

ISSN: 2146 - 4693
e-ISSN: 2458 - 9330

DÜFED

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/dufed>

Cilt [Volume] **11**
Sayı [Issue] **2**
Aralık [December] **2022**

Dicle University Journal of the Institute of Natural and Applied Science



DÜFED

DİCLE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ

DICLE UNIVERSITY JOURNAL OF THE INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE

CİLT / VOLUME 11 SAYI / ISSUE 2 30 ARALIK / DECEMBER 2022

ISSN: 2146 - 4693

e-ISSN: 2458 - 9330

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/dufed>

DİZİNLER / INDEXING, ABSTRACTING AND ENLISTING

Google Scholar, ASOS, ASI: Advanced Sciences Index, ROAD: Directory of Open Access Scholarly Resources,
ACARINDEX: Akademik Araştırmalar Index, Citefactor: Academic Scientific Journals,
BASE: Bielefeld Academic Search Engine, OpenAIRE, IJIFACTOR, CABI: CAB Abstracts and Global Health,
Paperity: Open Science Aggregated, IZOR: International Institute of Organized Research,
SJIF: Scientific Journal Impact Factor, CAS: Chemical Abstracts Service, DRJI: Directory of Research Journal Indexing,
SOBIAD, Index Copernicus International, SIS: Scientific Indexing Services, Crossref

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ceylan Enstitüler Binası
21280 - DİYARBAKIR

Tel: +90 412 241 10 00 Dahili: 8450

e-postalar: fbedergi@dicle.edu.tr / dufed@dicle.edu.tr

DİCLE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ
DİCLE UNIVERSITY JOURNAL OF THE INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE

CİLT / VOLUME 11 SAYI / ISSUE 2 30 ARALIK / DECEMBER 2022

ISSN: 2146 - 4693
e-ISSN: 2458 - 9330

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/dufed>

Sahibi / Owner

Prof. Dr. Neslihan DALKILIÇ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü V.
Dicle Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Diyarbakır, Türkiye
nesdalkilic@gmail.com / neslidal@dicle.edu.tr

Baş Editör / Editor-in-Chief

Prof. Dr. Ayhan BEKLEYEN
Dicle Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Diyarbakır, Türkiye
ayhan.bekleyen@gmail.com / bekleyen@dicle.edu.tr

Baş Editör Yardımcıları / Co-Editors-in-Chief

Dr. Öğr. Üyesi Mesut HÜSEYİNOĞLU
Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye
mesuth@dicle.edu.tr

Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin ACAR
Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye
hacar@dicle.edu.tr

Basım Yeri / Printing
Dicle Üniversitesi Basımevi, Diyarbakır

Yayın Kurulu / Editorial Board

Prof. Dr. Şengül ÖYMEN GÜR

Beykent Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye, senguloymen@beykent.edu.tr

Prof. Dr. Jamal M. KHATIB

Beyrut Arap Üniversitesi, İnşaat ve Çevre Mühendisliği Bölümü, Beyrut, Lübnan, j.khatib@bau.edu.lb

Prof. Dr. Aysu AKALIN

Gazi Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Ankara, Türkiye, aysuakalin@gazi.edu.tr

Prof. Dr. Nicoleta GILLICH

Babeş-Bolyai Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Bölümü, Resita, Romanya, nicoleta.gillich@ubbcluj.ro

Prof. Dr. Akın BAYSAL

Dicle Üniversitesi, Kimya Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, akinb@dicle.edu.tr

Dr. Sevinj N. OSMANOVA

Khazar Üniversitesi, Kimya ve Kimya Mühendisliği Bölümü, Bakü, Azerbaycan, sevinj.osmanova@khazar.org

Prof. Dr. Yeliz PEKBEBEY

Ege Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye, yeliz.pekbey@ege.edu.tr

Doç. Dr. Carlo CIULLA

Epoka Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Tiran, Arnavutluk, cciulla@epoka.edu.al

Prof. Dr. Özlem TONÇER

Dicle Üniversitesi, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, toncer@dicle.edu.tr

