunun bir göstergesidir. Pek çok bitkiye kıyasla selvi sirken'in biyolojik verimi yüksektir. Bunun sebebi selvi sirken'in hem sap veriminin hem de tohum veriminin yüksek olmasıdır.

Çizelge 9. Farklı Ekim Zamanlarına Ait Selvi Sirken'in Biyolojik Verimi (kg/da)

Yıl	1.EZ	2.EZ	3.EZ	4.EZ	Yıl ort.
2019	5763.1 ^a	4119.2 ^c	2476.9 ^e	2099.3 ^f	3614.6
2020	4493.1 ^b	3719.2 ^d	3504.3 ^d	2173.9 ^f	3472.6
EZ ort.	5128.1 ^a	3919.2 ^b	2990.6 ^c	2136.6 ^d	
LSD _{yıl} : öd	LSD _{EZ} : 189.1**		LSD _{yıl x EZ} : 267.5**		

öd: önemsiz, **p>0.01, aynı harf ile gösterilen veriler istatistiksel olarak önemsizdir.

Çizelge 9 incelendiğinde, araştırmanın birinci yılında biyolojik verim ikinci ve üçüncü ekim dönemlerinde istatistiki olarak aynı grupta yer almazken, araştırmanın ikinci yılında bu iki ekim zamanında elde edilen değerler aynı istatistiksel grupta yer almıştır. Bu da yıl x ekim zamanı interaksiyonun önemli çıkmasına neden olmuş olabilir.

Hasat indeksi (%)

Çizelge 10'da, iki yıl süreyle farklı zamanlarda ekimi yapılan selvi sirken bitkisinin hasat indeksine ait varyans analiz sonuçları ve ortalama değerler yer almaktadır. Hasat indeksi bakımından yıllar arasında istatistiksel olarak farklılık belirlenmezken, ekim zamanları arasında istatistiki olarak önemli farklılıklar saptanmıştır. İki yıllık ortalama sonuçlara göre en yüksek hasat indeksi %33.2 ile 2.EZ'den, en düşük hasat indeksi ise %25.5 ile 4.EZ'den elde edilmiştir. 2.EZ'de tohum veriminin oransal olarak sap veriminden 1.EZ'e göre daha yüksek olması sebebi ile hasat indeksi daha yüksek bulunmuştur. Her ne kadar ilk ekim döneminde hasat indeksi ikinci ekim zamanına göre düşük bulursa

Kıraç Şartlarda Yetiştirilen Selvi Sirken'in Tohum Verimi ve Bazı Verim Unsurları Üzerine Farklı Ekim Zamanlarının Etkileri

da ikinci ekim dönemini müteakiben hasat indekslerinin düştüğü görülmüştür. Selvi sirken ile aynı familyadan olan kinoa ile yürüttükleri araştırmada Hirich ve ark. (2014) hasat indeksinin ekim zamanının geciktirilmesi ile düştüğünü bildirmişlerdir.

Çizelge 10. Farklı Ekim Zamanlarına Ait Selvi Sirken'in Hasat İndeksleri (%)

Yıl	1.EZ	2.EZ	3.EZ	4.EZ	Yıl ort.
2019	31.8 ^b	33.1 ^a	28.9 ^{de}	23.8 ^f	29.4
2020	29.8 ^{cd}	33.2 ^a	31.1 ^{bc}	27.2 ^e	30.3
EZ ort.	30.8 ^b	33.2 ^a	30.0 ^b	25.5 ^c	
LSD _{yıl} : 1.00 öd		LSD _{EZ} : 1.27**		LSD _{yıl x EZ} : 1.80**	

öd: önemsiz, **p>0.01, aynı harf ile gösterilen veriler istatistiksel olarak önemsizdir.

Yıl x ekim zamanı interaksyonu açısından hasat indeksi istatistiki olarak önemli bulunmuş ve en yüksek değerler her iki yılda da ikinci ekim zamanında, en düşük değer ise 2019 yılında yapılan dördüncü ekim döneminde belirlenmiştir. Yıllara bağlı olarak meydana gelen bu değişimlerin araştırmanın ikinci yılındaki yağış miktarındaki artıştan kaynaklandığı düşünülmektedir. Geren ve ark. (2014) farklı ekim zamanlarının kinoanın tane verimi ve verim unsurlarına etkilerini inceledikleri çalışmada hasat indeksininin %54.1, en düşük hasat indeksinin ise %39.5 olduğunu ve çalışmalarının her iki yılına ait hasat indekslerinin arasında önemli farklılıklar olduğunu belirtmişlerdir.

Bin tane ağırlığı (g)

Farklı ekim zamanlarına göre selvi sirken bitkisinin bin dane ağırlıkları Çizelge 11'de verilmiştir. İstatistiki açıdan yıllar arasında çok önemli farklılıklar gözlenirken, ekim zamanları arasında bir farklılık bulunmamıştır. Araştırmanın birinci yılından elde edilen ortalama bin dane ağırlıklarının (8.35 g) ikinci yıldan elde edilen bin dane ağırlıklarından (6.32 g) daha yüksek olduğu saptanmıştır. Oluşan bu farklılıkların yıllar arasındaki yağış ve sıcaklık farklarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Araştırmanın birinci yılında 2.EZ (8.06 g) istatistiki olarak 3.EZ'ten (9.33 g) daha düşük belirlenmiş, araştırmanın ikinci yılında ise 2.EZ (6.62 g) ile 3.EZ (5.61) arasında istatistiksel olarak fark gözlenmemiştir (Çizelge 11). Bu da bin tane ağırlığı açısından yıl x ekim zamanı interaksyonun önemli çıkmasına neden olmuş olabilir.

Temel ve Keskin (2022b) sulu koşullarda farklı ekim zamanlarının selvi sirken'in tohum verimine etkisini inceledikleri çalışmada en yüksek bin tane ağırlığını ikinci ekim zamanından (Mart sonu) elde ettiklerini (7.39 g) ve bin tane ağırlığının ekim zamanlarına göre farklılık gösterdiğini bildirmişlerdir.

Çizelge 11. Farklı Ekim Zamanlarına Ait Selvi Sirken'in Bin Tane Ağırlıkları (g)

Yıl	1.EZ	2.EZ	3.EZ	4.EZ	Yıl ort.
2019	8.49 ^{ab}	8.06 ^b	9.33 ^a	7.52 ^{bc}	8.35 ^a
2020	5.56 ^d	6.62 ^{cd}	5.61 ^d	7.48 ^{bc}	6.32 ^b
EZ ort.	7.02	7.34	7.47	7.50	
LSD _{yıl} : 0.56**		LSD _{EZ} : öd		LSD _{yıl x EZ} : 1.07**	

**p>0.01, öd: önemsiz, aynı harf ile gösterilen veriler istatistiksel olarak önemsizdir.

SONUÇ

İğdir ekolojik koşullarında yürütülen selvi sirken'in farklı ekim zamanlarının tohum verimi ve bazı verim öğeleri üzerine etkileri belirlenmiştir. Selvi sirken'in tohum verimi ve verim parametreleri üzerine ekim zamanının etkileri (bin tane ağırlıkları dışında) önemli bulunmuştur. Selvi sirken'in ekiminin geciktirilmesi ile bitki boyu, dal sayısı, sap kalınlığı, sap verimi ve biyolojik verimde önemli azalışlar meydana gelmiştir. Araştırma sonuçlarına göre İğdir ve benzer ekolojik bölgelerde selvi

sirken'den yüksek tohum verimi, bitki boyu, sap verimi ve biyolojik verim elde edilebilmesi için Mart ortasında ekilmesinin uygun olacağı belirlenmiştir. Ayrıca, selvi sirken'in kuraklığa ve tuzluluğa karşı dayanıklılığı sebebiyle bu gibi alanlarda yapılacak çalışmalar ile kaba yem ihtiyacının karşılanmasına katkı sağlayacağı öngörülmektedir. Yem bitkileri alanında selvi sirken ile ilgili çok fazla çalışmanın olmaması sebebiyle bu konudaki araştırmaların artırılması ve yapılacak çalışmalar ile literatüre önemli katkılar sağlanacağı düşünülmektedir.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

- Acar, R. ve Dursun, S. (2012). Importance and Agricultural Usage of *Atriplex nitens* Schkuhr. International Journal of Ecosystems and Ecology Sciences, 2(3), 173-176.
- Acar, R. ve Günçan, A. (2002). Kaba Yem Olarak Değerlendirilebilecek Bazı Yabancı Ot Karakterindeki Bitkilerin Morfolojik Özellikleri ve Ham Protein Oranlarının Belirlenmesi. S. Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi, 16 (29), 79-83.
- Acar, R., Kayak, N., Dal, Y., Kal, Ü., Seymen, M., Koç, N. ve Türkmen, Ö. (2019). Farklı Ekim Zamanlarının Dağ Ispanağının (*Atriplex hortensis* = *Atriplex nitens*) Bitkisel Özellikleri Üzerine Etkisi. Manas Journal of Agriculture Veterinary and Life Sciences, 9(2), 81-84.
- Akgün, İ., Kaya, M. ve Altındal, D. (2007). Isparta ekolojik koşullarında bazı tritikale hat/çeşitlerinin verim ve verim unsurlarının belirlenmesi. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 20(2), 171-182.
- Akinshina, N., Toderich, K., Azizova, A., Saito, L. & Ismail, S. (2014). Halophyte Biomass, A Promising Source of Renewable Energy. Journal of Arid Land Studies, 24(1), 231-235.
- Albayrak, S., Güler, M. ve Töngel, Ö. (2005). Yaygın fiğ (*Vicia sativa* L.) hatlarının tohum verimi ve verim öğeleri arasındaki ilişkiler. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 20(1), 56-63.
- Altikat, A. & Alma, M. H. (2021). Application of new hybrid models based on artificial neural networks for modeling pyrolysis yields of *Atriplex nitens* S. The International Journal of Energy Research, 46(4), 4445-4461.
- Amouei, A. (2013). Effect of saline soil levels stresses on agronomic parameters and fodder value of the halophyte *Atriplex leucoclada* L. (*Chenopodiaceae*). African Journal of Agricultural Research, 8(23), 3007-3012.
- Anonim, (2021). T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü.
- Benzarti, M., Ben Rejeb, K., Debez, A. & Abdelly, C. (2013). Environmental and Economical Opportunities for the Valorisation of the Genus *Atriplex*: New Insights. In: Hakeem K, Ahmad P, Ozturk M, (eds) Crop Improvement. Springer, Boston, MA.
- Geren, H., Kavut, Y. T., Topçu, G. D., Ekren, S. ve İstipliler, D. (2014). Akdeniz iklimi koşullarında yetiştirilen kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)'da farklı ekim zamanlarının tane verimi ve bazı verim unsurlarına etkileri. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 51(3), 297-305.
- Hirich, A., Choukr-Allah, R. & Jacobsen, S. E. (2014). Quinoa in Morocco – Effect of sowing dates on development and yield, Journal of Agronomy and Crop Science, 200(5), 371-377.
- JMP, (2003). JMP 5.0.1, A Business Unit of SAS, Cary, NC.

- Karadağ, Y., Özkurt, M., Akbay, S. ve Kır, H., (2012). Tokat-Kazova ekolojik koşullarında bazı mürdümük (*Lathyrus sativus* L.) hatlarının verim ve verim özelliklerinin belirlenmesi. Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi, 5(2), 11-13.
- Keskin, B., ve Temel, S. (2022). Kuru Şartlarda Yetiştirilen Selvi Sirken (*Atriplex nitens*)'in Ot Verimi ve Bazı verim Ögeleri Üzerine Farklı Ekim ve Hasat Dönemlerinin Etkileri. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 9(2), 340-349.
- Kır, A. E., ve Temel, S. (2017). Sulu koşullarda farklı kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotiplerinin tohum verimi ile bazı tarımsal özelliklerinin belirlenmesi. Journal of the Institute of Science and Technology, 7(1), 353-361.
- Önkür, H. ve Keskin, B. (2019). Kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)'nın tohum verimi ve bazı bitkisel özellikleri üzerine sıra üzeri ve sıra arası mesafelerinin etkileri. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi, 22(Ek Sayı 1), 51-59.
- Rabbimov, A., Bekchanov, B. & Mukimov, T (2011). Chemical Composition and Palatability of Some Species of Halophytes. Arid Ecosystems, 1(2): 104–109.
- Richards, L. A. (1954). Origin and nature of saline and alkali soil, In: Diagnosis and improvement of saline and alkali soil. Agricultural Handbook No: 60, USDA, Washington, D.C., USA, 1-6.
- Temel, I., Keskin, B. & Temel, S. (2022). The Effects of Different Sowing and Harvesting Times on Hay Quality of Mountain spinach (*Atriplex nitens*) Grown in Arid Conditions. Journal of the Institute of Science and Technology, 12(3), 1831-1842.
- Temel, S., ve Keskin, B. (2022a). Alternatif Yem Kaynağı Olarak Selvi Sirken Bitkisinde Farklı Ekim ve Hasat Dönemlerinin Ot Verim ve Bazı Verim Bileşenlerine Etkisi. Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi, 8(1), 92-107.
- Temel, S., ve Keskin, B. (2022b). Farklı Ekim Zamanlarının Selvi Sirken Bitkisinin Tohum Verimi ve Bazı Verim Unsurları Üzerine Etkisi. ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi, 10(2), 405-417.
- Temel, S., ve Şahin, K. (2011). Iğdır ilinde yem bitkilerinin mevcut durumu, sorunları ve çözüm önerileri. Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences, 21(1), 64-72.
- Temel, S., ve Tufur, A. (2020). Kinoaada yüksek tohum üretimi için uygun ekim zamanı ve çeşitlerin belirlenmesi. Journal of the Institute of Science and Technology, 10(4), 3095-3108.
- Toderich, K. & Tsukatania, T. (2007). New Approaches for Biosaline Agriculture Development Management and Conservation of Central Asian Degraded Drylands. KIER Discussion Paper, Institute of Economic Research, Kyoto University, 638, 1-19.
- Ülgen, N. ve Yurtsever, N. (1974). Türkiye Gübre ve Gübreleme Rehberi. Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Teknik Yayın No:28, Ankara.
- Watson, M. C. (1990). Atriplex species as irrigated forage crops. Agriculture, Ecosystems and Environment, 32, 107-118.

Atf İçin: Özkan, F. ve Demir, Y. (2023). Rize İlinde Geleneksel ve Organik Çay Tarımı Yapılan Alanların Topraklarında Bazı Verimlilik Parametreleri ile Ağır Metal İçeriklerinin Karşılaştırılması. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 1405-1417.

To Cite: Özkan, F. & Demir, Y. (2023). Comparison of Some Fertility Parameters and Heavy Metal Contents in Soils of Traditional and Organic Tea Farming Areas in Rize Province. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 1405-1417.

Rize İlinde Geleneksel ve Organik Çay Tarımı Yapılan Alanların Topraklarında Bazı Verimlilik Parametreleri ile Ağır Metal İçeriklerinin Karşılaştırılması

Fatih ÖZKAN¹, Yasin DEMİR^{2*}

Öne Çıkanlar:

- Ağır metal
- Toprak verimliliği
- Arazi yönetimi

Anahtar Kelimeler:

- Geleneksel tarım
- Organik tarım
- Besin elementi
- Toprak verimliliği
- Arazi Yönetimi

ÖZET:

Bu araştırmada; Rize ili Derepaşarı ilçesinde geleneksel çay tarımı yapılan araziler ile Hemşin ilçesinde organik çay tarımı yapılan arazilerdeki toprakların bazı fiziko-kimyasal özellikleri ve ağır metal içeriklerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Araştırma kapsamında; geleneksel ve organik çay tarımının yapıldığı alanlar ağır metal birikimi (demir, çinko, bakır, mangan, kobalt, kurşun, nikel ve kadmiyum) ve bazı mineral madde (azot, fosfor ve potasyum) içeriği bakımından karşılaştırılmıştır. Çalışma kapsamında ayrıca geleneksel ve organik çay tarımının yapıldığı alanlar toprak verimliliği bakımından değerlendirilmiştir. Bu amaçla, 15 organik ve 15 geleneksel tarım uygulama alanlarında belirlenen çay bahçelerinden toprak örnekleri alınarak gerekli analizler yapılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre, geleneksel tarım alanları topraklarının azot ve fosfor içeriği organik tarım alanlarına göre anlamlı ($p<0.05$) olarak yüksek bulunmuştur. Diğer yandan her iki alana ait topraklar azot ve fosfor içeriği bakımından fakir olarak belirlenmiştir. Geleneksel tarım alanlarına ait toprakların ağır metal içerikleri genel olarak organik tarım alanı topraklarına göre daha yüksek bulunmuştur. Ancak sadece demir ve kurşun miktarı istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek bulunmuştur.

Comparison of Some Fertility Parameters and Heavy Metal Contents in Soils of Traditional and Organic Tea Farming Areas in Rize Province

Highlights:

- Heavy metal
- Soil fertility
- Land management

Keywords:

- Conventional farming
- Organic farming
- Plant nutrients
- Soil fertility
- Land management

ABSTRACT:

In this study; It is aimed to compare some physico-chemical properties and heavy metal contents of the soils in the lands where traditional tea cultivation is made in Derepaşarı district and in the lands where organic tea cultivation is made in Hemşin district of Rize province. In the scope of the research; Traditional and organic tea cultivation areas were compared in terms of heavy metal accumulation (iron, zinc, copper, manganese, cobalt, lead, nickel and cadmium) and some mineral substances (nitrogen, phosphorus and potassium) content. Within the scope of the study, the areas where traditional and organic tea cultivation is carried out were evaluated in terms of soil fertility. For this purpose, soil samples were taken from tea gardens determined in 15 organic and 15 traditional agricultural application areas and necessary analyzes were made. According to the results obtained in the study, the nitrogen and phosphorus content of the soils of traditional agricultural areas were found to be significantly higher ($p<0.05$) than organic agricultural areas. On the other hand, the soils of both areas were determined to be poor in terms of nitrogen and phosphorus content. The heavy metal contents of the soils belonging to the traditional agricultural areas were generally higher than the soils of the organic agricultural areas. However, only the amount of iron and lead was statistically ($p<0.05$) higher than the organic farming fields.

1 Fatih ÖZKAN (Orcid ID: 0000-0002-9725-2970), ÇAYKUR Çay işletmeleri Genel Müdürlüğü, Rize, Türkiye

2 Yasin DEMİR (Orcid ID: 0000-0002-0117-8471), Bingöl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Bingöl, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Yasin DEMİR, e-mail: ydemir@bingol.edu.tr

Bu çalışma Fatih ÖZKAN'ın Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

GİRİŞ

Hızla yükselen dünya nüfusu insanların gıda talebini gittikçe arttırmaktadır. Tarım alanlarının azalmasının yanı sıra mevcut tarım alanlarının verimliliklerinin çeşitli faktörlere bağlı olarak azalması, birim alandan maksimum verim alabilmek için kimyasal madde ve ilaç kullanımını zorunlu hale getirmiştir. Ancak kimyasal girdilerin kullanılmasıyla toprakların giderek bozulması sonucu oluşan kısır döngü ve bu maddelerin kullanımına bağlı olarak toprak ve ondan sağlanan ürünlerde sağlığa zararlı olan maddelerin birikimi sürdürülebilir gıda güvenliğini gündeme getirmiştir. Birçok ülkede gıda güvenliğinin sağlanması için çeşitli önlemler alınmıştır. Bu önlemlerin biride organik tarım uygulamalarıdır. Organik tarım uygulamaları tarımsal ürünlerin elde edilmesi sürecinde geleneksel tarımın aksine kimyasal madde ve ilaç kullanmayı reddeden bir üretim şeklidir.

Geleneksel tarımda kullanılan çeşitli kimyevi gübre ve pestisitler toprak ve bitkide birikime uğrayabilmektedir (Demir ve Şahin, 2020; Demir, 2021). Canlıların bu bitkileri tüketmeleri sonucunda zararlı maddelerin bünyeye alınmasıyla çeşitli sağlık problemleri yaşanabilmektedir. Dünya Sağlık Örgütü'ne göre dünya genelinde kullanılan 700 civarındaki pestisit 33'ü insan sağlığına çok zararlı, 48'inin oldukça tehlikeli, 118'inin orta derecede tehlikeli ve 239'unun da daha az tehlikeli olduğu rapor edilmiştir (WHO, 2020). Bunun yanında yine geleneksel tarım uygulamalarında toprağa verilen kimyevi gübreler toprak yapısını bozmakta ve çeşitli tuzların toprakta birikmesine neden olmaktadır. Bu nedenlerden dolayı son yıllarda organik tarım ile üretilen bitkisel ürünler günümüzde oldukça rağbet görmektedir. Günümüzde entansif tarımın etkilerini konu edinen birçok çalışma yapılmaktadır. Félix ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada entansif tarım uygulamalarının toprakta fiziksel ve kimyasal bozunmalara neden olduğunu bunun sonucunda da verim düşüklüğü yaşanabileceğini bildirmişlerdir. Beaudoin ve ark. (2005) çalışmalarında topraklardan nitrat yıkanması üzerine entansif tarım uygulamalarının etkili olduğunu rapor etmişlerdir. Mennerat ve ark. (2010), yoğun tarım uygulamaları ile hızlı büyüyen, erken bulaşan ve dolayısıyla daha öldürücü parazitlerin meydana gelme olasılığının yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Cang ve ark. (2004) çalışmalarında yoğun tarım uygulamaları ile yapılan gübrelemenin topraklarda bazı ağır metal birikimine neden olacağını bildirmişlerdir. Bu çalışmalar genellikle doğal kaynakların tarımsal faaliyetler neticesinde nasıl etkilendiğini amaçlamıştır.

Organik tarım, bitkilerin yetiştirilmesini ve hayvanların doğal yollarla yetiştirilmesini içeren bir tekniktir. Bu süreç, biyolojik materyallerin kullanımını, toprak verimliliğini ve ekolojik dengeyi korumak için kimyasal maddelerden kaçınarak kirliliği ve israfı en aza indirmeyi içerir. Organik tarım uygulamaları ürün rotasyonu, yeşil gübre, organik atık, biyolojik haşere kontrolü, mineral ve kaya katkı maddeleri gibi ekolojik olarak dengeli tarım ilkelerine dayanır. Organik tarım, çeşitli petrokimyasal gübre ve pestisitlerin kullanımını engeller. Organik tarım uygulamaları gıda güvenliği, sürdürülebilir tarım ve doğal kaynak yönetimi konularıyla ilişkili olduğundan tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de uygulama zemini kazanmıştır. Özellikle ülkemizde 1980'li yıllarda başlayan organik tarım uygulamaları, 1994 yılında organik tarım yönetmeliğinin yayınlanmasıyla önemli ölçüde gelişme göstermiştir (Tıraşçı ve ark., 2020). Bugün birçok tarımsal üretim kolunda organik tarım uygulamaları yapılmaktadır. Bu üretim kollarının başında organik çay üretimi gelmektedir.

Bu araştırmada; Rize ili Derepazarı ilçesinde yapılan geleneksel çay tarımı yapılan bahçelerdeki topraklar ile Hemşin ilçesinde organik çay tarımı yapılan bahçelerinde toprakların bazı mineral madde ve ağır metal içerikleri belirlenmiştir. Araştırma kapsamında geleneksel ve organik çay tarımının yapıldığı alanlar ağır metal birikimi ve bazı mineral madde içeriği bakımından karşılaştırılmıştır.

Bunun yanında geleneksel ve organik çay tarımının yapıldığı alanlar toprak verimliliği bakımından değerlendirilmiştir.

MATERYAL VE METOT

Araştırma Yerinin Genel Tanımı, Toprak ve İklim Özellikleri

Bu çalışma Rize ili Hemşin ilçesi organik çay alanları ile Derepazarı ilçesindeki geleneksel çay tarımının yapıldığı alanlarda yürütülmüştür (Şekil 1). Karadeniz bölgesinin doğu kesiminde yer alan Rize ilinde Karadeniz iklimi hâkimdir. Rize’de çok yıllık ortalama sıcaklık değeri 14.5°C, yıllık ortalama yağış 2301.5 mm’dir. En düşük sıcaklık 2.8°C ile Nisan ayında, en yüksek sıcaklık 38.2°C ile Mayıs ayında ölçülmüştür. Yıllık ortalama güneşli gün süresi 4.2 saat civarındadır (MGM, 2021).



Şekil 1. Çalışma Alanı Lokasyon Haritası (Hemşin Bölgesi Organik Çay Tarım Alanı, Derepazarı Bölgesi Geleneksel Çay Tarım alanı) ve Toprak Örnekleme Noktaları

Çalışma kapsamında Derepazarı ilçesinde geleneksel tarım metotlarıyla üretim yapılan 15 çay bahçesi toprağı ile Hemşin bölgesindeki organik üretim yapılan 15 çay bahçesi toprağı araştırılmıştır. Organik çay üretim alanları, Hemşin İlçesindeki çay tarım alanlarının etrafının ormanla çevrili kapalı bir havza teşkil etmesi ve organik tarıma uygun Ekolojik şartları taşıması nedeniyle bu bölge ÇAYKUR tarafından ‘Organik Çay Tarımı Havzası’ ilan edilerek havza içerisindeki tüm üreticilerin organik çay tarımına yönelmeleri sağlanmıştır. Bu alanlarda bitki besleme ve toprak verimliliğinin sürdürülebilmesi için gereken organik girdilerin temini ÇAYKUR tarafından yapılmakta olup kimyasal maddelerin kullanımı engellenmiştir. Bu alanlarda 2007 yılından beri organik tarım uygulamaları yapılmaktadır (Anonim, 2021). Çalışma kapsamında söz konusu organik tarım alanlardan rastgele 15 çay bahçesi seçilmiştir.

Geleneksel çay üretim alanları yüksek verim elde etmek için organik veya kimyasal girdilerin kullanıldığı çay üretim alanlarıdır. Bu çalışma kapsamında Derepazarı ilçesinde geleneksel çay tarımı yapılan alanlardan rastgele 15 çay bahçesi seçilmiştir.

Analiz ve Değerlendirme Yöntemleri

Araştırma konusu olan organik ve geleneksel çay tarımının yapıldığı her bir bahçeden/parselden 0-30 cm derinlikteki farklı noktalardan 3 toprak örnekleme yapılmıştır. Böylelikle organik çay

tarımının yapıldığı alanlardan 15 ve geleneksel çay tarımının yapıldığı bahçelerden 15 toprak örnekleme yapılmıştır. Çalışma alanından alınan toprak örnekleri uygun koşullarda muhafaza edilerek analiz edilmek üzere laboratuvar ortamına taşınmıştır. Toprak örnekleri kurutma öğütme ve eleme işlemlerinden sonra analize hazır hale getirilmiştir. Toprakların kum, silt ve kil fraksiyonlarının oransal dağılımı Bouyoucus hidrometre yöntemi ile belirlenmiştir (Demiralay, 1993). pH, saturasyon çamurunda toprağın hidrojen iyonu aktivitesinin pH metre ile ölçülmesi ile belirlenmiştir (Horneck ve ark., 1989). Elektriksel iletkenlik saturasyon çamurunda EC probu kullanılarak belirlenmiştir (Tüzüner 1990). Organik madde, toprağı potasyum dikromat ve sülfürik asit ile tepkimeye sokarak toprak içerisindeki organik karbonun potasyum dikromat ile oksitlenmesini sağlamak ve oksitlenme için kullanılan miktardan arta kalan potasyum dikromatı standart demir sülfat ile titre etmek suretiyle toprakta bulunan organik karbonu saptayarak organik madde miktarı belirlenmiştir (Walkley ve Black 1934). Kireç, Scheibler kalsimetresinde toprağın seyreltik hidroklorik asitle reaksiyona tabi tutulması ile karbonatlardan çıkan CO₂ gazının hacminin ölçülmesi ve ölçülen değerlerin hesaplanması ile belirlenmiştir (Allison, 1965). Toplam azot, Dumas yöntemine göre belirlenmiştir (Kacar, 2009). Yarayışlı fosfor, Sodyum bikarbonat yöntemine göre belirlenmiştir (Jackson, 2005). Yarayışlı potasyum, amonyum asetat yöntemine göre belirlenmiştir (Black ve ark., 1965). Topraklarda ekstrakte edilebilir ağır elementler, Bir kileyt olan DTPA'nın (Dietilentriaminpentaasetik) toprakta bulunan kadmiyum, kurşun, nikel, krom, demir, çinko, bakır ile çözülebilir kompleks oluşturması esasına göre İndüktif Eşleşmiş Plazma- Kütle Spektrometrisi (ICP-MS) cihazı kullanılarak belirlenmiştir (Lindsay ve Norwell, 1978).

Toprakların belirlenen özellikleri kullanılarak her iki uygulama alanına ait ortalama toprak verimlilik durumu belirlenmiştir. Sonuçların değerlendirilmesinde; toprakların pH'sı Grewelling ve Peech (1960), kireç içeriği Evliya (1964), organik madde kapsamı Kacar (2009), elektriksel iletkenlik Tüzüner (1990), azot içeriği Kacar (2009), fosfor içeriği Bray ve Kurtz (1945), Potasyum içeriği Sillanpaa (1990) ve ağır metaller ise Lindsay ve Norwell (1978) deki kriterler baz alınmıştır. Araştırma alanından alınan toprak ve bitki örneklerinin analiz sonuçları SPSS 15.0 paket programı ile istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Örneklem grubu arasındaki ortalama farkının olup olmadığını yapılan t-testi ile belirlenmiştir (Efe ve ark., 2000). Çalışmada varyasyon katsayısı (Cv) açısından özelliklerin değişkenliği, düşük (<%15), orta (%15-35) ve yüksek (>%35) olarak sınıflandırılmıştır (Mallants ve ark., 1996).

BULGULAR VE TARTIŞMA

Toprak Örneklerinin Bazı Ağır Metal ve Mineral Madde İçeriği

Rize ili Hemşin ilçesindeki organik tarım uygulamalarının yapıldığı çay bahçelerinden toplanan toprak örnekleri ile Derepazarı ilçesinde geleneksel tarım uygulamalarının yapıldığı çay bahçeleri örneklerine ait analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir. Çizelge sonuçlarına göre geleneksel tarım uygulamalarının yapıldığı çay bahçelerinde toprakların ortalama kil, silt ve kum içeriği sırasıyla %17.31, %18.15, %64.54 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre topraklar genel olarak "Kumlu tın" toprak sınıfındadır. Organik bahçelerde ise toprakların ortalama kil, silt ve kum içeriği sırasıyla %16.75, %18.23, %64.23 olarak bulunmuştur. Benzer şekilde bu alanların toprak sınıfı da genel olarak "Kumlu tın" toprak sınıfındadır. Bu topraklar yüksek oranda kum içerdiğinden geçirgendirler. Topraklar fazla suyu hızla tahliye edebilir, ancak bitki için önemli miktarda su veya besin tutamaz. Bu tür toprakta yetişen bitkiler, kil içeriği daha yüksek olan topraklara göre daha sık sulama ve gübreleme

Rize İlinde Geleneksel ve Organik Çay Tarımı Yapılan Alanların Topraklarında Bazı Verimlilik Parametreleri ile Ağır Metal İçeriklerinin Karşılaştırılması

gerektirir. Kumlu tınlı topraklar genellikle belirli mikro besinlerde yetersizdir ve optimum bitki büyümesini desteklemek için ek gübreleme gerektirebilir (Anonymous, 2020).

Çizelge 1. Toprak Örneklerinin Tanımlayıcı İstatistik Değerleri

Özellik	Tarım Şekli					%Cv		
		Max.	Min.	Ort.	Std. Sapma	Cv değeri	Cv sınıfı	Skewness
Kil (%)	O	25.200	12.600	16.747	3.503	20.917	Orta	1.191
	G	26.300	11.300	17.313	5.074	29.309	Orta	0.475
Silt (%)	O	32.400	9.300	18.233	5.004	27.443	Orta	1.355
	G	26.000	11.600	18.147	4.021	22.156	Orta	0.188
Kum (%)	O	76.900	55.000	65.020	5.228	8.040	Düşük	0.220
	G	73.100	51.800	64.540	5.526	8.563	Düşük	-1.065
OM (%)	O	6.305	3.236	4.259	0.770	18.084	Orta	1.340
	G	4.054	1.591	2.550	0.684	26.811	Orta	0.995
pH	O	5.830	4.380	5.053	0.374	7.406	Düşük	0.375
	G	5.950	3.210	4.373	0.737	16.852	Orta	0.469
EC (µS/cm)	O	411.000	80.100	194.240	81.032	41.717	Yüksek	1.254
	G	800.500	151.200	278.705	163.980	58.837	Yüksek	2.601
Kireç (%)	O	0.100	0.100	0.100	0.000	0.000	Düşük	-
	G	0.100	0.100	0.100	0.000	0.000	Düşük	-1.115
K (mg/kg)	O	352.604	115.408	230.437	68.662	29.796	Orta	-0.377
	G	525.500	98.346	269.201	124.802	46.360	Yüksek	0.600
Cr (mg/kg)	O	TE	TE	TE	TE	TE	-	TE
	G	TE	TE	TE	TE	TE	-	TE
Mn (mg/kg)	O	67.987	7.090	33.133	15.056	45.442	Yüksek	0.431
	G	78.893	6.118	33.999	23.354	68.689	Yüksek	0.742
Fe (mg/kg)	O	150.624	5.369	60.569	39.967	65.986	Yüksek	0.462
	G	185.420	12.778	106.741	66.245	62.062	Yüksek	-0.334
Co (mg/kg)	O	TE	TE	TE	TE	TE	-	TE
	G	1.162	0.000	0.089	0.300	337.886	Yüksek	3.743
Ni (mg/kg)	O	0.362	0.000	0.063	0.120	189.641	Yüksek	1.975
	G	0.795	0.000	0.099	0.229	231.183	Yüksek	2.639
Cu (mg/kg)	O	2.093	0.000	0.279	0.537	192.487	Yüksek	3.112
	G	2.610	0.000	0.847	0.938	110.795	Yüksek	0.830
Zn (mg/kg)	O	72.221	0.000	5.209	18.555	356.232	Yüksek	3.861
	G	36.652	0.000	2.867	9.488	330.972	Yüksek	3.695
Cd (mg/kg)	O	TE	TE	TE	TE	TE	-	TE
	G	TE	TE	TE	TE	TE	-	TE
Pb (mg/kg)	O	0.078	0.000	0.022	0.024	111.480	Yüksek	1.302
	G	0.080	0.020	0.049	0.017	35.349	Yüksek	0.249
N (%)	O	0.031	0.009	0.017	0.006	36.937	Yüksek	0.993
	G	0.035	0.012	0.024	0.006	25.078	Orta	-0.159
P (mg/kg)	O	7.120	0.980	2.721	1.925	70.737	Yüksek	1.713
	G	9.580	1.270	5.607	2.181	38.903	Yüksek	0.146

O: organik tarım, G: geleneksel tarım, TE: tespit edilemedi, Cv: değişkenlik katsayısı

Toprakların EC değerleri geleneksel ve organik tarım uygulamalarının yapıldığı alalarda sırasıyla 278.70 µS/cm ve 194.24 µS/cm olarak bulunmuştur. Bu değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Geleneksel tarım uygulamalarının yapıldığı bahçelere ait EC ortalaması diğer alanlara göre yüksek çıksa da her iki alana ait EC değerleri toprak tuzluluğunun olmadığını ifade etmektedir (Tüzüner, 1990). Diğer yandan her iki alana ait toprak örneklerinde yapılan kireç ölçümleri toprakların kireçsiz (%0.1'den az) olduğunu göstermiştir. Toprakların birincil makro besin elementleri olan N, P ve K ortalama içerikleri geleneksel çay tarımı yapılan bahçelerde sırasıyla %0.024, 5.61 mg/kg ve 269.20 mg/kg olarak bulunmuştur. Organik çay tarımı alanlarında ise bu değerler sırasıyla %0.017, 2.72 mg/kg ve 230.44 mg/kg olarak saptanmıştır. Çizelge 1'deki sonuçlar incelendiğinde Zn, Cr ve Cd dışında diğer ağır elementlerin geleneksel tarım uygulamalarının yapıldığı alanlarda daha

fazla bulunduğu belirlenmiştir. Bu bağlamda geleneksel ve organik tarım uygulamaları alanlarında sırasıyla Mn 34.00 mg/kg ve 33.13 mg/kg, Fe 106.74 mg/kg ve 60.57 mg/kg, Co 0.09 mg/kg ve 0.00 mg/kg, Ni 0.10 mg/kg ve 0.06 mg/kg, Cu 0.85 mg/kg ve 0.28 mg/kg, Zn 2.87 mg/kg ve 5.21 mg/kg, Pb ise 0.05 mg/kg ve 0.02 mg/kg olarak belirlenmiştir. Her iki alandaki topraklarda Cr ve Cd tespit edilmemiştir. Çalışmada geleneksel ve organik tarım alanlarının topraklarına ait ağır metal içeriklerinin değişim katsayısı yüksek (>%35) çıkmıştır. Buna göre toprakların değişim düzeyi kil, kum, organik madde, pH, elektriksel iletkenlik, potasyum, mangan ve nikel için geleneksel tarım > organik tarım olarak belirlenmiştir. Diğer yandan toprakların silt, demir, çinko, bakır, kurşun, azot ve fosfor değişim düzeyi geleneksel tarım < organik tarım olarak belirlenmiştir.

Farklı tarım uygulamaları altındaki bu toprakların belirlenen özelliklerine ait ortalamalar istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Başka bir ifade ile örneklem grubu arasındaki ortalama farkının olup olmadığını yapılan t-testi ile belirlenmiştir (Çizelge 2). Elde edilen sonuçlara göre organik ve geleneksel tarım uygulama alanları arasında toprak tane dağılım sınıfı bakımından önemli bir fark bulunmamıştır. Analiz sonuçlarına göre toprakların OM içeriği organik tarım alanlarında ortalama % 4.26 geleneksel tarım alanlarında ise % 2.55 olarak bulunmuştur. Bu durumda organik bahçelerdeki OM düzeyi diğer alanlardan çok daha yüksek bulunmuştur. Yapılan karşılaştırma sonucunda iki grup arasındaki fark önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Bu farkın yapılan organik gübrelemeden kaynaklı olduğu daha önce yapılan çalışmalardan anlaşılmaktadır (Bolton ve ark., 1985; N'Dayegamiye ve Tran, 2001). Toprakların pH düzeylerinde bakıldığında her iki tarım alanında toprak reaksiyonun asidik olduğu görülmektedir. Geleneksel tarım alanlarda toprakların ortalama pH'sı 4.37, organik tarım alanlarında ise bu değer 5.05 olarak bulunmuştur. Organik ve geleneksel tarım alanlarında toprakların pH değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Araştırma alanı olan her iki ilçede yıllık gerçekleşen yağış miktarının yaklaşık 2300 mm civarında olması topraklarda yıkanmaya neden olmaktadır. Yıkama nedeniyle topraktan bazik katyonların yıkanması toprakların asidik karakter kazanmasına neden olduğu bildirilmektedir. (Thomas, 1996; Ulrich ve Sumner, 2012). Geleneksel tarım yapılan çay bahçelerinde pH'nın organik tarım alanlarından daha düşük çıkması bu alanlarda yapılan yoğun kimyasal gübrelemenin bir sonucudur. Her grup arasında toprakların N ve P içerikleri açısından istatistiksel olarak önemli fark bulunmuştur ($p < 0.05$). Ancak gruplar arasında K içerikleri bakımından farklar önemsiz bulunmuştur. Bu durumda geleneksel tarım uygulaması yapılan çay bahçelerinin topraklarının N ve P içerikleri organik tarım alanı topraklarına göre anlamlı bir şekilde yüksek bulunmuştur. Bunun nedeni geleneksel tarım alanlarında yapılan yoğun kimyasal gübre uygulamaları gösterilebilir (Yüksek ve ark., 2013; Çağlar ve Demir, 2021). Organik çay bahçelerinde ise topraklara kimyasal gübre yerine organik ahır veya yeşil gübre uygulanması bu topraklarda azot ve diğer besin elementlerinin düzeyini daha düşük düzeyde kalmasına neden olmaktadır.

Çizelge 2. Organik ve Geleneksel Tarım Alanlarına Ait Toprakların t Testi

Toprak Özellikleri	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
Kil (%)	5.27	0.03	0.36	28.00	0.73
			0.36	24.87	0.73
Silt (%)	0.04	0.85	-0.05	28.00	0.96
			-0.05	26.76	0.96
Kum (%)	0.00	0.99	-0.24	28.00	0.81
			-0.24	27.91	0.81
OM (%)	0.00	0.99	-6.43	28.00	0.00
			-6.43	27.61	0.00

Rize İlinde Geleneksel ve Organik Çay Tarımı Yapılan Alanların Topraklarında Bazı Verimlilik Parametreleri ile Ağır Metal İçeriklerinin Karşılaştırılması

Çizelge 2. Organik ve Geleneksel Tarım Alanlarına Ait Toprakların t Testi (Devamı)

pH	4.66	0.04	-3.18	28.00	0.00
			-3.18	20.77	0.00
EC (µS/cm)	2.33	0.14	1.79	28.00	0.09
			1.79	20.45	0.09
Kireç (%)			0.00	28.00	1.00
			0.00	28.00	1.00
N (%)	0.00	0.98	3.24	28.00	0.00
			3.24	27.98	0.00
P (mg/kg)	0.43	0.52	3.84	28.00	0.00
			3.84	27.57	0.00
K (mg/kg)	5.98	0.02	1.05	28.00	0.30
			1.05	21.76	0.30
Mn (mg/kg)	2.81	0.11	0.12	28.00	0.91
			0.12	23.92	0.91
Fe (mg/kg)	11.19	0.00	2.31	28.00	0.03
			2.31	23.00	0.03
Co (mg/kg)	5.50	0.03	1.15	28.00	0.26
			1.15	14.00	0.27
Ni (mg/kg)	1.45	0.24	0.54	28.00	0.59
			0.54	21.12	0.60
Cu (mg/kg)	8.05	0.01	2.04	28.00	0.05
			2.04	22.27	0.05
Zn (mg/kg)	0.73	0.40	-0.44	28.00	0.67
			-0.44	20.85	0.67
Pb (mg/kg)	0.53	0.47	3.54	28.00	0.00
			3.54	25.34	0.00

Çizelge 2'deki sonuçlar incelendiğinde Fe ve Pb grup ortalamaları arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Başka bir ifade ile geleneksel tarım uygulamalarının yapıldığı çay bahçelerinde toprakların Fe ve Pb içeriğinin yüksek olması anlamlı bulunmuştur ($p < 0.05$). Kurşun genel olarak motorlu araçlardaki yakıtın yanması sonucunda ortaya çıkan etil-Pb den kaynaklanmaktadır ve topraktaki ekstrakte edilebilir Pb miktarı 0.05-5mg/kg seviyesindedir (Seven ve ark., 2018). Dolayısıyla her iki toprak grubunda belirlenen Pb miktarı literatürdeki sınır değerleri içindedir. Ancak geleneksel tarım uygulamaları altındaki çaylıklarda Pb nin organik çaylık alanı topraklarına göre yüksek çıkması, burada yapılan tarımsal faaliyetlerin (gübreleme, ilaçlama vb) bir etkisi olarak ta yorumlanabilir. Benzer durum Fe elementi için de geçerlidir. Yeryüzünde en fazla bulunan dördüncü element olan Fe aynı zamanda bitkiler için önemli bir besin elementidir. Geleneksel tarım uygulamaları alanında Fe'nin daha yüksek çıkması yine bu alanlarda yapılan tarımsal faaliyetlerle ilgilidir. Yapılan çalışmalar azotlu, fosforlu ve kompoze gübrelerin içeriğinde Pb ve Fe gibi ağır metallerin bulunduğunu göstermiştir. (Camelo ve ark., 1997; Köleli ve Kantar, 2005).