Prof. Dr. Muzaffer DENLİ

Dicle Üniversitesi, Zootekni Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, denlim@dicle.edu.tr

Prof. Dr. İsmail Naci CANGÜL

Uludağ Üniversitesi, Matematik Bölümü, Bursa, Türkiye, cangul@uludag.edu.tr

Prof. Dr. Zekai ŞEN

İstanbul Medipol Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, zsen@medipol.edu.tr

Doç. Dr. Gülnare KANBAROVA

Nahçıvan Devlet Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Nahçıvan, Azerbaycan, gulnare_qenberova65@yahoo.com

Dr. Mohd Sayuti BIN AB KARIM

Malaya Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kuala Lumpur, Malezya, mdsayuti@um.edu.my

Prof. Dr. Leyla Sezen TANSI

Çukurova Üniversitesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Adana, Türkiye, lsezen@cu.edu.tr

Prof. Dr. Z. Fuat TOPRAK

Dicle Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, toprakzf@dicle.edu.tr

Prof. Dr. Kadir TURAN

Dicle Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, kturan@dicle.edu.tr

Danışma Kurulu / Advisory Board

Prof. Dr. Şengül ÖYMEN GÜR

Beykent Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye, senguloymen@beykent.edu.tr

Prof. Dr. İsmail Naci CANGÜL

Uludağ Üniversitesi, Matematik Bölümü, Bursa, Türkiye, cangul@uludag.edu.tr

Prof. Dr. Zekai ŞEN

İstanbul Medipol Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, zsen@medipol.edu.tr

Prof. Dr. Aysu AKALIN

Gazi Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Ankara, Türkiye, aysuakalin@gazi.edu.tr

Prof. Dr. Ufuk Teoman AKSOY

Fırat Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye, taksoy@firat.edu.tr

Prof. Dr. Abbas GÜNGÖRDÜ

İnönü Üniversitesi, Biyoloji Bölümü, Malatya, Türkiye, abbas.gungordu@inonu.edu.tr

Prof. Dr. Yeliz PEKBEBEY

Ege Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye, yeliz.pekbey@ege.edu.tr

Prof. Dr. Naki ÇOLAK

Hitit Üniversitesi, Kimya Bölümü, Çorum, Türkiye, nakicolak@hitit.edu.tr

Prof. Dr. Hikmet GEÇKİL

İnönü Üniversitesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Malatya, Türkiye, hikmet.geckil@inonu.edu.tr

Prof. Dr. Ali SABİR

Selçuk Üniversitesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Konya, Türkiye, asabir@selcuk.edu.tr

Prof. Dr. Leyla Sezen TANSI

Çukurova Üniversitesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Adana, Türkiye, lsezen@cu.edu.tr

Prof. Dr. Kamil KARUT

Çukurova Üniversitesi, Bitki Koruma Bölümü, Adana, Türkiye, karuti@cu.edu.tr

Prof. Dr. Serdar SATAR

Çukurova Üniversitesi, Bitki Koruma Bölümü, Adana, Türkiye, hserhat@cu.edu.tr

Prof. Dr. Şengül KARAMAN

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Biyoloji Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye, sengulk@ksu.edu.tr

Alan Editörleri / Field Editors

Prof. Dr. Süreyya NAMLI

Dicle Üniversitesi, Biyoloji Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, snamli@dicle.edu.tr

Prof. Dr. Hülya KARADEDE AKIN

Dicle Üniversitesi, Biyoloji Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, hkdede@dicle.edu.tr

Doç. Dr. Nurettin PİRİNÇÇİOĞLU

Dicle Üniversitesi, Fizik Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, npirinc@dicle.edu.tr

Prof. Dr. Akın BAYSAL

Dicle Üniversitesi, Kimya Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, akinb@dicle.edu.tr

Prof. Dr. Fırat AYDIN

Dicle Üniversitesi, Kimya Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, faydin@dicle.edu.tr

Prof. Dr. Ersin KILINÇ

Dicle Üniversitesi, Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, kilincersin@gmail.com