Çalışmada elde edilen sonuçları destekleyecek yurtiçi ve yurtdışı birçok çalışma yapılmıştır. Rao ve Ghosh (1981) çalışmalarında yoğun inorganik gübre uygulamalarının topraklardaki çinko ve kükürt düzeylerine olan etkilerini incelemiştir. Çalışmada azot dozlarındaki artışla beraber bitkilerin topraktan çinko ve kükürt'ü daha fazla aldığını tespit etmişlerdir. Tokaloğlu ve Kartal, (2004) çalışmalarında geleneksel tarım uygulamalarının yapıldığı çaylıklarda bitki yapraklarında mangan ve kadmiyum'un biriktiğini bildirmişlerdir. Ayrıca killi topraklarda ağır metal alımının nispeten az olduğunu savunmuşlardır. Yokota ve ark., (2005) Japonya'nın birçok bölgesinde alanda çay üretiminin yapılabildiğini, bu alanlarda gittikçe yapılan aşırı gübreleme ile toprakların asitleştiğini ve verimliliğin düştüğünü bildirmişlerdir. Ayrıca yoğun tarım uygulamalarına bağlı olarak çay kalitesinde de düşüşlerin olduğunu ve bunun nedeni olarak çayın nitrat içerikleriyle ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. Taban ve ark., (2006) tarafından yapılan çalışmada 1974-2005 yılları arasında çay üretimi sürecinde

kullanılan gübreler ile bu alanların toprak özelliklerinden meydana gelen değişimler araştırılmıştır. Araştırmacılar çay tarımı yapılan topraklarda en önemli sorunun toprak asitleşmesi olduğunu rapor etmiştir. Domagała ve Gaštoł, (2013) yaptıkları çalışmada organik ve geleneksel ekim altındaki toprak parametreleri üzerine karşılaştırmalı bir araştırma yürütmüşlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, Organik tarım topraklarının toplam organik madde içeriği (%2.02) geleneksel topraklara (%1.75) göre daha yüksek bulunmuştur. Organik tarım, kereviz ve pancar tarlalarında topraktaki toplam azot seviyesini artırmıştır. Bireysel çiftliklerde organik olarak yönetilen meyve bahçelerinde düşük veya çok düşük mevcut P konsantrasyonları gözlemlenirken, organik pancar ve kereviz tarlaları için aşırı toprak P miktarları tespit edilmiştir. Fosforlu gübrelerin ağır metal içeriklerinin araştırıldığı bir çalışmada Köleli ve Kantar (2005), 6 adet kimyevi gübre fabrikasından fosforlu gübre, gübre yapımında kullanılan fosfat kayası ve fosforik asit numunelerini incelemişlerdir. Bu örneklerde toplam kadmiyum, kurşun, nikel ve arsenik konsantrasyonları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre ham fosfat kayasının toplam kadmiyum, kurşun, nikel ve arsenik konsantrasyonu sırasıyla 358, 335, 386 ve 531 mg/kg P olarak tespit edilmiştir. Diğer gübrelere kıyasla fosfat kayasının en yüksek kadmiyum (358 mg/kg P) ve arsenik (531 mg/kg P) konsantrasyonuna sahip olduğu bulunmuştur. Yang ve ark., (2020) yaptıkları çalışmada farklı organik ve inorganik gübre kombinasyonlarının çay verimi ve toprak kalite indeksi üzerine olan etkilerini araştırmıştır. Çalışma sonucunda topraklara uygulanan organik gübrelerin toprak kalite indeksini diğer uygulamalara göre daha fazla arttırdığı sonucu elde edilmiştir.

Organik ve geleneksel tarım uygulamalarının yapıldığı çaylıklarda toprak verimliliği

Rize ili Hemsin ilçesindeki organik tarım uygulamalarının yapıldığı çay bahçelerinden alınan toprak örnekleri ile Derepazarı ilçesinde geleneksel tarım uygulamalarının yapıldığı çay bahçeleri örneklerine ait toprak analiz sonuçları ve bu parametrelere ait standart değerler Çizelge 3’de verilmiştir. Toprak örneklerine ait verimlilik parametrelerine bakıldığında OM düzeyinin geleneksel tarım uygulamalarının yapıldığı alanlarda “orta”, organik tarım alanlarında ise “yüksek” olarak bulunmuştur. Burada, organik bahçelerde gübre olarak hayvan veya yeşil gübrelerin uygulanması bu alanlarda OM düzeyinin yüksek çıkmasına neden olmuştur. Toprakların pH’sı geleneksel tarım alanlarında “kuvvetli asitli” bulunurken, organik bahçelerde ise “asitli” olarak bulunmuştur. Toprak asitliliğinin en önemli nedeni şüphesiz bölgede yıllık meydana gelen yağış miktarı ve buna bağlı olarak oluşan yıkanma olayıdır. Aradaki fark ise geleneksel tarım alanlarında uygulanan kimyasal girdilerin toprak pH’sını düşürme eğiliminden kaynaklanmaktadır (Ge ve ark., 2018). Her iki alanda da topraklar tuzsuz ve kireçsiz olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3. Organik ve Geleneksel Tarım Uygulamalarının Yapıldığı Alanlarda Toprakların Verimlilik Düzeyleri ve Ağır Metal Sınır Değerlerinin Karşılaştırılması

Parametreler	Sınır Değerler	Sınıf	Geleneksel	Organik
OM (%)	<1	Çok az	2.55	4.26
	1-2	Az		
	2-3	Orta		
	3-4	İyi		
	>4	Yüksek		
pH	<4.5	Kuvvetli asit	4.37	5.05
	4.6-6.0	Asit		
	6.1-6.8	Hafif asit		
	6.9-7.6	Nötr		
EC (µS/cm)	7.7-8.3	Alkalin	278.7	194.24
	<4000	Tuzsuz		
	>4000	Tuzlu		

Rize İlinde Geleneksel ve Organik Çay Tarımı Yapılan Alanların Topraklarında Bazı Verimlilik Parametreleri ile Ağır Metal İçeriklerinin Karşılaştırılması

Çizelge 3. Organik ve Geleneksel Tarım Uygulamalarının Yapıldığı Alanlarda Toprakların Verimlilik Düzeyleri ve Ağır Metal Sınır Değerlerinin Karşılaştırılması (Devamı)

Kireç (%)	0-2	Kireçsiz	0	0
	2-4	Az kireçli		
	4-8	Orta kireçli		
	8-15	Kireçli		
	>15	Çok kireçli		
N (%)	< 0.045	Çok az	0.024	0.017
	0.045-0.09	Az		
	0.09 - 0.17	Yeterli		
	0.17-0.32	Fazla		
	> 0.32	Çok fazla		
P (mg/kg)	< 2.5	Çok az	5.61	2.72
	2.5- 8.0	Az		
	8.0 - 25.0	Yeterli		
	25.0 - 80.0	Fazla		
	> 80.0	Çok fazla		
K (mg/kg)	< 50	Çok az	269.2	230.44
	50-140	Az		
	140-370	Yeterli		
	370-1000	Fazla		
	> 1000	Çok fazla		
Cr (mg/kg)	<100	Sınır değer	0	0
Mn (mg/kg)	<4	Çok az	34	33.13
	4-14	Az		
	14-50	Yeterli		
Fe (mg/kg)	<2.50	Az	106.74	60.57
	2.5-4.25	Orta		
	>4.5	Fazla		
Co (mg/kg)	<20	Sınır değer	0.09	0
Ni (mg/kg)	<30	Sınır değer	0.1	0.06
Cu (mg/kg)	<0.2	Az	0.85	0.28
	>0.2	Yeterli		
Zn (mg/kg)	<0.2	Çok az	2.87	5.21
	0.2-0.7	Az		
	>0.7	Yeterli		
Cd (mg/kg)	<1	Sınır değer	0	0
Pb (mg/kg)	<50	Sınır değer	0.05	0.02

OM: Organik madde, EC: Elektriksel iletkenlik, K, Potasyum, Cr: Krom, Mn: Mangan, Fe: Demir, Co: Kobalt, Ni: Nikel, Cu: Bakır, Zn: Çinko, Cd: Kadmiyum, Pb: Kurşun, N: Azot, P: Fosfor

Araştırma alanı olan iki bölgenin topraklarında azot yönünden standart değerlere göre “fakir” olarak bulunmuştur. Ancak, geleneksel tarım alanlarında diğer alanlara göre daha yüksek bulunmuştur. Azot, bitkilerin vejetatif gelişmeleri için ihtiyaç duyduğu en önemli besin elementlerinin başında gelir. Noksanlığında bitkide ciddi gelişim sorunları ve verim kayıpları meydana gelir (Fernandes ve Rossiello, 1995; Malezieux ve Bartholomew, 2003). Toprakların ortalama fosfor içeriklerine bakıldığında her iki alanda “az” olarak nitelendirilmiştir. Fosfor genellikle ülkemizde tüm tarım topraklarında noksanlık gösteren bir besin elementidir (Kacar ve İnal, 2008). Cooper ve ark., (2017) çalışmalarında Avrupa genelinde organik tarım yapılan çiftliklerde toprakların fosfor içeriğinin orta düzeyde olduğunu bildirmiştir. Ancak tarlalarda ise fosfor içeriğinin daha düşük olduğunu rapor etmiştir. Fosfor noksanlığı bitkilerde hücrenin oluşması, hücre bölünmesi, şeker ve karbonhidratların oluşması aşamalarında sorunlara neden olur (Sezen, 2002). Diğer yandan her iki alandaki toprakların asitli olması fosforun yarayışlılığını azaltmaktadır. Zira fazla asit ortamda fosforik asit toprak çözeltisine intikal ettikçe Al ve Fe ile birleşerek çok zor çözünen alüminyum fosfat (AlPO₄) veya

demir fosfat ($FePO_4$) meydana gelmekte ve bitkiler için elverişsiz olmaktadır (Bilen ve Sezen, 1993) Araştırmaya konu olan her iki alanda da toprakların ortalama K içerikleri “yeterli” düzeydedir.

Bitkiler için önemli mikro besin elementleri olan Mn, Fe, Cu ve Zn geleneksel ve organik tarım alanlarında “yeterli” düzeydedir. Dolayısıyla topraklar bu besin elementleri bakımından zengindir. Her ne kadar bu elementlerde noksanlık görülme de bölgedeki yağışın fazla olması toprakların geçirgen yapıda olması birçok elementin topraktan kolayca yıkanmasına neden olur. Yıkanma nedeniyle bu elementlerde noksanlık ortaya çıkar. Zira, Özkutlu ve ark., (2015) çalışmalarında toprak örneklerinin % 12'sinde P, % 54'ünde K, % 10'unda Fe, % 36'sı Cu, % 92'sinde Zn, Mn ve % 100'ünde B bakımından noksanlıklar saptamıştır. Topraklarda belirlenen ağır metaller olan Cr, Co, Ni, Cd ve Pb elementlerin konsantrasyonları izin verilebilir düzeydedir. Yani bu elementlerin içerikleri “Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği” nde belirtilen sınır değerlerin altında bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar toprakların verimlilik parametreleri üzerinde tarım uygulamalarının önemli olduğunu göstermiştir. Çalışma konusuna benzer şekilde yapılan araştırmalarda; Pamkajam ve Krishna, (2009) tropikal bir bölgede organik tarımın toprak verimliliği, verim ve ürün kalitesi üzerine etkisini araştırmıştır. Çalışma sonucunda organik tarım uygulamalarının, toprak verimliliğini ve ürün kalitesini sürdürmek için iyi olduğunu, ancak ürünün toplam veriminde hafif bir düşüş meydana geldiğini bildirmişlerdir. Çalışmanın sonuçlarına göre toprak bozulmasını önlemek için organik tarım en iyi çözüm olduğu savunulmuştur. Lou ve ark., (2011) uzun yıllık organik ve inorganik azot yönetiminin topraktaki organik karbon miktarı üzerine olan etkilerini incelemiştir. Çalışma sonucunda toprağa uygulanan organik gübrelerin topraktaki organik karbonun miktarını arttırdığı tespit edilmiştir. Organik gübre uygulamasının, suda çözünür organik karbonu korumak için etkili olarak bir yöntem olduğu rapor edilmiştir. Araştırmacılar bundan dolayı mısır üretiminde toprak verimliliğini ve C depolamasını iyileştirmek için organik gübrelemenin en iyi seçenek olduğunu rapor etmişlerdir. Alaboz ve ark., (2021) farklı türdeki organik materyallerin toprak kalitesi üzerine olan etkisini araştırmak amacıyla yürüttükleri çalışmada, uygulanan organik atıkların toprakların kalite özellikleri üzerinde olumlu etkiler bıraktığını bildirmişlerdir. Demir ve ark., (2016) çalışmalarında tarım yapılan ve yapılmayan alanlardaki toprakların ağır metal içeriklerini belirlemeye çalışmışlardır. Çalışma sonucunda toprakların işlenme durumu ve toprak derinliğinin ağır metal birikimi üzerine istatistiksel anlamda herhangi bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Ancak genel olarak işlenen tarım topraklarının ağır metal konsantrasyonunun toprak profili boyunca işlenmeyen alanlardan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu bilgiler ışığında, besin elementi kaynağı olarak kullanılan organik materyallerin uzun vadede toprakların verimlilik parametreleri üzerinde olumlu etkiler bıraktığı sonucu çıkarılmıştır.

SONUÇ

Rize ili Hemşin ilçesindeki organik tarım uygulamalarının yapıldığı çay bahçeleri ile Derepaşarı ilçesinde geleneksel tarım uygulamalarının yapıldığı çay bahçeleri alınan toprakların bazı özellikleri, mineral madde ve ağır metal konsantrasyonları karşılaştırılmıştır.

Geleneksel ve organik tarım alanlarında örneklenen toprakların bünyeleri kumlu tın olarak sınıflandırılmıştır. Başka bir ifadeyle toprakların kaba bünyeli ve geçirgen olduğu belirlenmiştir. Bu alanlardaki topraklar fazla suyu hızla tahliye edebilir, ancak bitki için önemli miktarda su veya besin tutamaz. Bundan dolayı bu toprakta yetişen bitkiler, kil içeriği daha yüksek olan topraklara göre daha sık sulama ve gübreleme gerektirir. Ancak sık yapılan gübrelemeler topraklarda fiziksel ve kimyasal bozunmalara neden olduğundan kimyevi gübre yerine organik gübrelemenin daha faydalı olacağı sonucuna varılmıştır. Organik madde yüzdesi bakımından organik tarım alanları toprakları daha zengin

olarak bulunmuştur. Bu alanlarda gübre olarak uygulanan organik maddelerin OM düzeyinin artışına neden olduğu tespit edilmiştir. Geleneksel tarım alanlarına ait toprakların pH'sı istatistiksel olarak daha yüksek bulunmuştur. Ancak her iki alana ait toprak reaksiyonu "asitli" dir. Geleneksel tarım alanları topraklarının azot ve fosfor içeriği organik tarım alanlarına göre anlamlı ($p<0.05$) olarak yüksek bulunmuştur. Diğer yandan her iki alana ait topraklar azot ve fosfor içeriği bakımından fakirdir. Bunun en önemli nedeni geçirgen toprak yapısı ve fazla yağışla birlikte meydana gelen yıkanmadır. Bundan dolayı topraktan kolaylıkla yıkanabilen nitratlı gübrelemeden kaçınılmalıdır. Geleneksel tarım alanlarına ait toprakların ağır metal içerikleri genel olarak organik tarım alanı topraklarına göre daha yüksek bulunmuştur. Ancak sadece demir ve kurşun miktarı istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek bulunmuştur. Geleneksel tarım alanlarında fosforlu gübrelerin yanı sıra çay kesiminde kullanılan motorlu aletlerin havaya yaymış olduğu gazların kurşun miktarının yüksek çıkmasının nedenlerinden biri olduğu sonucuna varılmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Bingöl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından Yüksek Lisans Tez Projesi kapsamında desteklenmiştir. (Proje No: BAP-ZF.2020.00.001) Katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

- Alaboz, P., Dengiz, O., Pacci, S., Demir, S. & Türkay, C. (2022). Determination of the Effect of Different Organic Fertilizers Applications on Soil Quality Using the SMAF Model. *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 32(1), 21-32.
- Allison, L. (1965). *Organic Carbon. Methods of Soil Analysis*. Part 2 Chemical and Microbiological Properties, 9, 1367-1378.
- Anonim. (2021). ÇAYKUR, Çay İşletmeleri Genel Müdürlüğü, 2020 Yılı İstatistik Bülteni, URL:<http://www.caykur.gov.tr/Pages/Yayinlar/YayinDetay.aspx?ItemType=1&ItemId=701> (accessed date: June 1, 2021).
- Beaudoin, N. Saad, J. K., Van Laethem, C., Machet, J. M, Maucorps, J. & Mary, B. (2005). Nitrate leaching in intensive agriculture in northern france: effect of farming practices, soils and crop rotations. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 111, 292-310.
- Bilen, S. & Sezen Y. (1993). *Toprak reaksiyonunun bitki besin elementleri elverişliliği üzerine etkisi*. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 24, 156-166.
- Black, C. A., Evans, D. D. & White, J. L. (1965). *Methods of soil analysis, chemical and microbiological properties*, ASA press. (No. 631.410287/B627 V. 2).
- Bolton, H., Elliot, L. F., Papendick, R. I. & Bezdicek, D. F. (1985). Soil microbial biomass and selected soil enzyme activities: effect of fertilization and cropping practices. *Soil Biochemistry*, 17, 297-302.
- Bray, R. H. & Kurtz, L. T. (1945). Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Journal of Soil Science*, 59, 39- 45.
- Çağlar, F. D. & Demir, Y. (2021). Toprak düzenleyicisi bazı polimerlerin (Poliakrilamid ve Polivinil Alkol) kanola (*Barassica napus* L.) ve jüt (*Corchorus olerarius* L.) bitkilerinin besin elementi alımına etkisi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 8(1), 8-16.

- Camelo, L. G. L., Miguez, S. R. & Marbán, L. (1997). Heavy metals input with phosphate fertilizers used in Argentina. *Science of The Total Environment*, 204, 45-250
- Cang, L., Wang, Y. J., Zhou, D. M. & Dong, Y. H. (2004). Heavy metals pollution in poultry and livestock feeds and manures under intensive farming in Jiangsu province, China. *Journal of Environmental Sciences*, 16, 371-374.
- Cooper, J., Reed, E. Y., Hörtenhuber, S., Lindenthal, T., Løes, A. K., Mäder, P. & Möller, K. (2018). Phosphorus availability on many organically managed farms in Europe. *Nutrient cycling in agroecosystems*, 110, 227-239.
- Demir, A. D. & Şahin, U. (2020). Effects of recycled wastewater applications with different irrigation practices on the chemical properties of a vertisol. *Environmental Engineering Science*, 37, 132-141.
- Demir, Y. (2021). The effects of the applications of zeolite and biochar to the soils irrigated with treated wastewater on the heavy metal concentrations of the soils and leaching waters from the soils. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 16, 223-236.
- Demir, Y., Canbolat, M.Y. & Demir, A. D. (2016). İşlenen ve işlenmeyen arazilerde bazı ağır metallerin toprak profili boyunca değişiminin değerlendirilmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 26, 614-620.
- Demiralay, İ. (1993). *Toprak fiziksel analizleri*. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 143, ss: 131, Erzurum.
- Domagała-Świątkiewicz, I. & Gaštoł, M. (2013). Soil chemical properties under organic and conventional crop management systems in south Poland. *Biological Agriculture & Horticulture*, 29, 12-28.
- Efe, E., Bek, Y. & Şahin, M. (2000). *SPSS'te çözümleri ile istatistik yöntemler II*. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Rektörlüğü Yayınları, No: 10.
- Evliya, H. (1964). *Kültür bitkilerinin beslenmesi*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları. Sayı 36.
- Félix, K. A., Hounnandan, P., Azontonde, H. A., Benmansour, M., Rabesiranana, N. & Mabit, L. (2015). Assessment of the level of soil degradation in three watersheds affected by intensive farming practices in Benin. *Journal of Experimental Biology*, 3, 529-540.
- Fernandes, M. S. & Rossiello, R. O. P. (1995). Mineral nitrogen in plant physiology and plant nutrition. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 14, 111-148.
- Grewelling, T. & Peech, M. (1960). *Chemical soil tests*. Cornell University, Agr. Expt. Station Bull,960.
- Horneck, D. A., Hart, J. M., Topper, K. & Koespell, B. (1989). *Methods of soil analysis used in the soil testing laboratory at Oregon State University*. Publ. SM:89. Oregon State Agric. Exp. Stn., Corvallis.
- Huang, Q. R., Feng, H. U., Huang, S., Hui-Xin, L.I., Ying-Hong, Y., Gen-Xing, P. & Zhang. W. J. (2009). Effect of long-term fertilization on organic carbon and nitrogen in a subtropical paddy soil. *Pedosphere*, 19, 727-734.
- Jackson, M. L. (2005). *Soil chemical analysis: advanced course*. UW-Madison Libraries parallel press. Printice-Hall Inc., Englewood Cliffs, N. J
- Kacar, B. & İnal, A., (2008). *Bitki analizleri*. Nobel Yayın Dağıtım, (s. 891). Ankara.
- Kacar, B., (2009). *Toprak analizleri*, Nobel Yayın Dağıtım. (s. 467s). Ankara,
- Köleli, N. & Kantar, Ç. (2005). Fosfat kayası, fosforik asit ve fosforlu gübrelerdeki toksik ağır metal (Cd, Pb, Ni, As) konsantrasyonu. *Ekoloji*, 14, 1-5.
- Lindsay, W. I. & Norwell, W. A. (1978). Development of DPTA test for Zn Mn Fe and Cu. *Soil Science Society America Journal*, 42, 421-425.
- Lou, Y., Wang, J. & Liang, W. (2011). Impacts of 22-year organic and inorganic N managements on soil organic C fractions in a maize field, northeast China. *Catena*, 87, 386-390.
- Malézieux, E., & Bartholomew, D. P. (2003). *Plant nutrition. In The pineapple: botany, production and uses* (pp. 143-165). Wallingford UK: CABI Publishing.
- Mallants, D., Mohanty, B. P., Jacques, D., & Feyen, J. (1996). Spatial variability of hydraulic properties in a multi-layered soil profile. *Soil Science*, 161(3), 167-181.