Prof. Dr. Bilal ŞEKER

Dicle Üniversitesi, Matematik Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, bilal.seker@dicle.edu.tr

Dr. Öğr. Üyesi S. Öykü YURTTAŞ

Dicle Üniversitesi, Matematik Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, oykuyurttas@gmail.com

Prof. Dr. Veysel TOLAN

Dicle Üniversitesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, vtolan@dicle.edu.tr

Doç. Dr. Seçil YALAZ

Dicle Üniversitesi, İstatistik Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, syalaz@dicle.edu.tr

Prof. Dr. İbrahim KAYA

Dicle Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, ikaya@dicle.edu.tr

Doç. Dr. Bilal GÜMÜŞ

Dicle Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, bilgumus@dicle.edu.tr

Prof. Dr. Fevzi ÖNEN

Dicle Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, fonen@dicle.edu.tr

Doç. Dr. Mehmet Emin ÖNCÜ

Dicle Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, oncume@dicle.edu.tr

Prof. Dr. Mustafa AYHAN

Dicle Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, mayhan@dicle.edu.tr

Prof. Dr. Özgür AKKOYUN

Dicle Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, oakkoyun@dicle.edu.tr

Prof. Dr. Figen BALO

Fırat Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye, figenbalo@gmail.com

Doç. Dr. Atilla Gencer DEVECİOĞLU

Dicle Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, atillad@dicle.edu.tr

Dr. Öğr. Üyesi Gurbet ÖRÇEN

Dicle Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, gurbetorcen@dicle.edu.tr

Dr. Mohd Sayuti BIN AB KARIM

Malaya Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kuala Lumpur, Malezya, mdsayuti@um.edu.my

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet NERGİZ

Dicle Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, mnergiz@dicle.edu.tr

Doç. Dr. C. Tuncay AKIN

Dicle Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, ctakin@dicle.edu.tr

Doç. Dr. Onur ERMAN

Çukurova Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Adana, Türkiye, oerman@cu.edu.tr

Doç. Dr. Canan KOÇ

Dicle Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, canan.koca@dicle.edu.tr

Prof. Dr. Gültekin ÖZDEMİR

Dicle Üniversitesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, gozdemir@dicle.edu.tr

Prof. Dr. Selime ÖLMEZ BAYHAN

Dicle Üniversitesi, Bitki Koruma Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, solmezbayhan@gmail.com

Prof. Dr. Behiye Tuba BİÇER

Dicle Üniversitesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, tbicer@dicle.edu.tr

Prof. Dr. Özlem TONÇER

Dicle Üniversitesi, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, toncer@dicle.edu.tr

Prof. Dr. Abdullah SESSİZ

Dicle Üniversitesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, assessiz@dicle.edu.tr

Doç. Dr. Ahmet Konuralp ELİÇİN

Dicle Üniversitesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, konuralp.elicin@dicle.edu.tr

Prof. Dr. Muzaffer DENLİ

Dicle Üniversitesi, Zootekni Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, denlim@dicle.edu.tr

Prof. Dr. Nihat TEKEL

Dicle Üniversitesi, Zootekni Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, ntekel@dicle.edu.tr

Doç. Dr. Abdurrahman KARA

Dicle Üniversitesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, abdurrahman.kara@dicle.edu.tr

Türkçe Dil Editörü / Turkish Language Editor

Dr. Feyza BULUT

Dicle Üniversitesi, Türk Dili ve Edebiyatı Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, feyzaislamoglu@gmail.com

İngilizce Dil Editörü / English Language Editor

Doç. Dr. Murat BİNGÜL

Dicle Üniversitesi, Temel Eczacılık Bilimleri Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, muratbingul1983@gmail.com

Dr. Öğr. Üyesi F. Figen BİNBAY

Dicle Üniversitesi, Fizik Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, figenbinbay@hotmail.com

Mizanpaj Editörü / Page-Setting Editor

Arş. Gör. Latife ÖLKER

Muş Alparslan Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Muş, Türkiye, latifeolkerr@gmail.com

Yayın Sekreterliği / Secretary

Arş. Gör. Latife ÖLKER

Muş Alparslan Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Muş, Türkiye, latifeolker9@gmail.com

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Araştırma Makaleleri / Research Articles

- Diyarbakır Ekolojik Koşullarında Bazı Yerel ve Güncel Makarnalık Buğday Çeşitlerinin Verim ve Kalite Unsurlarının Belirlenmesi** 
Determination of Yield and Quality Features of Landraces and Current Durum Wheat Genotypes Under Diyarbakır Ecological Conditions
Fatime BAYKARA, Mehmet YILDIRIM, Mehmet ATAĞ..... 253
- Güneydoğu Anadolu Bölgesi Beyazsinek Türlerinin (Hemiptera: Aleyrodidae) Belirlenmesi** 
Determination of Whitefly Species (Hemiptera: Aleyrodidae) in Southeastern Anatolia Region
Mustafa Cihan DEMİRCİOĞLU, Erol BAYHAN, Mehmet Rifat ULUSOY..... 271
- Elettaria Cardamomum Ekstraktının Proleukin İlacı Kombunasyonu ile Mide Kanseri Hücre Hattı Üzerindeki İmmünostimulan/Sitotoksik Etkilerinin İncelenmesi** 
Invertigation of Immunostimulant/Cytotoxic Effects of Elettaria Cardamomum Extract with Combination of Proleukin Drug on Gastric Cancer Cell Line
Yağmur HAMURCI, Murat IHLAMUR, Yağmur ZENGİN..... 283
- Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri Bağ Alanlarından Fitoplazma Hastalıklarının Durumu** 
Current Status of Phytoplasma Diseases in the Vineyards of Eastern and Southeastern Anatolia Regions
Osman ÇİFTÇİ, Deniz ÇAPLIK, Şahimerdan TÜRKÖLMEZ, Feyzullah YILMAZ, Behzat GÜLER 295
- Vermikülit Agreganın Kompozit Yapılı Hafif Harç Üretiminde Kullanımı Üzerine Teknik Bir Analiz** 
A Technical Analysis on the Use of Vermiculite Aggregates in Composite Lightweight Mortar Production
Esmehan ÇAPUN, Nükhet ŞAPCI..... 307
- Kırmızı Mercimek Yetiştiriciliğinde Toprağa Farklı Dozlarda Leonardit Uygulamalarının Ekonomik Analizi** 
Economic Analysis of Leonardite Applied to the Soils at Different Rates in Red Lentil Cultivation
Betül KOLAY, Ali Rıza ÖZTÜRKMEN..... 325

Türkiye’de Tarımsal Yükseköğretimde Tarımsal Yayım ve İletişim Dersinin Mevcut Durumu <i>Current Situation of Agricultural Extension and Communication Course in Agricultural Higher Education in Türkiye</i> Fatma ÖCAL KARA, Songül AKIN, Gülsüm ÖDEMİŞ.....	335
Yetiştirme Sistemlerinin Kurak Şartlarda Buğdayın Verim ve Kalite Özelliklerine Etkisi <i>The Impact of Cultivation Systems on Yield and Quality Characteristics of Wheat in Drought Conditions</i> Seval ELİŞ, Behiye Tuba BİÇER	351
Muş İli Ekolojik Koşulları İçin Uygun Macar Fıği (<i>Vicia pannonica</i> Crantz) Çeşitlerinin Belirlenmesi <i>Determination of Suitable Hungarian Vetch Cultivars (<i>Vicia pannonica</i> Crantz) for Ecological Conditions of Muş Province</i> Suat DAĞOĞLU, Erdal ÇAÇAN.....	361
Doğu Anadolu’da Gıda Olarak Tüketilen Bazı Türlerin Multi-element Analizi: Bu Türlerin Element İçeriklerinin Karşılaştırılması <i>Multi-element Analysis of Some Species Consumed as Food in Eastern Anatolia: Comparison of Element Contents of These Species</i> Adil UMAZ, Fırat AYDIN, Mehmet FIRAT, Abdulselam ERTAŞ.....	373
Betonarme Binalarda Rijitlik Merkezi Problemi <i>Rigidity Center Problem in Reinforced Concrete Buildings</i> Enes AKSOY, Fuat KORKUT, Barış ERDİL.....	383