- Mennerat, A., Nilsen, F., Ebert, D., & Skorpung, A. (2010). Intensive farming: evolutionary implications for parasites and pathogens. *Evolutionary biology*, 37, 59-67.
- MGM, (2021). Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=RIZE> (Erişim tarihi: 08.06.2021).
- N'Dayegamiye, A., & Tran, T. S. (2001). Effects of green manures on soil organic matter and wheat yields and N nutrition. *Canadian Journal of Soil Science*, 81(4), 371-382.
- Özkutlu, F., Akkaya, Ö., Özlem, E. T. E., Şahin, Ö., & Korkmaz, K. (2015). Rize İlindeki bazı çay bahçelerinin toprak ve yaprak analizi ile besin element düzeylerinin belirlenmesi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 19(2), 94-103.
- Pamkajam, U. B. & Krishna, D. (2009). Effect of organic farming on soil fertility, yield and quality of crops in the tropics. In The Proceedings of the International Plant Nutrition Colloquium XVI. (accessed: <https://escholarship.org/uc/item/7k12w04m>)
- Rao, A. S., & Ghosh, A. B. (1981). Effect of intensive cropping and fertilizer use on the crop removal of sulphur and zinc and their availability in soil. *Fertilizer research*, 2, 303-308.
- Seven, T., Darende, B. N. & Sevda, O. (2018). Hava ve toprakta ağır metal kirliliği. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1(2), 91-103.
- Sezen, Y. (2002). *Toprak verimliliği*, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın No:339.241 s. Erzurum.
- Sillanpaa, M. (1990). *Micronutrient Assessment at The Country Level: An international Study FAO Soils Bulletin*, Rome, 60.
- Taban, S., Özer, P., & Turan, M. A. (2006). Çay tarımı yapılan toprakların potansiyel beslenme problemleri ve çayda gübre kullanımı, gübre verim-kalite ilişkisi. I. Rize Sempozyumu, (16-18 Kasım 2006). Rize
- Taban, S., Yeşim, O. & Kunter, B. (2000). Değişik dönem ve dozlarda uygulanan yaprak gübresinin çay bitkisi yaprağının kalite ve mineral madde içerikleri üzerine etkisi. *Journal of Agricultural Sciences*, 6(01), 58-62.
- Thomas, G. W. (1996). *Soil pH and Soil Acidity*. Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods, 5: 475-490.
- Tıraşçı, S., Erdoğan, Ü., & Aksakal, V. (2020). Organic agriculture in Turkey. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 8(11), 2348-2354.
- Tokaloğlu, Ş. & Kartal, Ş. (2004). Bioavailability of soil-extractable metals to tea plant by BCR sequential extraction procedure. *Instrumentation Science & Technology*, 32(4), 387-400.
- Tüzüner, A. (1990). *Toprak ve su analiz laboratuvarları el kitabı*. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü yayınları, Ankara
- Ulrich, B. & Sumner, M. E. (2012). *Soil Acidity*. Springer Science & Business Media. (Eds)
- Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, 37(1), 29-38.
- WHO, (2020). *World Health Organization*, The WHO Recommended Classification of Pesticides By Hazard and Guidelines to Classification 2019. World Health Organization.
- Yang, H., Liu, H., Zhang, N., He, T., Deng, H., & Bao, L. (2020). Effects of different fertilization application reduction methods on tea garden soil nutrient and tea quality. *Journal of Southern Agriculture*, 51(4), 887-896.
- Yokota, H., Morita, A., & Ghanati, F. (2005). Growth characteristics of tea plants and tea fields in Japan. *Soil Science & Plant Nutrition*, 51(5), 625-627.
- Yüksek, T., Yüksek, F. & Sütlü, E. (2013). Rize yöresinde çay tarımında gübreleme sorunları ve sürdürülebilir çay tarımı için yeni stratejiler. II. Rize Kalkınma Sempozyumu, Bildiri Özetleri Kitabı (3-4 Mayıs, 2013), S: 53-54.

To Cite: Atay, A. (2023). The Effect Medicinal Plants on Performance, Carcass Parameters and Meat Quality in Broiler Chickens. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2): 1418-1428.

The Effect Medicinal Plants on Performance, Carcass Parameters and Meat Quality in Broiler Chickens

Alp ATAY^{1*}

Highlights:

- Alp Atay

Keywords:

- Broiler chickens
- Carcass
- Meat quality
- Medicinal and aromatic

ABSTRACT:

This study was conducted to investigate the effects of adding dietary Garlic, Ginger, Turmeric and their powders mixture in broiler chicken's diet on performance, carcass characteristic and meat quality. A total of 400 (200 male and 200 female) day-old Ross-308 broiler chicks were distributed into 5 dietary treatments; (T1) 0% powder, (T2) 0.5% Garlic powder, (T3) 0.5% Ginger powder, (T4) 0.5% Turmeric powder and (T5) 0.5% mixture of these powders with 4 replicates and each replicates included 10 male and 10 female having similar body weight. The results of this study showed that adding of this medicinal and aromatic plants powder in broiler chicken's diet caused significant effect on broiler chickens performance at the 7, 14 and 21 days of age ($P < 0.05$) and also have a beneficial effect on mortality. On the other hand, it was observed that the adding of 0.5% medicinal and aromatic plants in broiler chicken's diet had no a significant effect on hot carcass, cold carcass, breast, thigh, wings and visceral organs weight ($P > 0.05$), but have a significant effect on carcass yield ($P < 0.05$). Also, adding of this medicinal and aromatic plants powder had a significant effect on meat breast colour values ($P < 0.05$). It may be concluded that adding of these medicinal and aromatic plants powder in broiler chicken's diet have beneficial effects on performance, carcass characteristic and meat quality.

¹ Alp ATAY ([Orcid ID: 0000-0002-9635-7105](https://orcid.org/0000-0002-9635-7105)), Hakkari University, Colemerik Vocational School of Higher Education, Veterinary Department, 30110, Hakkari, Türkiye

* **Corresponding Author:** Alp ATAY, e-mail: alpatay1@gmail.com

This study was carried out as a BAP Project (NO: FM21BAP5) of Hakkari University). Also presented 4. international gobeklitepe scientific research congress congress, shanlıurfa 7-8 october 2022),

Ethics Committee Approval: All practices used in this study were approved by Animal Experiment Ethic Committee of Cukurova University, Date: 13.09.2021, Number: E57730304-604.01.01.12336

INTRODUCTION

The way for people to live a healthy life is through a healthy diet. Nutrition includes physical satisfaction as well as balanced consumption of nutrients necessary for life. As the rapid increase in the world population constantly increases the need for animal products. Poultry meat and egg have valuable nutrients including proteins for human nutrition and a source of income for the community in many development and undevelopment countries therefore; poultry production has a very important role in the economic development of society (Abd El-Hakim et al., 2009). So, poultry production industry focused to optimize growth performance of broiler chicken through better growth rate and improved feed intake and body weight especially after COVID-19 crisis (Al-Khalaifah et al., 2022; Sugiharto et al., 2020). In poultry industry, antibiotics used for many years to stimulate growth and development of broiler and this amount is approximately five times the amount of antibiotics used for disease treatment (Nir and Şenköylü, 2000). Antibiotics are chemical composition and produced by microorganisms such as fungi and bacteria and protect their environment from the effects of harmful microorganisms. Antibiotics have economic benefits by increasing yields, but have been shown to cause adverse effects when used. The most important of these negativities is in animal ration. The used antibiotics leave residues on animal products and cause resistance of microorganisms to antibiotics and this resistance can be transferred from one microorganism to another and from one antibiotic to another and thus used in the treatment of diseases cross-resistance to antibiotics (Braykov et al., 2016; Özkan et al., 2007). Therefore, the modern trend is to replace chemical antibiotic growth promoters with some natural growth promoters such as medicinal and aromatic plants powder, medicinal and aromatic plant extracts, probiotics and enzymes (Bednarczyk et al., 2016; Al-Massad et al., 2018; Mondal et al., 2015). Phytogetic growth promoters have a beneficial effect on gut health for optimum function. On other hand, these components are ideal for animal and human due to the natural, residue free, eco-friendly and above all having no side effects also, these components have antimicrobial, antiparasitic, insecticidal, antifungal, antiviral and antitoxic effects which according to these features improves feed consumption, digestibility, growth performance and reduce disease and increased profitability (Yitbarek, 2015). Medicinal and aromatic plants have been used in cooking and treatment for many years. Some of these components are garlic, ginger and turmeric and most of the rhizome of these plants are used. Garlic can be used as a growth stimulant due presence of oreganosulfur compounds such as Allicin, Allicin Ajoene, Diallylsulfide, Dithin and S-Allylcysteine (Teshika et al., 2019). Ginger contains some compounds such as Gingerol and Gingerdione which have antioxidant activity also, according to reports, ginger can play an antibacterial properties and immunomodulatory role in laboratory animals (Al-Nasser et al., 2020; Dieumou et al., 2009). Turmeric contains active ingredients such as curcumin, desmethoxycurcumin, bisdemethoxycurcumin and tetrahydrocurcuminodis (Borazjanizadeh et al., 2011) which according to these features traditionally used to treat various diseases, liver obstruction, fresh wounds and diabetes (Demir et al., 2003). Recent studies on the use of these plants in the broiler's diet indicate their different effects. It was reported that adding of 3, 6, 9 g/kg-1 medicinal and aromatic plant (rosemary) in layer hens diet at 63-52 weeks of age does not have significant effect on feed intake, feed conversion ratio, body weight but total cholesterol, IgM and Ig A amounts were affected by the experimental diets (Alagawany et al., 2015). In the another study showed that, adding of 1%, 2% and 3% *Allium sativum* in broiler chicken's diet have not any effect on broiler performance and hematological parameters but it can change total cholesterol, liver cholesterol, triglycerid, abdominal fat and LDL amounts (Adebiyi, 2017).

The Effect Medicinal Plants on Performance, Carcass Parameters and Meat Quality in Broiler Chickens

In the study which was conducted in Japanese quail it was demonstrated that, adding of 1ml/l chamomile, mint and oregano extract in drinking water of quail have not effect on production, feed intake, feed conversion ratio but reduced egg cholesterol, reduced bacteria population and increased villi height (Behnamifar et al, 2018). This present study was conducted to evaluate the effects different feed additives such as garlic, ginger, turmeric and their powders mixture on performance, carcass characteristics and visceral organs weight in broiler chickens.

MATERIALS AND METHODS

Ethical Statement

All practices used in this study were approved by Animal Experiment Ethic Committee of Cukurova University (Date: 13.09.2021, Number: E57730304-604.01.01.12336). All steps of this study were conducted in Broiler Unit of Experimental Farm of the Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Cukurova, Adana, Türkiye.

Trial groups and nutrition

Total of 400 day old broiler chicks (200 male and 200 female) were used in this study.

Table 1. Ingredient and Nutrient Compositions of Broiler Diets

Ingredients (%)	Starter (0-10 days)	Grower (11-21 days)	Finisher (22- days)
Yellow Corn	43.18	46.65	50.72
Soybean Meal	15.60	7.69	0.00
Full Fat Soybean	14.18	16.69	26.22
Wheat Short (15% CP)	13.04	13.04	11.18
Maize Gluten Meal (60% CP)	5.00	3.00	0.00
Poultry Offal Meal (52% CP)	-	4.00	4.00
Meat- Bone Meal (33% CP)	4.00	5.28	4.48
Soybean Oil	2	2.00	2.00
DCP (18% CP)	0.60	0.00	0.00
Sodium Bicarbonate	0.11	0.08	0.00
Salt	0.17	0.13	0.22
Biyo-Lysine (60% CP)	0.77	0.61	0.37
Limestone	0.68	0.28	0.27
DL- Methionine	0.37	0.25	0.24
Vitamin Premix*	0.20	0.20	0.20
Mineral Premiz**	0.10	0.10	0.10
Total	100.00	100.00	100.00
Dry matter	88.00	88.00	88.00
Crude Protein	24.00	22.00	21.00
Ether extract	7.00	8.66	10.13
Crude fibre	3.20	3.17	3.37
Crude ash	6.03	5.80	5.48
Lysine	1.43	1.26	1.09
Methionine	0.70	0.56	0.50
Methionine + Cystine	1.07	0.84	0.86
Calcium	1.00	1.00	0.90
Available Phosphor	0.45	0.45	0.40
Sodium	0.16	0.16	0.16
Metabolizable Energy (kcal/kg)	3050	3150	3250

*:Each 2 kg of vitamin premix contains 15.500.000 IU Vitamin A, 5.000.000 IU Vitamin D₃, 100.000 mg vitamin E, 3.000 mg Vitamin K₃, 3.000 mg Vitamin B₁, 8.000 mg Vitamin B₂, 60.000 mg Niacin, 15.000 mg Ca-D-Pantotenate, 5.000 mg Vitamin B₆, 20 mg Vitamin B₁₂, 2.000 mg Folic Acid, 200 mg D-Biotin and 100.000 mg Vitamin C, **:Each kg of trace mineral premix contains 80.000 mg Manganese, 60.000 mg Iron, 60.000 mg Zinc, 5.000 mg Copper, 200 mg Cobalt, 1000 mg Iodine, 200 mg selenium (sodium selenite), 500.000 choline chloride.

For this purpose, a total of 400 broiler chicks (Ross-308) were purchased from the producer and sexed by wing feathers according to the recommendation of Ross Management (Ross, 2014) and then

The Effect Medicinal Plants on Performance, Carcass Parameters and Meat Quality in Broiler Chickens

weighted by an electronic scale with sensitive of 0.01g in laboratory and 5 experimental groups were formed (T1: Control (without any adding), T2: Control+ %0.5 Garlic powder, T3: Control + %0.5 Ginger powder, T4: Control + %0.5 Turmeric powder, T5: Control + %0.5 mix of these powder with equal amount) with 4 replicates. All diets were used in this study based on corn and soybean and ingredient and nutritional composition of the diets used in study are given in Table 1.

Animal housing

After weighting and sexing of all birds, birds carefully transferred to the experimental unit and accommodated in 20 pens in completely randomized design so that each pens with a density of 20 birds/2m² (10 male and 10 female). Each pen (replication) was equipped with a tube feeder and an automatic water- bowl on litter; wood shaving litter 4-5 cm height. Throughout the study (35 days) chicks reared under 23:1 light: dark photoperiod and environmental temperature was controlled by heating and tunnel ventilation system starting from 33°C in the first week and gradually decreased by 3°C per week until the fourth week then it fluctuated between 22-24°C.

Growth performance and carcass parameters of broiler chickens

During this study, the production parameters such as body weight, feed intake, feed efficiency and mortality were recorded on days 7, 14, 21, 28 and 35 on subgroup (replicate) bases. At the end of the study (35 days of age), all chicks were weighted individually and 12 birds (6 male+ 6 female) from each subgroup were selected according to average body weight of subgroup and transferred to Cukurova University's slaughter house with numbers of their feet in order to determine carcass yield, hot carcass weight, heart, gizzard, liver, spleen, pancreas and bursa fabrious weights. After measuring of these parameters, the carcasses of the birds was kept 4°C for 24 hours for determine the cold carcass, abdominal fat, breast, thigh and wings weights.

Meat physical analyses

In order to determine the meat color sample with the same dimensions were collected from right half of the chest, thigh and skin samples were collected from the right side of chest. Then color measurement (L*= Lightness; a*= redness and b*= yellowness) of breast and thigh were carried out using HunterLab, ColorFlex EZ device.

Statistical analyses

All data obtained in the study were analyzed using GLM procedure of SAS; the Statistical Analysis System [20] and Duncan's New Multiple Range Test in SAS were used to identify signification differences among treatments mean.

RESULTS AND DISCUSSION

The results obtained in the study are presented according to the statistical analyses, given in the relevant tables and discussed the frame of present literature. Results related to feed intake, body weight gain and feed conversion ratio were given in Table 2, Table 3 and Table 4 respectively. The data obtained from this experiment demonstrated that, the adding of garlic, ginger and turmeric powders in broiler chicken's diet have significant effects on feed intake at 14 and 21 days of age and feed conversion ratio at 7, 14 and 21 days of age (P<0.05). Also, feeding of broiler chicken with diets containing different feed additives have a significant effect on body weight gain at 7 and 14 days of age (P<0.05). Data obtained from this study demonstrated that feeding of chicks with this diets did have no significant effects on feed intake, Body weight and feed conversion ratio after the 21 days of

The Effect Medicinal Plants on Performance, Carcass Parameters and Meat Quality in Broiler Chickens

age ($P>0.05$). On the other hand, the results obtained from this study indicated that using of 0.5% of garlic, ginger and turmeric and there mix powders in broiler chickens' diet have a beneficial effects on mortality rate, so that the lowest mortality rate belonged to groups which received 0.5% turmeric (0%) and higher amount was related to control group (5%).

Table 2: The Effect of Experimental Diets on Feed Intake (g/chicks)

Day	Groups					SED	P=
	T1	T2	T3	T4	T5		
7	159.03	158.65	158.95	157.73	155.18	1.023	0.739
14	719.48 ^b	746.73 ^a	703.53 ^b	702.18 ^b	704.53 ^b	3.233	0.002
21	1554 ^{ab}	1564 ^a	1511.50 ^b	1529 ^{ab}	1529 ^{ab}	6.644	0.142
28	2711	2724	2646	2688	2655	15.91	0.482
35	3590	3635	3545	3587	3557	21.71	0.725

T1: Control (without any adding), T2: Control+ %0.5 Garlic powder, T3: Control + %0.5 Ginger powder, T4: Control + %0.5 Turmeric powder, T5: Control + %0.5 mix

Table 3: The effect of Experimental Diets on Body Weight Gain (g/chicks)

Day	Groups					SED	P=
	T1	T2	T3	T4	T5		
0	41.60	41.63	41.61	41.61	41.62	0.072	0.468
7	155.85 ^a	152.68 ^{ab}	149.10 ^b	150.75 ^{ab}	153.33 ^{ab}	0.773	0.117
14	565.93	559.23	545.15	547.55	553.45	3.467	0.350
21	1149	1109	1129	1122	1132	25.16	0.302
28	1853	1859	1841	1891	1893	56.77	0.608
35	2355	2388	2320	2355	2354	17.74	0.806

T1: Control (without any adding), T2: Control+ %0.5 Garlic powder, T3: Control + %0.5 Ginger powder, T4: Control + %0.5 Turmeric powder, T5: Control + %0.5 mix

Table 4: The effect of Experimental Diets on Feed Conversion Ratio and Mortality Rate

Day	Groups					SED	P=
	T1	T2	T3	T4	T5		
7	1.02 ^b	1.04 ^{ab}	1.07 ^a	1.05 ^{ab}	1.01 ^b	0.005	0.038
14	1.27 ^b	1.34 ^a	1.29 ^b	1.28 ^b	1.27 ^b	0.062	0.001
21	1.35 ^{ab}	1.41 ^a	1.34 ^b	1.37 ^{ab}	1.35 ^{ab}	0.039	0.127
28	1.43	1.45	1.44	1.45	1.44	0.009	0.972
35	1.53	1.52	1.53	1.53	1.51	0.006	0.914
Mortality rate (%)	5	2.5	2.5	0	2.5	0.764	0.405

T1: Control (without any adding), T2: Control+ %0.5 Garlic powder, T3: Control + %0.5 Ginger powder, T4: Control + %0.5 Turmeric powder, T5: Control + %0.5 mix

Carcass and visceral organs weight

The effects of experimental diets rations on carcass parameters are shown in Table 5. The results obtained from carcass analyses showed that there were no differences obtained for slaughter weight ($P>0.05$). Also, it can be seen that inclusion of 5% garlic, ginger, turmeric and there powder mix in ration caused a change in on broiler chickens carcass yield, so that lowest carcass yield was related to the control group when compared to other experimental groups ($P<0.05$). According to the statistical analysis for hot carcass weight, there was no statistical difference between the experimental groups ($P>0.05$). But according to the findings, it was observed that the highest hot carcass weights were related to the group which fed with rations containing garlic, turmeric and powders mix. In the statistical analysis for the cold carcass weights between experimental groups, no significant difference was found ($P>0.05$) but the highest cold carcass weight was found in the group fed garlic, turmeric, mixture, ginger and control group respectively. Using of 0.5% feed additives in broiler chicken's diet have a significant effect on thigh weight (in male chickens) and wings weights (in female chickens) ($P<0.05$), but does not have any significant effect on breast weights ($P>0.05$).