Derleme Makaleleri / Review Articles

Perspectives on Computer Aided Drug Discovery <i>Bilgisayar Destekli İlaç Keşfi Üzerine Bakışlar</i> Kevser Kübra KIRBOĞA, Ecir Uğur KÜÇÜKSİLLE.....	405
Biyofarmasötik Keşif, Geliştirme ve Üretimin Güncel Paradigması Olarak Mikroorganizmaların Metabolik Mühendisliği: Sentetik Biyolojinin Katkıları <i>Metabolic Engineering of Microorganisms as the Current Paradigm of Biopharmaceutical Discovery, Development and Production: Contributions of Synthetic Biology</i> Esra GÜL, Venhar ÇELİK.....	427



Araştırma Makalesi / Research Article

Diyarbakır Ekolojik Koşullarında Bazı Yerel ve Güncel Makarnalık Buğday Çeşitlerinin Verim ve Kalite Unsurlarının Belirlenmesi

Determination of Yield and Quality Features of Landraces and Current Durum Wheat Genotypes Under Diyarbakır Ecological Conditions

Fatime BAYKARA ¹, Mehmet YILDIRIM ², Mehmet ATAK ^{3,*}

¹ Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 31060, Antakya/Hatay, Türkiye

² Dicle Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, 21280, Diyarbakır, Türkiye

³ Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, 31060, Antakya/Hatay, Türkiye

<https://doi.org/10.55007/dufed.1101506>

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihi

Alınış, 11 Nisan 2022

Revize, 13 Haziran 2022

Kabul, 14 Haziran 2022

Online Yayınlama, 01 Ekim 2022

Anahtar Kelimeler

Makarnalık buğday, Verim, Kalite, Genotip, Yerel çeşit

ARTICLE INFO

Article History

Received, 11 April 2022

Revised, 13 June 2022

Accepted, 14 June 2022

Available Online, 01 October 2022

Keywords

Durum wheat, Yield, Quality, Genotype, Local cultivar

ÖZ

Bu çalışma, yerel ve güncel makarnalık buğday genotiplerinin verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Diyarbakır ekolojik şartlarında yağışa dayalı koşullarda 2019-2020 üretim sezonunda yürütülmüştür. Deneme 4 tekerrürlü olarak Tesadüf Blokları Deneme Desenine göre kurulmuş olup, 6 adet yerel makarnalık buğday çeşidi (Bağacak, Devedeşi, Havrani, Menceki, M2-4 ve Sorgül) ve 6 adet tescilli makarnalık buğday çeşidi (Burgos, Fırat-93, Sena, Sümerli, Svevo ve Zühre) olmak üzere 12 adet makarnalık buğday genotipi materyal olarak kullanılmıştır. Denemede incelenen genotiplerde; başaklanma süresinin 137.5-155.3 gün, SPAD değerinin 38.83-46.08, NDVI değerinin 0.630-0.783, bitki boyunun 87.4-145.8 cm, başak boyunun 5.73-8.03 cm, başakta tane sayısının 31.4-49.5 adet başak⁻¹, başakta tane ağırlığının 1.89-2.42 g başak⁻¹, başakçık sayısının 17.22-21.05 adet başak⁻¹, tane veriminin 351.1-691.7 kg da⁻¹, bin tane ağırlığının 40.38-54.48 g, hektolitre ağırlığının 83.63-88.88 kg, irmik renginin 14.18-16.73 ve protein oranının % 11.02-13.96 arasında değişiklik gösterdiği belirlenmiştir. Genel olarak yerel çeşitlerin daha geç başaklandığı, daha uzun boylu, daha uzun başaklı ve düşük verimli olduğu, ancak kalite yönüyle tescilli çeşitlerle benzer değerler gösterdiği söylenebilir.