The Effect Medicinal Plants on Performance, Carcass Parameters and Meat Quality in Broiler Chickens

Table 5: The effect of Experimental Diets on Carcass Parameters of Broiler Chickens

Parameters	Gender	Groups					SED	P=
		T1	T2	T3	T4	T5		
Slaughter weight (g/chicks)	Male	2501	2598	2478	2634	2516	22.653	0.191
	Female	2418 ^a	2221 ^{ab}	2178 ^b	2206 ^{ab}	2206 ^{ab}	30.358	0.134
	Average	2460	2409	2328	2421	2361	1023	0.726
Carcass yield (%)	Male	77.86 ^{ab}	77.24 ^{ab}	76.99 ^b	77.66 ^{ab}	79.20 ^a	0.280	0.165
	Female	72.46	78.55	77.46	78.20	78.64	0.965	0.261
	Average	75.09 ^b	77.84 ^{ab}	77.22 ^{ab}	77.90 ^{ab}	78.96 ^a	0.495	0.205
Hot carcass weight (g/chicks)	Male	1948	2007	1909	2046	1993	23.719	0.433
	Female	1739	1744	1687	1725	1737	21.820	0.920
	Average	1844	1875	1798	1885	1865	834.3	0.844
Cold carcass (g/chicks)	Male	1811	1958	1861	1986	1934	24.800	0.204
	Female	1765	1686	1635	1668	1659	21.578	0.410
	Average	1788	1822	1748	1827	1796	2582	0.876
Breast	Male	598	628	615	615	625	11.837	0.938
	Female	568	570	532	573	535	10.306	0.559
	Average	583	599	575	594	580	9.144	0.913
Thigh	Male	569 ^{ab}	580 ^a	503 ^b	565 ^{ab}	583 ^a	10.235	0.137
	Female	508	483	492	458	478	14.829	0.873
	Average	538	531	497	512	530	10.989	0.756
Winks	Male	145 ^b	155 ^b	138 ^b	173 ^a	148 ^b	2.599	0.007
	Female	155 ^a	128 ^b	136 ^b	137 ^b	130 ^b	2.699	0.043
	Average	150	141	137	155	139	3.566	0.090

T1: Control (without any adding), T2: Control+ %0.5 Garlic powder, T3: Control + %0.5 Ginger powder, T4: Control + %0.5 Turmeric powder, T5: Control + %0.5 mix

Table 6: The effect of Experimental Diets on Visceral Organs of Broiler Chickens

Parameters	Gender	Groups					SED	P=
		T1	T2	T3	T4	T5		
Abdominal fat (g/chicks)	Male	85.73	29.80	29.70	36.95	28	12.125	0.527
	Female	26.55	27.30	25.18	30.73	31.30	1.708	0.742
	Average	56.14	28.55	27.44	33.84	29.65	1930	0.550
Heart (g/chicks)	Male	10.50 ^b	12.67 ^a	11.58 ^{ab}	12.52 ^a	11.71 ^{ab}	0.116	0.043
	Female	11.42	10.10	10.22	9.95	9.33	0.212	0.390
	Average	10.96	11.38	10.90	11.23	10.52	0.302	0.910
Gizzard (g/chicks)	Male	36.03	40.22	37.31	40.36	30.85	0.979	0.310
	Female	33.28	32.32	33.49	31.50	30.21	1.228	0.969
	Average	34.65	36.27	35.40	35.93	30.53	1.169	0.546
Liver (g/chicks)	Male	57.49	48.97	58.89	58.29	57.57	2.171	0.829
	Female	59.77	48.65	48.14	49.88	48.94	1.431	0.422
	Average	58.63	48.81	53.51	54.08	53.25	1.772	0.559
Spleen (g/chicks)	Male	2.06	2.72	2.55	2.93	2.39	0.131	0.665
	Female	2.99 ^a	2.21 ^{ab}	1.81 ^b	2.15 ^{ab}	1.55 ^b	0.089	0.092
	Average	2.52	2.46	2.18	2.54	1.97	0.135	0.613
Pancreas (g/chicks)	Male	8.05	6.46	6.94	8.06	5.41	0.322	0.408
	Female	7.04	5.71	6.26	6.47	6.64	0.154	0.484
	Average	7.54	6.09	6.60	7.26	6.02	0.250	0.254
Bursa fabricius (g/chicks)	Male	3.60	3.78	3.23	3.58	3.53	0.164	0.875
	Female	2.63 ^b	3.23 ^{ab}	3.38 ^{ab}	3.95 ^a	4.03 ^a	0.180	0.141
	Average	3.11	3.50	3.30	3.76	3.78	0.122	0.369

T1: Control (without any adding), T2: Control+ %0.5 Garlic powder, T3: Control + %0.5 Ginger powder, T4: Control + %0.5 Turmeric powder, T5: Control + %0.5 mix

Data related to broiler chickens visceral organs weight are given in Table 6. According to Table 6, it can be seen that abdominal fat amounts improved between experimental groups whose diets having 0.5% ginger, garlic and turmeric powders than the control group. According to this table, it can be seen that feeding of diets which were containing 0.5% garlic, ginger, turmeric and these powders mix does not affect heart and gizzard weights ($P>0.05$). Also, Included of 5% ginger, garlic, turmeric and mixture powder in broiler chicken's diet does not have significant effect on liver and spleen weights but, higher liver and spleen were related to control and turmeric groups respectively ($P>0.05$). As known, bursa fabricius is one of the organs of the immune system and adding of 0.5% garlic,

The Effect Medicinal Plants on Performance, Carcass Parameters and Meat Quality in Broiler Chickens

ginger, turmeric and mix of these powders in broiler chicken's diet numerically increased this organ weight.

Meat physical analyses

Results related meat physical parameters were given in Table 7. The results obtained from this study revealed that the adding of 0.5% Garlic, Ginger and Turmeric powders in broiler chicken's diet have significant effects on breast color ($P < 0.05$). According to Table 7, it can be seen that breast (a^* and b^*) colors affected by experimental diet but breast L^* color was not affected by experimental diet. The highest value of redness (a^*) of breast was observed in treatment with the addition of 0.5% Turmeric with significant differences compared to other experimental dietary treatments. Also it can be seen that feeding of diets which was containing 0.5% Garric, Ginger, Turmerik and there powders mixture does not have any significant effect on thigh color ($P > 0.05$). Data obtained from this study indicated that values of lightness, redness and yellowness of thigh were higher in groups which feed diets containing 0.5% Ginger, mixture and control groups respectively.

Table 7: The effect of Experimental Diets on Meat Physical Parameters

Parameters	Gender	Gruplar					SED	P=
		T1	T2	T3	T4	T5		
Breast L^*	Male	45.20	47.47	45.66	47.23	47.19	2089	0.738
	Female	47.07	48.48	48.02	47.01	48.04	5496	0.884
	Average	46.13	47.98	46.84	47.12	47.62	1318	0.675
Breast a^*	Male	4.36 ^a	3.47 ^{ab}	2.99 ^b	4.13 ^{ab}	4.35 ^a	0.179	0.110
	Female	2.89	2.89	3.49	4.82	4.12	2994	0.239
	Average	3.62 ^{ab}	3.18 ^b	3.24 ^b	4.47 ^a	4.24 ^{ab}	1756	0.088
Breast b^*	Male	13.69 ^{ab}	14.61 ^{ab}	12.55 ^b	15.19 ^a	14.73 ^{ab}	3393	0.160
	Female	13.09	14.65	13.69	15.04	15.03	3055	0.219
	Average	13.39 ^{bc}	14.63 ^{ab}	13.12 ^c	15.11 ^a	17.88 ^a	2173	0.016
Thigh L^*	Male	47.99	52.98	47.81	51.69	48.57	3035	0.343
	Female	51.87	51.86	53.25	51.57	45.32	3939	0.330
	Average	49.93	52.42	50.53	51.63	46.94	2472	0.237
Thigh a^*	Male	4.63	4.71	5.83	5.24	5.72	4812	0.896
	Female	6.11	4.41	4.27	5.58	5.71	5206	0.704
	Average	5.37	4.56	5.05	5.55	5.72	1072	0.833
Thigh b^*	Male	13.95	14.30	13.09	13.20	13.70	1859	0.960
	Female	16.99 ^a	14.41 ^{ab}	16.08 ^{ab}	13.24 ^b	16.69 ^{ab}	4027	0.073
	Average	15.47	14.35	14.58	13.22	14.19	1167	0.443

T1: Control (without any adding), T2: Control+ %0.5 Garlic powder, T3: Control + %0.5 Ginger powder, T4: Control + %0.5 Turmeric powder, T5: Control + %0.5 mix

In this study broiler chickens feed intake was affected by dietary garlic, Ginger, Turmeric and these powders mixture at the 14 and 21 days of age. Our study results are agreement whit previous studies. For example; it was demonstrated that, included 0, 5, 10 and 15 g/kg higher powder in broiler chicken's diet and reported that, the experimental diets have a significant effect on feed intake but does not have any significant effect on body weight and feed conversion ratio (Al-Khalaifah et al., 2022). Effects of thyme and turmeric powders on broiler chicken performance were investigated by some researcher. These researcher added 5 g/kg turmeric, 5 g/kg thyme and mix of these powders (25+25 g/kg) in broiler chickens diet and reported that body weight and feed conversion ratio were not affected by the experimental diet (Fallah and Mirzaei, 2016). Also, it was demonstrated that feeding of diets which were containing 100, 200 and 300 mg/kg of thyme and 100, 200 and 300 mg/kg garlic oil does not have any effects on feed intake and body weights of broiler chickens (Saleh et al., 2014). On the other hands, according to some researches inclusion of 1% garlic, ginger and these powders mix in Cobb-400 broiler chickens ration have a significant effect on feed intake, body weight and feed conversion ratio (Karangiya et al., 2016). In the other study on broiler chickens it was showed that,

The Effect Medicinal Plants on Performance, Carcass Parameters and Meat Quality in Broiler Chickens

supplementing broiler feed diets with 12, 240, and 360 ppm of ginger increased the broiler body weight gain (Tekeli et al., 2011). Also, it was informed that inclusion of 0, 0.25, 0.50, 0.75 and 1% turmeric powder in broiler chickens diet have significant effect on body weight and Feed conversion ratio but does not have any effect on mortality rate (Ekine et al., 2020). In the other study, researcher included 2% ginger powder in broiler chicken's diet and the showed that ginger powder increased body weight of broiler chickens and our study result is in contrast with these researcher results (Moorthy et al., 2009). Also, Yesuf et al., 2023, demonestrated adding of some medicinal plant such as black cumin, fenugreek and turmeric in Cobb 500 broiler chickens diet have a significant effect on feed conversion ratio, body weight gain, and final body weights ($P < 0.05$). Another researcher reported that, fed of broiler chickens with diets which were supplemented with different levels of cumin meal and çopra or cocount mel significantly improved body weight and feed conversion ratio (Zaazaa et al., 2023) ($P < 0.05$). Our study results are inconsistent with some study results and it seems that, this difference is due to the level of medical and aromatic plants used in feed or their particle size.

Effects of medicinal and aromatic plant on broiler chickens carcass characteristics were investigated by some researchers and our results are agreement with these researcher results. For example; included of 0.25, 0.50 and 0.75 g/kg garlic powder and phenyl acetic acid in Cobb broiler chicken's diet and researcher demonstrated that, amounts of slaughter and heart weights were not affected by the feed additives but liver weight affected by the experimental rations (Ismail et al., 2021). In the another study which was conducted by Mustafa et al. (2021), it was demonstrated that, the weights of heart, spleen, gizzard and bursa fabricus of broiler chickens were not affected by diets which were containing 50, 75 g/ton curcumin, and 1.65, 2.5kg/ton turmeric powder. Ashour et al. (2020), added 300 g red pepper, 300g thyme, 300g rosemary, 150g anise, 150 g min, 300g black cumin and 300g garlic powder in broiler chickens diet for 35 days and reported that these feed additives does not have significant effect on liver and heart weights. Adding of different levels (%0, 0.5, 1 and 1.5) of turmeric in broiler chicken's ration did not affect liver weight but improved carcass yield and abdominal fat (Mondal et al., 2015). Also, it was reported that supplementation of broiler chickens' diet with 0.05, 1, and 2 % fermented medicinal plant combination does not have any significant effect on gizzard, heart, spleen, bursa and liver weights (Bostami et al., 2017). On the other hand our results are in contrast with some researches. It was showed that feeding of diets which were containing 1% garlic powder and 0.9g/kg-1 probiotic by broiler chickens have significant effect on carcass yield, heart, gizzard, spleen, abdominal fat and liver weights (Rastad, 2020). Al-Massad et al. (2018), demonstrated that inclusion of 2.5, 5, 7.5 kg/ton garlic powder in 400 broiler chicken's diet have a significant effect on heart, liver, gizzard and abdominal fat amounts.

Physical and organoleptic have been essential for broiler meat quality and acceptance (Mir et al., 2017). The results of this study showed that meat color in broiler chickens can be affected by the experimental diet. The results of this study are consistent with the results of some researcher. So Theshla et al. (2019) reported that the color of breast meat (L^* , a^* , b^*) of broiler chickens was affected by diets which were containing black paper, Hot red paper and mixture of these powder. It was suggested that herbal plants may delay myoglobin oxidation and preventing muscle protein denaturation in broiler meats and finally change the amount of a^* and b^* colour amounts in this way (Rastad, 2020). Also, it was reported that, herbal plants can increase hemoglobin in broiler tissue and support of this, it was suggested levels of 200, 400, 600 and 800 mg/kg turmeric extract improved broilers digestion and metabolism and due to this hemoglobin production was increased in broiler tissue and ultimately produced redder meat in broilers (Sugiharto, 2011). According to these

The Effect Medicinal Plants on Performance, Carcass Parameters and Meat Quality in Broiler Chickens

researchers supplementation of chicken's diet with herbal may enhance pigment deposition in broiler meats especially yellow pigment and it causes the change colour of meat (Sugiharto, 2020).

CONCLUSION

It could be concluded that use of 0.5% Garlic, Ginger, Turmeric and these powders mixture in broiler chicken's diet improve feed intake (at 14 and 21 days), body weight gain (at 7 days) and feed conversion ratio (at 7, 14 and 21 days). It would also be concluded that adding of these feed additives in the broiler chicken's diet have a significant effect on carcass yield, thigh, wings, heart, spleen and bursa fabricius. Also, supplemented of these plants in broiler chicken's diet have a significant effect on breast a, breast b and thigh b colours. According to the results obtained from this study, it can be said that the use of these medicinal plants in the diet of broiler chickens can have positive effects on performance, carcass parameters and meat colors.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors gratefully acknowledge Hakkari University Scientific Research Projects Coordination and Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Cukurova University for their cooperation in the execution of the project.

KAYNAKLAR

- Abd El-Hakim A.S, G. Cherian and M.N. Ali. (2009). Use of organic acid, herbs and their combination to improve the utilization of commercial low protein broiler diets. *International Journal of Poultry Science* 8: 14-20.
- Adebisi, F.G., A.D. Ologhobo and I.O Adejumo. (2017). Efficacy of *Allium sativum* as growth promoter, immune booster and cholesterol-lowering agent on broiler chickens. *Asian Journal of Animal Sciences.*, 11(5): 202- 213.
- Alagawany, M and M.A. Abd El-Hack. (2015). The effect of rosemary herb as a dietary supplement on performance, egg quality, serum biochemical parameters, and oxidative status in laying hens. *Journal of Animal and Feed Sciences.* 24, 341-347.
- Al-Khalaifah, H., A.A. Al-Nasser, T. Al-Surrayai, H. Sultan, D. Al-Attal, R. Al-Kandari, H. Al-Saleem, A. Al-Holi and F. Dashti. (2022). Effect of Ginger Powder on Production Performance, Antioxidant Status, Hematological Parameters, Digestibility, and Plasma Cholesterol Content in Broiler Chickens. *Animals*.(Basel), Apr; 12(7): 901. DOI: 10.3390/ani12070901.
- Al-Massad, M, D., Al-Ramamneh, A. Al-Sharafat, A. Abdelqader and N. Hussain. (2018). Effect of using garlic on the economical and physiological characteristics of broiler chickens. *Russian Agricultural Sciences.*, 44(3), 276-281.
- Al-Nasser, A., H. Al-Khalaifah, H. Al-Mansour, A. Ahma and G. Ragh. (2020). Evaluating farm size and technology use in poultry production in Kuwait. *World's Poultry Science Journal.*, 76: 365–380, 2020.
- Ashour, E.A., M.E. Abd El-Hack, A.A. Swelum, A.O. Osman, A.E. Taha, A.R. Alhimaidi and I.E. Ismail. (2020). Does the dietary graded levels of herbal mixture powder impact growth, carcass traits, blood indices and meat quality of the broilers?. *Italian Journal of Animal Science*, 19(1): 1228-1237.
- Bednarczyk, M., K. Stadnicka, I. Kozłowska, C. Abiuso, S. Tavaniello, A. Dankowiakowska, A. Sławińska and G. Maiorano. (2016). Influence of different prebiotics and mode of their administration on broiler chicken performance. *Animals.* 10(8): 1271-1279.
- Behnamifar, A., S.H. Rahimi, M.A. Karimi Torshizi and Z. Mammad Zade. (2018). Effect of Chamomile, Wild Mint and Oregano Herbal Extracts on Quality and Quantity of Eggs, Hatchability, and Some Other Parameters in Laying Japanese Quails. *J. Medici. Plan. By-pro.*, 2: 173-180.

The Effect Medicinal Plants on Performance, Carcass Parameters and Meat Quality in Broiler Chickens

- Borazjanizadeh, M., M. Eslami, M. Bojarpour, M. Chaji and J. Fayazi. (2011). The effect of clove and oregano on economic value of broiler the effect of clove and oregano on economic value of broiler chicken's diet under hot weather of Khuzestan. *Journal of Animal and Veterinary Advances.*, 10: 169-173. 2011.
- Bostami, A. B. M., Sarker, M. S. K., & Yang, C. J. (2017). Performance and meat fatty acid profile in mixed sex broilers fed diet supplemented with fermented medicinal plant combinations. *JAPS: Journal of Animal & Plant Sciences*, 27(2).
- Braykov, N.P, J.N. Eisenberg, M. Grossman, L. Zhang. K. Vasco and W. Cevallos. (2016). Antibiotic resistance in animal and environmental samples associated with small-scale poultry farming in northwestern Ecuador. *Appl. Enviro. Sci.*, 1(1), 1-15.
- Das, L., E. Bhaumik, U. Raychaudhuri and R. Chakraborty. (2012). Role of nutraceuticals in human health. *Journal of Food Science and Technology.*, 49: 173–183.
- Demir, E., S. Sarica, M.A. Ozcana and M. Suicmez. (2003). The use of natural feed additives as alternatives for an antibiotic growth promoter in broiler diets. *British Poultry Science.*, Pages 44-45.
- Dieumou, F., A. Teguiá, J. Kuate, J. Tamokou, N. Fonge and M. Dongmo. (2009). Effects of ginger (*Zingiber officinale*) and garlic (*Alliumsativum*) essential oils on growth performance and gut microbial population of broiler chickens. *Livestock Research for Rural Development.*, (21), 23–32.
- Ekine, O.A., E.F. Udoudo and O.S. George. (2020). Influence of turmeric (*Curcuma longa*) as feed additive on the performance, serum enzymes and lipid profile of broiler chickens. *Nigerian Journal of Animal Science.*, 22(2): 57-63.
- Fallah, R., Mirzaei, E. (2016). Effect of Dietary Inclusion of Turmeric and Thyme powders on performance, blood parameters and immune system of broiler chickens. *J.. Lives. Sci.*, 7: 180-186. 2016.
- Ismail, I.E., M. Alagawany. A.E. Taha, N. Puvača, V. Laudadio and Tufarelli V. (2021). Effect of dietary supplementation of garlic powder and phenyl acetic acid on productive performance, blood haematology, immunity and antioxidant status of broiler chickens. *Anim. Bios.*, 34(3), 363. DOI: 10.5713/ajas.20.0140.
- Karangiya, V.K., H.H. Savsani, S. Soma Pati., D.D. Garg, K.S. Murthy, N.K. Ribadiya and S.J. Vekariya. (2016). Effect of dietary supplementation of garlic, ginger and their combination on feed intake, growth performance and economics in commercial broilers. *Veterinary World.* (9): 245-250.
- Mir, N.A., A. Rafiq, F. Kumar, V. Singh and V. Shukla. (2017). Determinants of broiler chicken meat quality and factors affecting them: a review. *Journal of Food Science and Technology*, (54):2997-3009.
- Mondal, M.A., T. Yeasmin, R. Karim, M.N. Siddiqui, S.R. Nabi, M.A. Sayed, M.N.A. Siddiky. (2015). Effect of dietary supplementation of turmeric (*Curcuma longa*) powder on the growth performance and carcass traits of broiler chicks. *SAARC Journal of Agriculture.*, 13(1), 188-199.
- Moorthy, M., S. Ravi, M, Ravikumar, K. Viswanathan and S. Edwin. (2009). Ginger, pepper and curry leaf powder as feed additives in broiler diet. *International Journal of Poultry Science.*, 8: 779–782.
- Mustafa, M.M., F. Karadas and I. T. Tayeb. (2021). Adding different levels of turmeric powder and curcumin in the diet on broiler performance, carcass traits, immunity and gut morphology of broiler chicken under normal and heat stress condition. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences –2021:52(2):512-526.*
- Nir İ, Şenköylü N (2000): Kanatlılar için sindirimi destekleyen yem katkı maddeleri. *Trakya Üniv. Tekirdağ Ziraat Fakültesi, Tekirdağ.*
- Özkan, K., Açıkgöz. Z. (2007). Kanatlı kümes hayvanlarının beslenmesi. 1.Baskı, Hasad Yayıncılık, İstanbul.
- Rana, M.M., M.N. Hossain, M.K. Rabby, M.S.K. Sarkar and M.S. Ali. (2014). Performance of broilers fed vegetable based diets supplemented with organic acids and methionine as growth promoter source and antibiotics. *Journal of Scientific Research and Reports.*, 3(8):1105-1116.
- Rastad. A. (2020). Effects of antibiotic replacement with garlic powder and probiotic on performance, carcass characteristics, oxidative enzymes and intestinal morphology of broiler chickens. *Acta Scientiarum - Animal Sciences.*, (42): e48734,.
- Ross. (2014). Broiler 308 Nutrition, Specifications, 2014; www.aviagen.com; Accessed: 24.05.2014.