ABSTRACT

This study was conducted in Diyarbakır ecological conditions during the 2019-2020 plant growing season under rainfall conditions. The study was aimed to determine some yield and quality characteristics of durum wheat genotypes grown Diyarbakır conditions. The experimental design was randomized blocks design with 4 replications. Total 12 durum wheat genotypes were used as seed material. Six of them local durum wheat cultivars (Bağacak, Devedeşi, Havrani, Menceki, M2-4 and Sorgül) and six

*Sorumlu Yazar

E-posta Adresleri: fatimebaykara@gmail.com (Fatime BAYKARA), mehmety@dicle.edu.tr (Mehmet

YILDIRIM), matak@mku.edu.tr (Mehmet ATAK)

of them registered durum wheat cultivars (Burgos, Fırat-93, Sena, Sümerli, Svevo and Zühre). Mean values of examined traits of genotypes showed that heading time varied 37.5-155.3 days, SPAD values varied 38.83-46.08, NDVI values varied between 0.663-0.783, plant height varied between 87.38-145.8 cm, spike length varied between 5.73-8.03 cm, grain number in spike varied between 31.38-49.50 number spike⁻¹, grain weight varied between 1.89-2.42 g spike⁻¹, number of spikelets varied between 17.22-21.05 number spike⁻¹, grain yield varied between 351.1-691.7 kg ha⁻¹, thousand kernel weight varied between 40.38-54.48 g, test weight varied 83.63-88.8 kg, semolina color varied 14.18-16.73 and protein ratio varied between 14.18-16-73 %. In general, it can be said that local varieties showed similar values with the registered varieties in terms of quality, while the local varieties were late heading, taller, longer eared and low yielding.

1. GİRİŞ

İnsan gıdası olarak kullanılan tahıllar içerisinde dünyada ekiliş alanı (215.9 milyon ha) bakımından birinci sırada olan buğday, üretim miktarı (765.8 milyon ton) bakımından ise mısırın ardından ikinci sırada yer almaktadır [1]. Dünya toplam makarnalık buğday üretim miktarı ise son verilere göre 33.8 milyon ton olarak belirtilmekte olup, bu miktar toplam buğday üretiminin yaklaşık % 4-5'ine denk gelmektedir [1]. Türkiye'de son istatistiki verilere göre tahıl üretimi içerisinde 20.5 milyon ton üretim miktarı ve 6.92 milyon ha'lık ekim alanı ile buğday ilk sırada yer almakta olup, makarnalık buğday ekim alanımızın 1.3 milyon hektar, üretimi miktarının 4.0 milyon ton ve ortalama verimin ise 3.2 ton/ha olduğu bildirilmektedir [2]. Ülkemiz makarnalık buğdayın gen merkezidir ve ekolojik açıdan kaliteli makarnalık buğday yetiştirilmesine uygun coğrafik alanlara sahiptir. Ülkemizde son verilere göre toplam makarnalık buğday üretiminin % 39'unun (1.21 milyon ton) İç Anadolu Bölgesinde, % 32'sinin (1.02 milyon ton) ise Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yapıldığı bildirilmektedir [2].

Önemli makarnalık buğday üreticisi ülkeler arasında bulunan Türkiye'de geçmiş yıllarda toplam buğday ekim alanının yaklaşık % 30'luk kısmını makarnalık buğday ekim alanı oluştururken, 1990'lı yıllardan sonra bu oran belli ölçüde azalmaya başlamış ve 2007 yılında % 15 olan oranın, 2018 yılında % 16, 2020 yılı itibariyle ise % 18.2 olduğu görülmektedir[2]. Güneydoğu Anadolu Bölgesi buğdayın gen merkezlerinden birisi olması yanında bölgenin ekolojik koşulları özellikle makarnalık buğday yetiştirmeye elverişli dünyanın sayılı yerlerinden biridir.