The Effect Medicinal Plants on Performance, Carcass Parameters and Meat Quality in Broiler Chickens

- Saleh, N., T. Allam. A. Abd El-latif and E. Ghazy. (2014). The Effects of Dietary Supplementation of Different Levels of Thyme (*Thymus vulgaris*) and Ginger (*Zingiber officinale*) Essential Oils on Performance, Hematological, Biochemical and Immunological Parameters of Broiler Chickens. *Global-Vet.*, 12 (6): 736-744.
- SAS Institue. SAS User's Guide. Statistics. Version. 5th edn., SAS Institue Inc., Cary, NC.USA, 2005.
- Sugiharto, S., I. Isroli, E. Widiastuti and N. Prabowo. (2011). Effect of turmeric extract on blood parameters, feed efficiency and abdominal fat content in broilers. *Journal of IndonesiaTropical Animal Agriculture.*, (36): 21-26.
- Sugiharto, S., E. Widiastuti, I. Isroli, T. Yudiarti, T.A. Sartono and H.I. Wahyuni. (2020). Breast meat characteristics of broilers fed fermented mixture of cassava pulp andMoringa oleiferaleaf meal. . *Journal of IndonesiaTropical Animal Agriculture.* (45):103-114.
- Sugiharto. S. (2016). Role of nutraceuticals in gut healt and growth performance of poultry. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences.* 15(2): 99–111.
- Tashla. T., N. Puvača1, D. Ljubojević Pelić, R. Prodanović, S. Ignjatijević, J. Bošković1, D. Ivanišević, M. Jahić, O. Mahmoud, I. Giannenas and J. Lević. (2019). Dietary medicinal plants enhance the chemical composition and quality of broiler chicken meat. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society,* 70(4): 1823-1832.
- Tekeli, Y., G. Zengin, A. Aktumsek, M. Sezgin, E. Torlak. (2011). Antibacterial activities of extracts from twelve *Centaurea* species from Turkey. *Archives of Biological Sciences.*, 63: 685–690. 2011.
- Teshika, J.D., A.M. Zakariyyah and T. Zaynab. 2019. Traditional and modern uses of onion bulb (*Allium cepa* L.): a systematic review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition.* (59). S39-70.
- Wang, S., L. Zhang, J. Li, J. Cong, F. Gao, and G. Zhou. (2017). Effects of dietary marigold extract supplementation on growth performance, pigmentation, antioxidant capacity and meat quality in broiler chickens. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences.* 30:71-77.
- Yesuf, Y. K., Tamir, B., Tesfaye, E., & Beyero, N. (2023). The synergetic effects of some phytobiotics mix on growth, hematology and microbial loads of broiler chickens. *Animal Biotechnology,* 1-7.
- Yitbarek, M.B. (2015). Phyto-genics as feed additives in poultry production: a review. *Int. J. Exten. Res.* 3: 49-60.
- Zaazaa, A., Mudalal, S., Sabbah, M., Altamimi, M., Dalab, A., & Samara, M. (2023). Effects of Black Cumin Seed (*Nigella sativa*) and Coconut Meals (*Cocos nucifera*) on Broiler Performance and Cecal Microbiota. *Animals,* 13(3), 535.

Atf İçin: Şahin, O. (2023). Türkiye'de yetiştirilen Holstein Friesian, Brown Swiss ve Simmental Irkları ile melez genotiplerine ait bazı döl verim özelliklerinin karşılaştırılması. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2): 1429-1441.

To Cite: Şahin, O. (2023). Comparison of Some Fertility Characteristics of Holstein Friesian, Brown Swiss and Simmental Breeds and Their Crossbreeds Raised in Türkiye. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2): 1429-1441.

Türkiye'de Yetiştirilen Siyah Alaca - Holstein, Esmer ve Simmental Irkları ile Melez Genotiplerine Ait Bazı Döl Verim Özelliklerinin Karşılaştırılması

Onur ŞAHİN^{1*}

Öne Çıkanlar:

- İnteraksiyon
- Adaptasyon
- İrk tercihi

Anahtar Kelimeler:

- Döl verimi
- Genotip
- Siyah Alaca -Holstein
- Simmental
- Esmer
- İnteraksiyon

ÖZET:

Bu çalışma soy kütüğü sistemine kayıtlı olan Siyah Alaca - Holstein (HF), Esmer (BS), Simmental (SM), Siyah Alaca - Holstein melezi (HFX), Esmer melezi (BSX) ve Simmental melezi (SMX) sığırlara ait bazı üreme özelliklerini karşılaştırmak amacıyla yürütülmüştür. Çalışmanın materyalini 2000-2019 yılları arasında doğmuş 22.331 baş ineğe ait 2001 – 2014 yılları arasındaki döl verim kayıtları kullanılmıştır. Döl verimi özellikleri üzerine genotip ve bölge faktörlerinin etkilerinin istatistiksel analizi amacıyla GLM ANOVA yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada sığır ırkları ve melezlerinin döl verimi özellikleri Türkiye'deki coğrafik bölgeler bazında ortaya konularak karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; ilkine buzağılama yaşı (İBY) 858.0 ± 151.1 gün, ilk buzağılamada gebelik süresi (İBGS) 274.4 ± 13.5 gün, gebelik başına tohumlama sayısı (GBTS) 1.98 ± 0.98 adet/baş, bir inekten alınan canlı buzağı sayısı (CDBS) 4.1 ± 1.8 baş ve buzağılama aralığı (BA) 441.2 ± 88.8 gün olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, İBY, CDBS ve BA özellikleri açısından genotip x bölge interaksyonunun önemli olması, ırkların bu özellikler bakımından bölgelerde ortaya koymuş oldukları döl verim performansının farklı olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada genotip x bölge interaksyonunun önemli olduğu tespit edilmiş olup İBY, CDBS ve bu BA özellikleri için yürütülecek seleksiyon çalışmaları ile bölgelere göre yapılacak ırk tercihlerinde bu araştırma sonuçlarının dikkate alınması yeni oluşturulacak sürülerin döl verim performansının yükseltilmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Comparison of Some Fertility Characteristics of Holstein Friesian, Brown Swiss and Simmental Breeds and Their Crosses Raised in Türkiye

Highlights:

- Interaction
- Adaptation
- Race select

Keywords:

- Brown Swiss
- Genotype
- Holstein Friesian
- Interaction
- Reproduction
- Simmental

ABSTRACT:

This study was carried out to compare some fertility characteristics of Holstein Friesian (HF), Brown Swiss (BS), Simmental (SM), Holstein Friesian cross (HFX), Brown Swiss cross (BSX) and Simmental cross (SMX) cattles registered in the herdbook system. The fertility records of 22,331 cows born between 2000 and 2019 between 2001 and 2014 were used as the material of the study. GLM ANOVA method was used for statistical analysis of the effects of genotype and region factors on reproductive traits. In this study, reproductive characteristics of cattle breeds and crosses were presented and compared on the basis of geographical regions in Turkey. Overall herd averages were 858.0 ± 151.1 days for the first calving age (FCA); 274.4 ± 13.5 days for gestational age at first calving (FGA); 1.98 ± 0.98 doses for the number of inseminations per pregnancy (IPP); number of live calves from one cow (LCPC) was 4.1 ± 1.8 , and calving interval (CI) was 441.2 ± 88.8 days. As a result, The fact that genotype x region interaction is important in terms of FCA, LCPC and CI characteristics shows that the reproductive performance of the breeds in these regions is different in terms of these characteristics. It is believed that the selection studies to be carried out for first calving age, number of live calves per cow and Calving interval traits where genotype x region interaction is important and the consideration of these research results in the breed preferences to be made according to the regions will contribute to increasing the fertility performance of the herds.

¹Onur ŞAHİN (ORCID ID: 0000-0002-3801-3881), Muş Alparslan Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Hayvansal Üretim ve Teknolojileri Bölümü, Muş, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Onur ŞAHİN, e-mail: o.sahin@alparslan.edu.tr

Etik Kurul Onayı / Ethics Committee Approval: Çalışmada hazır veri kullanılmıştır.

GİRİŞ

Sığır yetiştiriciliğinde temel amaç, diğer çiftlik hayvanları türlerinde olduğu gibi en yüksek verimi en ekonomik bir şekilde elde etmektir. Verimin düzeyini ise hayvanın genetik yapısı ve çevre şartları belirlemektedir. Üretilen ürünün maksimum kılınabilmesi için bu iki temel unsurun birlikte ele alınması gerekmektedir. Ancak, döl verim özelliklerinin şekillenmesinde hayvanın genetik yapısının etkisi çok az olduğundan, düzenli bir döl verimi için çevre şartlarının iyileştirilmesine gerek vardır (Erdem ve ark., 2007).

Sığırlar süt verimi, kırmızı et verimi, döl verimi, deri, tırnak, işkembe, barsak olmak üzere pek çok ürünün kaynağı durumundadır (Tüzemen, 2020). Sayılan verimlerin tamamının sürdürülebilirliği döl verimine bağlıdır. Bu nedenle döl verimi hayvansal üretim açısından anahtar rol oynamaktadır.

Hayvanların nesillerini ve sahip olduğu verim özelliklerini devam ettirebilmeleri, diğer bir ifadeyle sürdürülebilirlik ve gelişme döl veriminin devamlılığına bağlıdır (Kopuzlu ve ark., 2008).

Temel verim statüsüne sahip olan döl verim özellikleri, besleme başta olmak üzere çeşitli çevre faktörlerinden etkilenmekte ve bu durum hayvanlar arasında döl verim performansı bakımından farklılıklara yol açmaktadır (Kumlu, 2000). Benzer şekilde döl verimi özellikleri yetiştirme ve çevre faktörlerinden oldukça fazla etkilenmektedir. İşletmenin verimliliğini ve karlılığı büyük ölçüde döl verim özellikleri açısından ortaya koymuş olduğu başarı ile yakın ilişkilidir (Tüzemen, 2020).

Bu çalışma, Türkiye'de yaygın olarak yetiştirilen sığır ırkları ve bunların melezlerinin döl verimi özellikleri bakımından yetiştirildikleri coğrafik bölgelerdeki performanslarının karşılaştırılması amacıyla yapılmıştır.

MATERYAL VE METOT

Çalışmanın materyalini, Türkiye'de 7 coğrafik bölgedeki 24.461 adet işletmede yetiştirilen Siyah Alaca - Holstein (HF), Siyah Alaca - Holstein melezi (HFX), Esmer (BS), Esmer melezi (BSX), Simmental (S) ve Simmental melezi (SMX), (BCSM, 2022) 22.331 baş sığıra ait döl verim kayıtlarından elde edilen; İlkine buzağılama yaşı (İBY), ilkine buzağılama gebelik süresi (İBGS), gebelik başına tohumlama sayısı (GBTS), canlı doğan buzağı sayısı (CDBS) ve buzağılama aralığı (BA) verileri oluşturmuştur.

Döl verim özelliklerine ait verilerden suni tohumlama kayıtları, mobil kayıt sistem aracılığı ile suni tohumlama sırasında toplanmaktadır. Buzağılama kayıtları ise inek üzerine kayıtlı suni tohumlama verileri dikkate alınarak yetkili personel marifeti ile ve sistem denetiminde kayıt altına alınmaktadır. Bazı döl verim özelliklerine ait tanımlamalar Çizelge 1'de verilmiştir (ICAR, 2022a; ICAR, 2022b).

Çizelge 1. Bazı Döl Verim Özelliklerine Ait Tanımlamalar

Özellikler	Kısaltma	Tanımlama
İlkine Buzağılama Yaşı (gün)	İBY	İneğin doğum tarihi ile ilk defa buzağıladığı tarih arasındaki süre olarak hesaplanır.
İlkine Buzağılamada Gebelik Süresi (gün)	İBGS	İneğin ilk gebelik dönemine ait süredir.
Gebelik Başına Tohumlama Sayısı (doz)	GBTS	İnekte gebelik elde etmek için bir laktasyonda veya belirli bir zaman diliminde yapılan tohumlama sayısı
Canlı Doğan Buzağı Sayısı (baş)	CDBS	Bir buzağılama dönemi için canlı doğan buzağıların sayısıdır.
Buzağılama Aralığı (gün)	BA	Buzağılama aralığı, iki ardışık buzağılama arasındaki gün sayısıdır.

Verilerin Analizi

Bu çalışmada Türkiye'de Soy kütüğü sistemine kayıtlı sürülere ait 2000-2014 yılları arası kayıtlar kullanılmıştır. Araştırmada Siyah Alaca - Holstein (HF), Esmer (BS), Simmental (SM) saf

ırkları ile Siyah Alaca - Holstein melezi (HFX), Esmer melezi (BSX) ve Simmental melezi (SMX) sığırların bazı döl verimi özelliklerine ait veriler değerlendirilmiştir. Verim kayıtlarının değerlendirilmesinde bazı kayıtlar değerlendirme dışı bırakılmıştır. Bunlar;

1. İlk buzağılama yaşı 700 günden kısa, 1500 günden uzun hayvanlar,
2. Süt verim kaydı olmayan ve hayvanlar, ve ömür boyu süt verimi 1000 kg dan düşük hayvanlar
3. Sağım süresi 100 günden kısa 660 günden uzun hayvanlar,
4. İlk gebelik süresi 214 günden kısa 295 günden uzun hayvanlar

Döl verimi özellikleri üzerine genotip ve bölge faktörlerinin etkilerinin analizi amacıyla GLM ANOVA yöntemi kullanılmıştır.

Analizde aşağıda ifade edilen etkileşimli (interaksiyon) model kullanılmıştır. Gözlem sayısı çok büyük olduğu için;

$Y_{ijk} = \mu + g_i + b_j + (gb)_{ij} + e_{ijk}$ şeklinde olup,

Y_{ijk} : İncelenen özelliğe ait gözlem değerini, ($Y_{ijk} \sim N(\mu, \sigma^2)$)

μ : İncelenen özelliğe ait genel ortalamayı,

g_i : Irk veya genotip etkisini,

b_j : Bölge etkisini,

gb_{ij} : Irk-genotip ve bölge etkileşim etkisini,

e_{ijk} : Şansa bağlı hatayı ($e_{ijk} \sim N(0, \sigma_e^2)$) göstermektedir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada Türkiye de doğan ve yetiştirilen Siyah Alaca - Holstein (HF), Esmer (BS) ve Simmental (SM) ırkları ile bu ırkların melezleri olan Siyah Alaca - Holstein melezi (HFX) , Esmer melezi (BSX) ve Simmental melezi (SMX) için döl verim özellikleri incelenmiştir. Bu sığır ırkları ve genotiplerine ait varyans analizi sonuçları da Çizelge 2'de verilmiştir.

Döl verim özelliklerinden ilk buzağılama yaşı (İBY) gün, inek başına gebelik süresi (İBGS) gün, gebelik başına tohumlama sayısı (BTS) adet, canlı doğan buzağı sayısı (CDBS) adet, ve buzağılama aralığı (BA) incelenmiş olup, bu özelliklere ait Duncan karşılaştırma testleri ise Çizelge 2- 7'de verilmiştir.

Türkiye de doğan ve yetiştirilen HF, BS ve SM sığır ırkları ile bu ırkların HFX, BSX ve SMX melezlerine ait döl verim özellikleri incelendiğinde; ilk buzağılama yaşının (İBY) genotip ve bölgelere göre farklılık gösterdiği belirlenmiştir ($p < 0.001$).

İBGS genotip ve bölgelere göre sırasıyla $p < 0.01$ ve $p < 0.001$ seviyesinde farklılık göstermiştir. GBTS üzerine genotip ve bölgelerin etkisi de sırasıyla $p < 0.01$ ve $p < 0.001$ anlamlılık seviyesinde farklılık göstermiştir.

CDBS üzerine yine genotipler arasında bir farklılık tespit edilmez iken, ineklerin yetiştirildiği bölgenin etkisi ($p < 0.001$) anlamlı bulunmuştur. İşletmelerde ÖDBS genotip ve bölgelere göre farklılık göstermemiştir ($p > 0.05$).

BA ise sığırların genotiplerine ve yetiştirildikleri bölgelere göre sırasıyla $p < 0.01$ ve $p < 0.001$ seviyesinde farklılık göstermiştir. Bununla birlikte İBY ve CDBS genotip x bölge etkileşimini $p < 0.001$ seviyesinde, BA genotip x bölge etkileşimini $p < 0.01$ seviyesinde anlamlı bulunmuştur (Çizelge 2).

Türkiye'de Yetiştirilen Siyah Alaca - Holstein, Esmer ve Simmental Irkları ile Melez Genotiplerine Ait Bazı Döl Verim Özelliklerinin Karşılaştırılması

Çizelge 2. Döl Verim Özelliklerine Ait Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynakları	df	Parameter									
		İBY		İBGS		GBTS		CDBS		BA	
		F	p value	F	p value	F	p value	F	p value	F	p value
Genotip (G)	5	9.40	<0.001	3.88	0.002	3.02	0.010	2.11	0.062	3.42	0.004
Coğrafik Bölge (B)	6	12.80	<0.001	6.83	<0.000	3.55	0.002	6.49	<0.001	4.99	<0.001
İnteraksiyon (G x B)	30	3.42	<0.001	1.35	0.096	0.85	0.702	2.16	<0.001	1.78	0.005
Error	22289										
D-R ²		0.971		0.998		0.810		0.789		0.962	

İBY: İlk buzağılama yaşı; İBGS: İlk buzağılamada gebelik süresi; GBTS: Gebelik başına tohumlama sayısı; CDBS: Number of calves born alive; BA Calving Interval, GBTS özelliği için sd=21239; D-R²: Adjusted coefficient of determination

İlkineb Yaşı (İBY)

Çizelge 3. Irk ve Bölgeye Göre İBY (gün) Ait Tanımlayıcı İstatistikleri ve Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi

İrk		M	E	İA	A	K	DA	GDA	İrk Genel
HF	n	8029	3551	7141	584	445	28	107	19885
	\bar{x}	860	830	870	844	855	1002	898	851 ^d
	Sd	135	148	152	131	139	217	185	145
BS	n	73	128	222	6	123	22	7	581
	\bar{x}	883	909	928	811	964	1055	830	928 ^b
	Sd	140	167	194	121	217	171	145	189
SM	n	97	238	274	48	144	25	14	840
	\bar{x}	804	896	895	832	903	1047	999	889 ^c
	Sd	93	176	161	88	166	188	200	164
HFX	n	127	104	276	14	23	2	20	566
	\bar{x}	856	909	897	932	893	1002	1007	895 ^c
	Sd	143	192	169	183	187	214	245	174
BSX	n	7	20	44	1	15	37	2	126
	\bar{x}	1064	970	967	776	945	1207	731	1036 ^a
	Sd	249	249	215	-	205	185	16	239
SMX	n	42	56	123	9	52	44	7	333
	\bar{x}	899	885	876	859	991	1109	1073	933 ^b
	Sd	189	150	133	88	205	185	220	183
Bölge Genel	n	8375	4097	8080	662	802	158	157	22331
	\bar{x}	831 ^o	866 ⁿ	874 ^{mm}	845 ^m	892 ^m	1094 ^k	923 ^l	858
	Sd	135	153	155	130	172	201	201	151

Duncan testi sonuçları; a, b, c, d, e : Toplam satırında değişik harflerle işaretli ortalamalar arasındaki farklar önemlidir (p<0.05).

k, l, m, o: Bölge geneli sütununda değişik harflerle işaretli ortalamalar arasındaki farklar önemlidir (p<0.05).Ss: Standart sapma

HF: Siyah Alaca - Holstein, BS: Esmer, SM: Simmental, HFX: Siyah Alaca - Holstein Crossbreed, BSX: Esmer Crossbreed, SMX: Simmental Crossbreed; M: Marmara bölgesi; E: Ege bölgesi; İA: İç Anadolu bölgesi; A: Akdeniz bölgesi; K: Karadeniz bölgesi; DA : Doğu Anadolu bölgesi; GDA: Güneydoğu Anadolu bölgesi

Türkiye de doğan ve yetiştirilen HF, BS ve SM sığır ırkları ile bu ırkların HFX, BSX ve SMX melez ırklara ait ilk buzağılama yaşı (İBY) varyans analizi sonuçları incelendiğinde (Çizelge 3), genotip ve bölge faktörlerinin her ikisinin de İBY üzerine etkisi anlamlı bulunmuştur (p<0.001).

Yapılan hesaplamalar sonucunda HF, BS, SM, HFX, BSX ve SMX sığırlara ait ortalama İBY 858±151 gün olarak bulunmuştur. Aynı ırklar ve genotipler için İBY ortalama değerlerini sürü geneli için Özyürek ve Tüzemen (2015) 30.3±0.09 ay (921.1±2.74 gün) olarak bildirmişlerdir.

İrklar bazında ise, HF ırkı sığırlarda İBY değeri 851±145 gün olarak bulunmuş olup, aynı ırk için İBY Erdem ve ark. (2007) 827.40±4.50 gün, Tapkı ve ark. (2007) 396.0 gün, Akkaş ve Şahin (2008) 842.8 gün, Kaygısız ve ark. (2008) 1206 gün, Kopuzlu ve ark. (2008) 936.7±33.2 gün, Bayram ve ark. (2009) 986.0 gün ve Özyürek ve Tüzemen (2015) 28.4 ay, Gültekin (2019) 828.2 gün olarak bildirmişlerdir.

BS ırkı sığırlarda elde edilen İBY 928±189 gün değeri, bazı çalışmalarda aynı ırk için Kopuzlu ve ark. (2008) 1083.4±44.8 gün, Aktaş, Bayram ve ark. (2009) 1061 gün ve Bakır (2011) 875.21±2.7

gün, Çilek and Takafumi (2011) 928 gün ve Özyürek ve Tüzemen (2015) 31.4 ± 0.28 ay olarak tespit edilmiştir.

SM ırkı sığır için elde edilen İBY 889 ± 164 gün değerini, Özkan ve Güneş (2007) 29.98 ay Estrada León et al. (2008) 937.6 gün ve Özyürek ve Tüzemen (2015) 30.7 ± 0.32 ay ve Koç (2016) 913.0 ± 37.03 gün, Gültekin (2019) 949.2 gün olarak bildirmiştir.

HFX, BSX ve SMX sığırlar için İBY ise sırasıyla 895 ± 174 gün, 1036 ± 239 gün ve 933 ± 183 gün olarak hesaplanmıştır. Aynı sırayla ve aynı sığırlar için Özyürek ve Tüzemen (2015) İBY değerlerini sırasıyla 31.4 ± 0.87 ay, 31.0 ± 0.30 ve 32.0 ± 0.47 ay olarak bildirmişlerdir.

Sığır ırkları ve melez genotipler açısından İBY sayısal olarak değerlendirildiğinde; BS sığır ırkında en uzun (1036 gün) bulunurken, HF sığır ırkında en kısa (851 gün) tespit edilmiştir. Duncan karşılaştırma testi sonuçlarına göre ise; BS ırkı ve SMX sığırlar ile SM ırkı ve HFX sığırlar benzer özelliklere sahip olmuştur (Çizelge 3). Sığırların yetiştirildikleri bölgeler dikkate alındığında ise İBY en uzun Doğu Anadolu bölgesi (1094 gün), en kısa (831 gün) Marmara bölgelerine ait olduğu belirlenmiştir. Duncan karşılaştırma testi sonuçlarına göre ise Akdeniz ve Karadeniz bölgelerinde yetiştirilen hayvanların İBY bakımından benzer özelliklere sahip oldukları, diğer bölgelerde yetiştirilen ırk ve genotiplerin ise farklı değerlere sahip oldukları belirlenmiştir (Çizelge 3).

İlkinde Buzağılamada gebelik süresi (İBGS)

Çalışma kapsamında ele alınan sığır ırkları ve melez genotiplerinden ait İBGS varyans analizi Çizelge 4'de verilmiştir. Genotip ve bölge faktörlerinin İBGS üzerine etkisi anlamlı bulunmuş olup, sırasıyla $p < 0.01$ ve $p < 0.001$ seviyesinde farklılık gösterdikleri tespit edilmiştir.

İrklar bazında ise, SA ırkı sığırlarda İBGS değeri 274.1 ± 13.5 gün olarak bulunmuş olup, aynı ırk için Koçak et al. (2008) 281.50 gün, Blöttner et al. (2010) 280.0 gün, Norman et al (2011) 277.3 gün – 280.8 gün arasında, Zbigniew et al. (2015) 279.9 gün, El-Tarabany (2015) 276.4 gün, Kaya ve Bardakçioğlu (2016) 274.88 ± 0.5 gün, Penasa et al. (2016) 280.0 gün, Karimi et al. (2018) 277.0 gün - 278,3 gün arasında, Vieira-Neto et al. (2016) 266 gün-285 gün arasında, Scanavez ve Mendonça (2018) 274.9 gün, Nienartowicz-Zdrojewska et al.(2018) 280.60 gün ve Kašná et al. (2020) 277.0 gün olarak bildirmişlerdir.

Esmer sığırlar için elde edilen İBGS 278.6 ± 12.4 gün değeri, bazı çalışmalarda aynı ırk için Koçak et al. (2008) 287.39 gün, Norman et al. (2009) 287.2 gün, Şahin et al. (2014), 281.79 gün, El-Tarabany (2015) 281.3 gün, Kaya ve Bardakçioğlu (2016) 283.7 ± 1.3 gün, Baykan and Özcan (2017) 284.92 gün olarak bildirmişlerdir.

Simmental sığır ırkı için elde edilen İGS 277.5 ± 12.2 gün değeri, bazı çalışmalarda Özkan ve Güneş (2007) 282.55 gün, Koçak et al. (2008) 287.78 gün, Petrović et al. (2010) 282.91 gün, Zbigniew et al. (2015) 283.5 gün, Vlačić et al. (2015) 288.20 gün, Koç (2016) 286.0 ± 0.40 gün, Baykan and Özcan (2017) 282.04 gün olarak bildirmiştir.

Bu çalışmada ilk gebelik süresine (İBGS) için sığır ırkları ve genotipleri rakamsal olarak karşılaştırıldığında en yüksek değere Esmer ırk (278.6 gün) sahip olurken en düşük değer Simmental sığır ırkında (274.1 gün) belirlenmiştir.

Duncan karşılaştırma testi sonuçları incelendiğinde ise; BS, SM, BSX ve SMX sığırlar benzer değerlere sahip olurken, HF ve HFX sığırların benzer değerler aldıkları belirlenmiştir (Çizelge 4).

İBGS ırk ve genotip açısından bölgelere göre değişimi incelendiğinde ise en yüksek 279.6 gün ile Doğu Anadolu bölgesinde tespit edilirken, en düşük (273.5 gün) İç Anadolu bölgesinde olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte yine Duncan karşılaştırma testi sonuçlarına göre; İGS bakımından

Türkiye'de Yetiştirilen Siyah Alaca - Holstein, Esmer ve Simmental Irkları ile Melez Genotiplerine Ait Bazı Döl Verim Özelliklerinin Karşılaştırılması

Karadeniz ve Doğu Anadolu bölgesi kendi arasında; Marmara, Ege, İç Anadolu, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgesi ise yine kendi arasında benzer değerler aldığı belirlenmiştir (Çizelge 4).

Çizelge 4. Irk ve Bölgeye Göre İBGS (gün) Ait Tanımlayıcı İstatistikleri ve Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi

İrk		M	E	İA	A	K	DA	GDA	İrk Genel
HF	n	8029	3551	7141	584	445	28	107	19885
	\bar{X}	274.4	274.3	273.1	276.9	277.6	279.0	274.1	274.1 ^b
	Sd	12.7	13.5	14.6	11.1	10.9	8.5	9.6	13.5
BS	n	73	128	222	6	123	22	7	581
	\bar{X}	280.6	277.6	277.4	276.5	281.3	279.8	265.3	278.6 ^a
	Sd	9.6	13.9	13.9	9.6	7.6	7.4	23.6	12.4
SM	n	97	238	274	48	144	25	14	840
	\bar{X}	276.2	275.7	277.5	280.2	280.1	280.8	278.6	277.5 ^a
	Sd	14.1	15.2	10.3	12.8	8.2	5.7	7.4	12.2
HFX	n	127	104	276	14	23	2	20	566
	\bar{X}	272.5	274.9	274.0	277.6	280.8	284.0	273.8	274.3 ^b
	Sd	16.2	14.8	16.1	9.1	5.8	5.7	13.4	15.4
BSX	n	7	20	44	1	15	37	2	126
	\bar{X}	260.1	278.9	276.3	293.0	281.7	278.5	264.5	277.0 ^a
	Sd	34.4	8.9	10.9	0.0	3.7	11.7	13.4	13.3
SMX	n	42	56	123	9	52	44	7	333
	\bar{X}	279.4	275.6	276.9	283.2	281.6	280.0	282.6	278.4 ^a
	Sd	9.7	15.4	13.7	6.7	6.7	5.9	5.9	11.8
Bölge Genel	n	8375	4097	8080	662	802	158	157	22331
	\bar{X}	274.5 ^m	274.5 ^m	273.5 ^m	277.3 ^m	279.0 ^k	279.6 ^k	274.3 ^m	274.4
	Sd	12.8	13.7	14.5	11.1	9.7	8.1	11.1	13.5

Duncan testi sonuçları; **a, b, c, d, e** : Toplam satırında değişik harflerle işaretli ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($p < 0.05$).

k, l, m, o : Bölge geneli sütununda değişik harflerle işaretli ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($p < 0.05$). **.Ss**: Standart sapma

HF: Siyah Alaca - Holstein, **BS**: Esmer, **SM**: Simmental, **HFX**: Siyah Alaca - Holstein Crossbreed, **BSX**: Esmer Crossbreed, **SMX**: Simmental Crossbreed; **M**: Marmara bölgesi; **E**: Ege bölgesi; **İA**: İç Anadolu bölgesi; **A**: Akdeniz bölgesi; **K**: Karadeniz bölgesi; **DA** : Doğu Anadolu bölgesi; **GDA**: Güneydoğu Anadolu bölgesi

Gebelik başına tohumlama sayısı (GBTS)

İncelenen sığır ırk ve melez genotip faktörlerinin GBTS varyans analizi sonuçlarına göre, GBTS üzerine etkisi genotip ve bölge için sırasıyla $p < 0.01$ ve $p < 0.001$ seviyesinde anlamlı bulunmuştur (Çizelge 5).

GBTS ırklar bazında incelendiğinde ise, HF ırkı sığırlarda GBTS değeri 2.01 ± 1.00 adet olarak bulunmuş olup, aynı ırk için Erdem ve ark. (2007) 1.42 ± 0.04 adet, Özkan ve Güneş (2007) 2.12 adet, Tapkı ve ark. (2007) 1.59 adet, Kaygısız ve ark. (2008) 1.60 adet, El-Wishy (2013) aylara göre değişmekle birlikte 2.4 adet – 6.4 adet, Keser (2016) 1.45 adet, Sarar ve Tapkı (2017) 1.92 adet, Toledo-Alvarado et al. (2017) 2.23 adet, ve Göncü ve ark. (2018) 1.18 ± 0.08 adet, Güngör (2019) 1.81 adet, Gültekin (2019) 1.74 adet ve Odacı (2019) 2.49 adet olarak bildirmişlerdir.

BS ırkı sığırlar için elde edilen GBTS 1.73 ± 0.73 adet değeri, bazı çalışmalarda aynı ırk için Aktaş ve Bakır (2011) 2.11 ± 0.04 adet, Toledo-Alvarado et al. (2017) 2.19 adet olarak tespit edilmiştir.

SM sığır ırkı için elde edilen GBTS 1.73 ± 0.77 adet değeri, bazı çalışmalarda Çilek and Takafumi (2011) 1.8 adet, Koç (2016) 1.85 ± 0.03 adet, Cziszter et al. (2016) ineğin mizacına göre 1.70 adet – 1.73 adet, Toledo-Alvarado et al. (2017) 1.89 adet, Gültekin (2019) 1.47 adet, ve Gündoğan (2019) 1.9 adet, olarak bildirmiştir.

Bu çalışmada gebelik başına tohumlama sayısı (GBTS) için sığır ırkları ve genotipleri sayısal olarak karşılaştırıldığında SM sığır ırkında en yüksek (2.01 adet) ve en düşük BS sığır ırkında (1.50 adet) belirlenmiştir. Duncan karşılaştırma testi sonuçlarına göre BS, SM ve HFX sığırların kendi aralarında yakın değerlere sahip oldukları, BSX ve SMX sığırların kendi aralarında benzer değerlere sahip oldukları belirlenmiştir (Çizelge 5).

Türkiye'de Yetiştirilen Siyah Alaca - Holstein, Esmer ve Simmental Irkları ile Melez Genotiplerine Ait Bazı Döl Verim Özelliklerinin Karşılaştırılması

GBTS ırk ve genotip açısından bölgelere göre değerlendirildiğinde ise en yüksek 2.21 adet Marmara bölgesi tespit edilirken, en düşük değere sahip (1.59 adet) bölge Doğu Anadolu bölgesi olarak belirlenmiştir. Duncan karşılaştırma testi sonuçlarına göre; GBTS Ege, İç Anadolu bölgesi, Karadeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgesi arasındaki değerler benzer bulunmuştur (Çizelge 5).

Çizelge 5. Irk ve Bölgeye Göre GBTS (Doz) Ait Tanımlayıcı İstatistikleri ve Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi

İrk		M	E	İA	A	K	DA	GDA	İrk Genel
HF	n	8029	3551	7141	584	445	28	107	19885
	\bar{X}	2.22	1.81	1.87	1.97	1.89	1.73	1.76	2.01 ^a
	Sd	1.14	0.87	0.86	0.84	0.85	0.52	1.01	1.00
BS	n	73	128	222	6	123	22	7	581
	\bar{X}	1.92	1.73	1.74	1.80	1.66	1.49	1.48	1.73 ^{bc}
	Sd	0.84	0.70	0.77	0.71	0.63	0.50	0.58	0.73
SM	n	97	238	274	48	144	25	14	840
	\bar{X}	2.04	1.53	1.77	2.23	1.59	1.77	1.74	1.73 ^{bc}
	Sd	1.08	0.53	0.82	0.92	0.51	0.66	0.93	0.77
HFX	n	127	104	276	14	23	2	20	566
	\bar{X}	2.15	1.77	1.80	1.58	1.68	1.92	1.43	1.85 ^b
	Sd	1.14	0.73	0.82	0.37	0.60	0.59	0.56	0.88
BSX	n	7	20	44	1	15	37	2	126
	\bar{X}	1.99	1.48	1.46	2.00	1.52	1.46	1.31	1.50 ^d
	Sd	0.77	0.30	0.48	-	0.58	0.73	0.44	0.54
SMX	n	42	56	123	9	52	44	7	333
	\bar{X}	1.80	1.56	1.72	1.71	1.59	1.47	1.45	1.65 ^{cd}
	Sd	0.84	0.70	0.65	0.77	0.46	0.69	0.37	0.67
Bölge Genel	n	8375	4097	8080	662	802	158	157	22331
	\bar{X}	2.21 ^k	1.79 ^{lm}	1.86 ^{lm}	1.98 ^l	1.77 ^{lm}	1.59 ⁿ	1.68 ^{mn}	1.98
	Sd	1.13	0.85	0.85	0.84	0.75	0.63	0.92	0.98

Duncan testi sonuçları; a, b, c, d, e : Toplam satırında değişik harflerle işaretli ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($p < 0.05$).

k, l, m, o: Bölge geneli sütununda değişik harflerle işaretli ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($p < 0.05$). Ss: Standart sapma

HF: Siyah Alaca - Holstein, BS: Esmer, SM: Simmental, HFX: Siyah Alaca - Holstein Crossbreed, BSX: Esmer Crossbreed, SMX: Simmental Crossbreed; M: Marmara bölgesi; E: Ege bölgesi; İA: İç Anadolu bölgesi; A: Akdeniz bölgesi; K: Karadeniz bölgesi; DA: Doğu Anadolu bölgesi; GDA: Güneydoğu Anadolu bölgesi

Canlı doğan buzağı sayısı (CDBS)

Döl verimi özelliklerinden CDBS sığır ırk ve genotiplere göre değişimine ait varyans analizi sonuçları değerlendirildiğinde (Çizelge 6), genotipler arasında bir farklılık tespit edilmez iken, ineklerin yetiştirildiği bölgenin $p < 0.001$ anlamlılık seviyesinde bir varyasyon meydana getirdiği belirlenmiştir (Çizelge 6).

İrklar bazında ise, HF ırkı sığırlarda CDBS sayısı 4.1 ± 1.7 baş olarak bulunmuş olup, aynı ırk için Kaya ve Akbulut (2014) 2.30 ± 0.30 baş olarak bildirmişlerdir. BS ırkı sığırlar için elde edilen CDBS 4.3 ± 2.0 adet değeri, bazı çalışmalarda aynı ırk için Kaya ve Akbulut (2014) 2.30 ± 0.30 baş olarak bildirmişlerdir. SM sığır ırkı için elde edilen CDBS 4.6 ± 2.0 baş değeri, bazı çalışmalarda Özkan ve Güneş (2007) 29.98 ay ve Özyürek ve Tüzemen (2015) 30.7 ± 0.32 ay ve Koç (2016) 913.0 ± 37.03 gün olarak bildirmişlerdir.

Bu çalışmada sığır ırkları ve melez genotiplerinden elde edilen canlı doğan buzağı sayısı (CDBS) rakamsal olarak değerlendirildiğinde SM sığırlarda en yüksek (4.5 baş) ilen, HFX sığırlarda en düşük (4.0 baş) olarak belirlenmiştir. Duncan karşılaştırma testi sonuçlarına göre BS, SM, BS ve SMX melezi sığırların CDBS bakımından yakın değerlere sahip oldukları belirlenmiştir. SM ve SMX sığırlarında yakın değerlere sahip oldukları belirlenmiştir (Çizelge 5).

Türkiye'de Yetiştirilen Siyah Alaca - Holstein, Esmer ve Simmental Irkları ile Melez Genotiplerine Ait Bazı Döl Verim Özelliklerinin Karşılaştırılması

CDBS ırk ve genotipler açısından bölgelere göre incelendiğinde en yüksek (4.4 baş) Ege bölgesi, en düşük ise (3.4 baş) Güney Doğu Anadolu bölgesinde tespit edilmiştir. Duncan karşılaştırma testi sonuçlarına göre; CDBS bakımından Ege bölgesi, İç Anadolu bölgesi, Akdeniz ve Karadeniz bölgeleri arasındaki değerler ile Marmara ve Doğu Anadolu bölgeleri arasındaki değerler benzer bulunmuştur (Çizelge 6).

Çizelge 6. ırk ve Bölgeye Göre CDBS (baş) Ait Tanımlayıcı İstatistikleri ve Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi

ırk		M	E	İA	A	K	DA	GDA	ırk Genel
HF	n	8029	3551	7141	584	445	28	107	19885
	\bar{X}	3.9	4.4	4.2	4.5	3.9	3.6	3.3	4.1 ^{bc}
	Sd	1.7	1.8	1.7	1.8	1.7	1.7	1.4	1.7
BS	n	73	128	222	6	123	22	7	581
	\bar{X}	3.7	4.5	4.5	4.3	4.5	3.2	2.9	4.3 ^{ab}
	Sd	1.9	2.0	1.8	2.3	2.3	1.5	1.3	2.0
SM	n	97	238	274	48	144	25	14	840
	\bar{X}	4.1	5.1	4.5	3.9	4.5	3.6	4.1	4.6 ^a
	Sd	2.1	2.0	2.0	1.7	2.0	1.8	1.5	2.0
HFX	n	127	104	276	14	23	2	20	566
	\bar{X}	3.5	4.3	4.2	5.1	4.1	3.5	3.3	4.0 ^c
	Sd	1.6	1.7	1.7	2.0	1.9	0.7	1.7	1.7
BSX	n	7	20	44	1	15	37	2	126
	\bar{X}	4.1	4.6	4.5	3.0	5.3	4.0	5.0	4.4 ^a
	Sd	1.6	1.9	1.9	-	2.5	1.6	4.2	1.9
SMX	n	42	56	123	9	52	44	7	333
	\bar{X}	4.0	4.6	4.7	4.6	4.8	4.0	3.0	4.5 ^a
	Sd	1.9	2.1	2.0	2.8	2.0	1.9	1.4	2.0
Bölge Genel	n	8375	4097	8080	662	802	158	157	22331
	\bar{X}	3.9 ^l	4.4 ^k	4.2 ^k	4.4 ^k	4.2 ^k	3.7 ^l	3.4 ^m	4.1
	Sd	1.7	1.8	1.7	1.8	2.0	1.7	1.5	1.8

Duncan testi sonuçları; **a, b, c, d, e** : Toplam satırında değişik harflerle işaretli ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($p < 0.05$).

k, l, m, o : Bölge geneli sütununda değişik harflerle işaretli ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($p < 0.05$). **Ss**: Standart sapma

HF: Siyah Alaca - Holstein, **BS**: Esmer, **SM**: Simmental, **HFX**: Siyah Alaca - Holstein Crossbreed, **BSX**: Esmer Crossbreed, **SMX**: Simmental Crossbreed; **M**: Marmara bölgesi; **E**: Ege bölgesi; **İA**: İç Anadolu bölgesi; **A**: Akdeniz bölgesi; **K**: Karadeniz bölgesi; **DA** : Doğu Anadolu bölgesi; **GDA**: Güneydoğu Anadolu bölgesi

Buzağılama aralığı (BA)

Çalışma kapsamında incelenen sığır ırkları ve genotiplerine ait BA varyans analizi Çizelge 7'de verilmiş olup, elde edilen sonuçların göre, BA sığır genotipleri ve yetiştirildikleri bölgelere göre sırasıyla $p < 0.01$ ve $p < 0.001$ anlamlılık düzeyinde farklılık gösterdikleri belirlenmiştir.

Yapılan hesaplamalar sonucunda HF, BS, SM, HFX, BSX ve SMX olmak üzere tüm sığırların BA ortalaması 441.2 ± 88.8 gün olarak bulunmuştur. Aynı ırk ve genotipler için ortalama değeri Özyürek ve Tüzemen (2015) 388.1 ± 1.8 gün olarak bildirmişlerdir. Koçak ve ark. (2008) HF, BS ve SM için ortalama BA değerini 446.37 ± 13.98 gün olarak bildirmiştir.