Makarnalık buğday (*Triticum durum* L.) makarna, irmik ve bulgur sanayinin vazgeçilmez ham maddesidir ve beslenmede başlıca protein ve karbonhidrat kaynağı olarak büyük önem taşır. Makarnalık buğday esas olarak makarna ve benzeri ürünlerin üretiminde öncelikli olarak kullanılır. Özellikle Güney Avrupa ve Kuzey Amerika ülkelerinde bu amaca yönelik olarak üretilmekte ve tüketilmektedir. Ancak, Türkiye, Orta Doğu ve Kuzey Afrika ülkelerinde makarna üretiminin yanında bulgur, irmik, erişte, kuskus gibi geleneksel tüketime yönelik olarak ve değişik ekmek çeşitlerinin üretiminde de kullanılmaktadır [3,4]. Bu amaçlara yönelik olarak ülkemizde farklı yetiştirme teknikleri ve yerel

çeşitler de sıkça kullanılmaktadır [4]. Günümüz makarna sanayisinin talep ettiği parlak sarı tane rengi ve protein kalitesine yönelik uygulamalar ve yetiştirme teknikleri oldukça önem arz etmektedir. Bu nedenle, makarnalık buğday yetiştiriciliğinde özellikle uygun tane rengi ve protein miktarı gibi çevre koşullarından önemli düzeyde etkilenen özellikler üzerinde durmakta fayda vardır [5].

Buğdayda tane verimi, çevre, genotip (kalıtım) ve yetiştirme tekniklerinin birlikte etkileşimleri sonucu ortaya çıkmaktadır. Tane verimi, birim alandaki fertil başak sayısı, başaktaki tane sayısı ve bin tane ağırlığı ile doğrudan etkilenmektedir. Başaktaki tane sayısının artması, tane verimini olumlu yönde etkileyen bir unsurdur. Tanelerin dolgun ve iri olması tane verimine olumlu etki eder [6,7]. Bu nedenle iri taneli, uzun başaklı ve başakta tane sayısı fazla olan çeşitlerin seçimi ve yetiştirilmesi önem arz etmektedir [6,7].

Makarnalık buğdayın kullanım amacını etkileyen en önemli özellikler tanenin protein oranı ve protein kalitesidir [8]. Protein oranı aynı olan son üründe protein kalitesi yüksek olan tane ürünü daha kaliteli olarak kabul edilmektedir [9]. Buğday tanesindeki protein oranı çevresel faktörlerden önemli ölçüde etkilenmektedir [10,11]. Protein oranı bakımından genotipler arasında önemli varyasyonun olduğu birçok araştırmacı tarafından yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur [10,12,13]. Tanedeki protein miktarına yıllık yağış miktarı, tane dolun zamanındaki yüksek sıcaklıklar ve topraktaki azot miktarının önemli etkilerde bulunduğu ifade edilmektedir [14]. Genellikle sulanan buğdayda tane verimi daha yüksektir. Ancak sulama, tanede protein oranını düşürmektedir. Buğdayda protein birikimi ve hızı çiçeklenme döneminde, tane doldurma döneminde ve vejetatif dönemde organlardaki depolanan azota bağlıdır. Geç dönemde uygulanan azotun iyi bir şekilde kullanıldığı ve çiçeklenme döneminde yaprağa azot uygulaması tanede protein içeriğini arttırdığı bildirilmektedir [12,13].

Ülkemiz, yirmi kadar yabani buğday türü ve akraba türlerine ve 500'den fazla ıslah edilmiş buğday çeşidine ev sahipliği yapmaktadır [4]. Güncel buğday ıslah çeşitlerinin yanında bazı yörelerde yetiştirilen yerel buğday çeşitleri (köy çeşitleri); yüzyıllar süren doğal seleksiyon ve yetiştirici seçimleriyle varlıklarını sürdüren, geniş adaptasyon yeteneğine sahip, tane kaliteleri ve besleme değeri iyi, stres şartlarına daha dayanıklı genetik kaynaklardır. Bu yerel çeşitler, buğday ıslah çalışmaları, yöresel lezzet ve evsel kullanım açısından bulunmaz birer hazine niteliğindedirler [4].