Ele alınan sığır ırkları için ise, HF ırkı sığırlarda BA sayısı 441.5 ± 88.7 gün olarak bulunmuş olup, aynı ırk için Erdem ve ark. (2007) 393.4 ± 5.1 gün, Tapkı ve ark. (2007) 804 gün, Aktaş ve Şahin (2008) 394.22 ± 4.34 gün, Kaygısız ve ark. (2008) 420 gün, Kopuzlu ve ark. (2008) 402.4 ± 7.1 gün, Calderón-Robles et al. (2011) 390.7, Özyürek ve Tüzemen (2015) 413.2 ± 6.0 gün, Gültekin (2019) 430.7 gün, Karakule ve Tüzemen (2020) $440,519 \pm 3,773$ gün olarak bildirmişlerdir.

BS sığır ırkı için elde edilen BA 446.6 ± 89.6 gün değeri, bazı çalışmalarda aynı ırk için Yanar ve ark. (1997) 439.9 gün, Estrada León et al. (2008) 453.9 gün, Kopuzlu ve ark. (2008) 394.6 ± 6.0 gün, Aktaş ve Bakır (2011) 386.74 ± 1.29 gün, Calderón-Robles et al. (2011) 397.8 gün, Çilek and Takafumi (2011) 416 gün ve Özyürek ve Tüzemen (2015) 394.4 ± 3.6 gün olarak tespit edilmiştir.

Türkiye'de Yetiştirilen Siyah Alaca - Holstein, Esmer ve Simmental Irkları ile Melez Genotiplerine Ait Bazı Döl Verim Özelliklerinin Karşılaştırılması

SM sığır ırkı için elde edilen BA 427.0 ± 86.9 gün değeri, bazı çalışmalarda Özkan ve Güneş (2007) 377.74 gün, Koçak ve ark. (2008) 440.94 ± 23.20 gün, Özyürek ve Tüzemen (2015) 402.8 ± 6.0 gün, Koç (2016) 386.7 ± 2.40 gün ve Gültekin (2019) 404.6 gün olarak bildirmiştir.

Bu çalışmada HFX, BSX ve SMX sığırlara ait BA sırasıyla 445.1 ± 91.2 gün, 452.6 ± 89.4 gün ve 436.9 ± 91.0 gün olarak hesaplanmıştır. Özyürek ve Tüzemen (2015) aynı sırayla aynı sığırlar için BA değerlerini sırasıyla 368.2 ± 13.1 gün, 390.6 ± 3.7 gün ve 380.1 ± 6.3 gün olarak bildirmiştir.

Irklar ve genotipler bazında buzağılama aralığı (BA) sayısal olarak değerlendirildiğinde; en yüksek BSX sığırlarda (452.6 gün), en düşük ise (427.0 gün) SM sığır ırkında tespit edilmiştir. BA bakımından Duncan karşılaştırma testi sonuçları değerlendirildiğinde HF, BS, HFX ve BSX sığırlar benzer değerlere sahip olmuştur (Çizelge 7).

BA ırk ve genotipler açısından bölgelere göre incelendiğinde ise, Doğu Anadolu bölgesinde en yüksek (842.4 gün), Marmara bölgesi ise en düşük (429.5 gün) değere sahip olmuştur. Duncan karşılaştırma testi sonuçlarına göre ise; BA bakımından Marmara bölgesi, Ege bölgesi, Akdeniz bölgesi, Karadeniz bölgesi ve Güney Doğu Anadolu bölgesi arasındaki değerler yakın değerlere sahip olurken, İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgeleri diğer bölgelere göre farklı değerler almıştır (Çizelge 7).

Çizelge 7. Irk ve Bölgeye Göre BA (Gün) Ait Tanımlayıcı İstatistikleri ve Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi Sonuçları

İrk		M	E	İA	A	K	DA	GDA	İrk Genel
HF	n	8029	3551	7141	584	445	28	107	19885
	\bar{x}	429.7	442.7	454.2	442.7	439.8	496.8	431.0	441.5 ^{ab}
	Sd	85.6	88.1	90.9	84.2	86.9	111.8	86.0	88.7
BS	n	73	128	222	6	123	22	7	581
	\bar{x}	445.3	453.1	449.2	429.4	432.1	490.3	395.7	446.6 ^{ab}
	Sd	95.9	95.1	85.2	119.1	82.4	103.7	64.0	89.6
SM	n	97	238	274	48	144	25	14	840
	\bar{x}	422.1	430.5	420.3	413.0	440.1	428.9	445.0	427.0 ^c
	Sd	88.6	81.6	83.3	80.7	96.4	107.6	107.0	86.9
HFX	n	127	104	276	14	23	2	20	566
	\bar{x}	422.1	447.8	457.6	391.5	443.5	571.2	431.4	445.1 ^{ab}
	Sd	93.4	84.1	90.2	62.2	77.0	192.6	109.4	91.2
BSX	n	7	20	44	1	15	37	2	126
	\bar{x}	442.0	439.6	437.8	396.3	408.8	500.6	413.6	452.6 ^a
	Sd	57.5	64.6	82.7	-	63.0	106.9	68.0	89.4
SMX	n	42	56	123	9	52	44	7	333
	\bar{x}	414.6	423.1	435.6	356.8	451.0	480.2	430.2	436.9 ^{bc}
	Sd	78.7	85.9	85.4	36.1	99.4	106.5	50.5	91.0
Bölge	n	8375	4097	8080	662	802	158	157	22331
Genel	\bar{x}	429.5 ^m	442.2 ^{lm}	452.6 ^l	438.1 ^m	438.9 ^m	482.4 ^k	430.5 ^m	441.2
	Sd	85.8	87.8	90.6	84.4	88.2	109.6	88.3	88.8

Duncan testi sonuçları; **a, b, c, d, e** : Toplam satırında değişik harflerle işaretli ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($p < 0.05$).

k, l, m, o : Bölge geneli sütununda değişik harflerle işaretli ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($p < 0.05$). **Ss**: Standart sapma

HF: Siyah Alaca - Holstein, **BS**: Esmer, **SM**: Simmental, **HFX**: Siyah Alaca - Holstein Crossbreed, **BSX**: Esmer Crossbreed, **SMX**: Simmental Crossbreed; **M**: Marmara bölgesi; **E**: Ege bölgesi; **İA**: İç Anadolu bölgesi; **A**: Akdeniz bölgesi; **K**: Karadeniz bölgesi; **DA** : Doğu Anadolu bölgesi; **GDA**: Güneydoğu Anadolu bölgesi

SONUÇ

İBY, CDBS ve BA özellikleri açısından genotip x bölge interaksyonunun önemli olması, ırkların bu özellikler bakımından bölgelerde ortaya koymuş oldukları döl verim performansının farklı olduğunu göstermektedir.

İBY özelliği açısından saf ırklarda en yüksek performans, Ege, İç Anadolu, Karadeniz ve Doğu Anadolu bölgelerinde Siyah Alaca - Holstein ırkında, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde Esmer ırkında, Marmara bölgesinde ise Simmental ırkında elde edilmiştir.

İBY özelliği açısından Melez ırklarda için en yüksek performans, Marmara, Karadeniz, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde Siyah Alaca - Holstein ırkı melezlerinde, Ege, İç Anadolu ve Akdeniz bölgelerinde Simmental ırkı melezlerinde tespit edilmiştir.

CDBS özelliği açısından saf ırklarda en yüksek performans, Marmara, Ege, İç Anadolu, Karadeniz, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde Simmental ırkında, Akdeniz bölgesinde Siyah Alaca - Holstein ırkında belirlenmiştir.

CDBS özelliği açısından melez ırklarda en yüksek performans, Marmara, Karadeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde Esmer ırkı melezlerinde, İç Anadolu bölgesinde Simmental ırkı melezlerinde, Akdeniz bölgesinde Siyah Alaca - Holstein ırkı melezlerinde belirlenmiş, Ege ve Doğu Anadolu bölgelerinde Simmental ırkı melezleri ile Esmer ırkı melezlerinin performansları eşit bulunmuştur.

BA özelliği açısından saf ırklarda en yüksek performans, Marmara, Ege, İç Anadolu, Akdeniz, Doğu Anadolu bölgelerinde Simmental ırkında, Karadeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde Esmer ırkında belirlenmiştir.

BA özelliği açısından melez ırklarda en yüksek performans sıralaması saf ırklarda benzerlik göstermiştir.

Sonuç olarak, Türkiye'nin farklı coğrafik bölgelerinde yetiştirilen sığır ırk ve genotipleri için genotip x bölge interaksyonunun önemli olduğu, bu nedenle İBY, CDBS ve BA özellikleri için yürütülecek seleksiyon çalışmaları ve bölgelere göre ırk tercihi bu araştırma sonuçlarının dikkate alınması sürülerin döl verim performansının yükseltilmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

İBY, CDBS, GBTS ve BA döl verim özellikleri birlikte değerlendirildiğinde, Simmental ırkının coğrafik bölgelerin tamamında iyi performans gösterdiği anlaşılmaktadır. GBTS ve BA döl verim özellikleri açısından Esmer ırkının Marmara, İç Anadolu Bölgesi, Akdeniz, Karadeniz, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde iyi performans sergilediği görülmüştür. Siyah Alaca ırkı sığırın ise İBY, CDBS döl verim özellikleri açısından Ege, İç Anadolu, Akdeniz, Karadeniz, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde iyi bir performans ortaya koyduğu belirlenmiştir. Diğer döl verim özelliklerinin bir sonucu ve önemli bir döl verim özelliği olan BA açısından Simmental ırkının Marmara, Ege, İç Anadolu, Akdeniz, Doğu Anadolu bölgelerinde, aynı özellik için Esmer ırkının Karadeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde daha başarılı olduğu anlaşılmaktadır. Siyah Alaca Holstein ırkı ise sadece İBY döl verim özelliği açısından Ege, İç Anadolu, Karadeniz, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde diğer ırklara kayısla daha başarılı olduğu söylenebilir.

Farklı coğrafik bölgelerde döl verim özellikleri bakımından ana ırkların ve bunların melezlerinin kıyaslanması amacıyla yürütülen bu çalışmanın diğer verim özellikleri için de yürütülmesi tavsiye edilmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma verilerinin kullanımına “Türkiye Damızlık Sığır Yetiştiricileri Merkez Birliği (CBAT)” tarafından 21.08.2019 tarih ve Karar No: 2019/10 Yönetim Kurulu kararıyla izin verilmiştir. CBAT yönetim kuruluna çok teşekkür ederim.

Çıkar Çatışması

Yazar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmiştir.

KAYNAKLAR

- Akkaş, Ö., & Şahin, E.H. (2008). Holştayn ırkı sığırlarda bazı verim özellikleri. *Kocatepe Veteriner Dergisi*, 1, 25-31.
- Aktaş, T., & Bakır, G. (2011). Konuklar Tarım İşletmesinde Yetiştirilen Brown Swiss Sığırların Döl Verim Özellikleri. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 42(1), 19-26.
- Ata, A. (2013). Sütçü sığırlarda döl verimi ölçütlerinin güncel yorumu. *MAKÜ Sag. Bil. Enst. Dergisi*, 1(1), 30-41.
- BCSM. (2022). Official cattle breeds and codes. British Cattle Movement Service. Great Britain. <https://www.gov.uk/guidance/official-cattle-breeds-and-codes> (erişim tarihi: 20 Kasım, 2022).
- Calderón-Robles, R.C., Flores-Domínguez, B., Ríos- Utrera, A., Víctor Rosete-Fernández, J., & Lagunes-Lagunes, J. (2011). Reproductive performance of Holstein and Brown Swiss cows under intensive grazing in a humid subtropical climate. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13, 429 – 435
- Cziszter, L.T., Gavojdian, D., Radu Neamt, R., Neciu, F., Kusza, S., & Ilie, D.E. (2016). Effects of temperament on production and reproductive performances in Simmental dual-purpose cows. *Journal of Veterinary Behavior*, 15, 50-55. <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2016.08.070>
- Çilek, S., & Takafumi, G. (2011). Reproduction Characteristics in Brown Swiss Cows Reared Under Steppe Climate Conditions in Turkey. *J. Fac. Agr., Kyushu Univ*, 56(2), 287–292. <https://doi.org/10.5109/20196>
- El-Tarabany, M.S. (2015). Effects of non-lactating period length on the subsequent calving ease and reproductive performance of Holstein, Brown Swiss and the crosses. *Animal Reproduction Science*, 158, 60–67. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2015.04.008>
- El-Wishy, A.B. (2013). Fertility of Holstein cattle in a subtropical climate of Egypt. *Iranian Journal of Applied Animal Science*, 3(1), 45-51.
- Erdem, H., Atasever, S., & Kul, E. (2007). Gökhöyük Tarım İşletmesinde yetiştirilen Holstein Friesian Sığırların süt verim özellikleri üzerine bazı döl verim özelliklerinin etkileri. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 22(1), 47-54.
- Estrada León, R.J., Magaña-Monforte, J.G., & Segura, J. (2008). Genetic parameters for reproductive traits of Brown Swiss cows in the tropics of Mexico. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 7(2), 124-129.
- Göncü, S., Gökçe, G., & Erez, İ. (2018). Erken Sütten Kesim Uygulamasının Holştayn Düvelerde Süt ve Döl Verim Özelliklerine Etkileri. *Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 33(1), 87-93.
- Gültekin, İ. (2019). *Afyonkarahisar süt sığırı işletmelerinde bazı döl verimi parametrelerine etkili çevresel faktörler ve ekonomik kayıplar* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Gündoğan, B. (2019). *Bahkesir bölgesinde yetiştirilen Simmental sığırlarda süt ve döl verim özellikleri için genetik parametre ve damızlık değer tahmini* (Doktora Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Güngör, S. (2019). *Bursa ili Yenişehir ilçesinde özel bir işletmede yetiştirilen Siyah Alaca sığırların bazı verim özelliklerine ait parametre tahminleri*, (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Hansen, L.B, & Swalve, H.H. (2010). Brown Swiss × Holstein crossbreds compared with pure Holsteins for calving traits, body weight, backfat thickness, fertility, and body measurements. *J. Dairy Sci*, 94, 1058–1068. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2010-3305>

- ICAR (2022). Guidelines for female fertility traits in Bovine, bovine functional traits. Version May 2022. Committee of International Animal Recording. Roma, Italy.
- Karakule, S., & Tüzemen, N. (2020). Devrekâni Damızlık Sığır Yetiştiriciliği Birliğine Üye İşletmelerde Bazı Döl Verimi Özelliklerinin İncelenmesi. *Hayvan Bilimi ve Ürünleri Dergisi*, 3(2), 120-133.
- Karimi, M.T., Ghorbani, G.R., Kargar, S., & Drackley, J.K. (2018). Late-gestation heat stress abatement on performance and behavior of Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci*, 98, 6865–6875. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2014-9281>
- Kaşná, E., Zavadilová, L., Krupa, E., Krupová, Z., & Kranjčevićová, A. (2020). Evaluation of gestation length in Czech Holstein cattle. *Czech J. Anim. Sci*, 65, 473–481. <https://doi.org/10.17221/150/2020-CJAS>
- Kaya, E., & Akbulut, Ö. (2014). Erzurum şartlarında yetiştirilen Brown Swiss, Holstein Friesian ve Doğu Anadolu Kırmızısı ineklerin buzağılama oranı ve ömür uzunluğu üzerine bir araştırma. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 45(1), 9-14.
- Kaya, M., & Bardakçioğlu, H.E. (2016). Denizli ili özel işletme koşullarında yetiştirilen Holştayn ırkı sığırların süt verimi ve döl verimi özellikleri üzerine bazı çevresel faktörlerin etkisi. *Erciyes Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 13(1), 1-10.
- Kaygısız, F., Elmaz, Ö., & AK, M. (2008). Süt sığırcılığında döl verimi kayıplarının işletme gelirine etkisi. *Erciyes Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 5(1), 5-11.
- Keser, M. (2016). *Tekirdağ ili farklı işletme büyüklüklerinde yetiştirilen Siyah Alaca süt sığırlarının döl ve süt verim özelliklerinin belirlenmesi*, (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Koç, A. (2016). Simmental yetiştiriciliğinin değerlendirilmesi: 2. Türkiye'deki çalışmalar. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 13(2), 103-112.
- Koçak, S., Tekerli, M., Özbeyaz, C., & Demirhan, İ. (2008). Lalahan Merkez Hayvancılık Araştırma Enstitüsün'de yetiştirilen Holştayn, Brown Swiss ve Simental sığırlarda bazı verim özellikleri. *Lalahan Hayvancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 48(2), 51-57.
- Kopuzlu, S., Emsen, H., Özlütürk, A., & Küçüközdemir, A. (2008). Brown Swiss ve Holstein Friesian Irkı sığırların Doğu Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü şartlarında döl verim özellikleri, *Lalahan Hayvancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 48(1), 13-24.
- Kumlu, S. (2000). *Damızlık ve kasaplık sığır yetiştirme*, Ankara: Setma Matbaacılık.
- Nienartowicz-Zdrojewska, A., Sobek, Z., & Róžańska-Zawieja, J. (2018). Evaluation of gestation length and birth weight of offspring of Polish native cattle breeds in context of estimating genetic parameters. *Czech J. Anim. Sci*, 63, 323–330. <https://doi.org/10.17221/65/2017-CJAS>
- Norman, H.D., Wright, J.R., Kuhn, M.T., Hubbard, S.M., Cole, J.B., & Van Raden, P.M. (2009). Genetic and environmental factors that affect gestation length in dairy cattle. *J. Dairy Sci*, 92: 2259–2269. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0982>
- Norman, H.D., Wright, J.R., & Miller, R.H. (2011). Potential consequences of selection to change gestation length on performance of Holstein cows. *J. Dairy Sci*, 94, 1005–1010. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3732>
- Odacı, Ö. (2019). *Konya ili Ereğli ilçesinde özel bir işletmede yetiştirilen Siyah Alaca sığırların bazı süt ve döl verim özellikleri* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Özkan, M., & Güneş, H. (2007). Kayseri'deki özel işletmelerde yetiştirilen Simmental sığırların süt verimi özellikleri üzerinde araştırmalar. *İstanbul Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 33(3), 17-30.
- Özyürek, S., & Tüzemen, N. (2015). Erzurum İli Damızlık Sığır Yetiştiricileri birliğine üye işletmelerde döl ve süt verim özelliklerinin incelenmesi. *İğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Dergisi*, 5(1), 89-98.
- Penasa, M., De Marchi, M., & Cassandro, M. (2015). Short communication: Effects of pregnancy on milk yield, composition traits, and coagulation properties of Holstein cows. *J. Dairy Sci*, 99, 4864–4869. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2015-10168>

- Petrović, M.D., Bogdanović, V., Snežana Bogosavljević-Bošković, S., Đoković, R. (2010). Effect of Systematic Factors on Gestation Length in Simmental Cows. *Acta Agriculturae Serbica*, XV (29), 31-37.
- Sarar, A.D., & Tapkı, İ. (2017). Türkiye'de Yetiştirilen Holştayn İneklerde Döl Verim Özelliklerine Ait Fenotipik ve Genotipik Parametre Tahminleri. *Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(12), 1476-1481. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v5i12.1476-1481.1435>
- Scanavez, A.L., & Mendonça, L.G. (2018). Gestation length and overall performance in the subsequent lactation of dairy cows conceiving to Holstein, Jersey, or Angus semen: An observational study. *Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports*, 4(10), 1-9. <https://doi.org/10.4148/2378-5977.7713>
- Silveira, D., Souza, F., Brauner, C., Ayres, D., & Silveira, F. et al. (2015). Body condition score of Nelore cows and its relation with mature size and gestation length. *Livestock Science*, 175, 10-17. <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2015.02.013>
- Sobek, S., Nienartowicz-Zdrojewska, A., Róžańska-Zawieja, J., & Siatkowski, I. (2015). The evaluation of gestation length range for different breeds of Polish dairy cattle. *Biometrical Letters*, 52 (1), 37-45. <https://doi.org/10.1515/bile-2015-0004>
- Şahin, A., Ulutaş, Z., Adkinson, A., & Adkinson, R.W. (2014). Genetic parameters of first lactation milk yield and fertility traits in Brown swiss cattle. *Ann. Anim. Sci*, 14(3), 545–557. <https://doi.org/10.2478/aoas-2014-0038>
- Tapkı, İ., Şahin, M., & Okyay, S.M. (2007). Ceylanpınar Tarım İşletmesinde Yetiştirilen Holstein Friesian Sığırların Süt ve Döl Verim Özellikleri 1. Süt Verim Özellikleri. *Mustafa Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi*, 12 (1-2), 1-8.
- Toledo-Alvarado, H., Cecchinato, A., & Bittante, G. (2017). Fertility traits of Holstein, Brown Swiss, Simmental, and Alpine Grey cows are differently affected by herd productivity and milk yield of individual cows. *J. Dairy Sci*, 100, 8220–8231 <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12442>
- Vieira-Neto, A., Galvão, K.N., Thatcher, W.W., & Santos, J.E.P. (2017). Association among gestation length and health, production, and reproduction in Holstein cows and implications for their offspring. *J. Dairy Sci*, 100, 3166–3181 <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11867>
- Vlačić, J., Mitrović, S., Svjetlana, M., Pandurević, T., Aparkata, J., & Konjokrad, M. (2015). The effect of the order of lactation on reproductive characteristics of Simmental cows. *Sixth International Scientific Agricultural Symposium "Agrosym 2015", Jahorina, Bosnia and Herzegovina*, October 15-18, 2015. Book of Proceedings 2015 pp.1773-1776.
- Wikipedia, 2005. The Free Encyclopedia. Wikimedia Foundation. (erişim tarihi: 06 Temmuz, 2022).
- Yanar, M., Tuzemen, N., Akbulut, O., Aydın, R., Uğur, F. (1997). The reproductive performance of brown swiss cattle raised in Eastern Turkey. *Indian Journal of Dairy Science*, 50, 307–313.