Makarnalık buğday üretiminin artırılması için verimli ve kaliteli çeşitlerin belirlenmesi yanında bölgede yüzyıllardır yetiştirilen ve bölge kültürü içinde genetik hazine niteliğinde olan yerel çeşitlerin de yetiştiricilikte göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu çeşitlere önem verilmesi, bu çeşitlerin modern çeşitlerle karşılaştırılması ve sürekliliğinin sağlanması son derece önemlidir. Yerel buğday çeşitleri; yüzyıllar süren doğal çevre ve yetiştirici seçimlerinin birleşimi ve etkileşimi sonucu oluşmuş, genel olarak daha geniş genetik varyasyona sahip buğday ıslahı için son derece önemli bitkisel özellikleri bünyelerinde barındıran genetik hazinelerdir. Yöresel stres şartlarına dayanıklıdır ve verim

stabiliteleleri daha yüksektir [15,16,17]. Çevresel stres şartlarına ve ekstrem iklim ve toprak şartlarına daha dayanıklı olmalarının yanında, yöresel lezzet, sağlıklı ve besleyici gıda olmaları yönünden de önemlidirler.

Bu çalışmanın amacı: Diyarbakır ekolojik koşullarında yerel ve güncel bazı makarnalık buğday genotiplerinde verim ve bazı kalite özelliklerinin incelenmesidir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Materyal

Bu çalışmada; 6 adet yerel makarnalık buğday çeşidi (Bağacak, Devediş, Havrani, Menceki, M2-4 ve Sorgül), 6 adet tescilli makarnalık buğday çeşidi (Burgos, Sümerli, Fırat-93, Sena, Svevo ve Zühre) materyal olarak kullanılmıştır. Denemede kullanılacak buğday çeşitleri belirlenirken yerel çeşitler ve tescilli çeşitlerinin seçilmesine bu iki grubu karşılaştırmak amacıyla dikkat edilmiştir. Havrani, Menceki, Sümerli, Svevo ve Zühre makarnalık buğday çeşitlerinin tohumları GAP Uluslararası Tarımsal Araştırma ve Eğitim Merkezi Müdürlüğü, (GAPUTAEM), Bağacak, Devediş, Fırat-93, Sena, M2-4 ve Sorgül çeşitlerinin tohumları Dicle Üniversitesi Ziraat Fakültesi ve Burgos çeşidinin tohumları ise bölgedeki yerel yetiştiricilerden 2019 yılı içerisinde sağlanmıştır.

2.2 Araştırma Yerinin Toprak Özellikleri

Araştırma, Dicle Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme alanında yürütülmüştür. Çalışmanın yürütüldüğü araştırma alanından alınan toprak örnekleri GAPUTAEM Laboratuvarında analiz edilmiş ve elde edilen analiz sonuçları Tablo1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Deneme alanına ilişkin toprak analiz sonuçları

Derinlik (cm)	Saturasyon (%)	Bünye	pH	EC (ds/m)	CaCO ₃ (%)	Organik Madde (%)	K ₂ O (kg/da)	P ₂ O ₅ (kg/da)
0-30	67	Killi	7.5	0.112	10.05	0.63	144	2.00
30-60	65	Killi	7.7	0.126	11.04	0.81	166	1.26

Tablo 1’de görüldüğü gibi, deneme alanının toprak özellikleri killi-tınlı ve orta derecede alkali karakterde ve organik madde oranının düşük olduğu belirlenmiştir.

2.3 Araştırma Yerinin İklim Özellikleri

Denemenin yürütüldüğü Diyarbakır ilinin yetiştirme dönemine (2019-2020) ve uzun yıllar ortalamasına ait, aylık ortalama sıcaklık, aylık toplam yağış miktarı ve aylık ortalama nem miktarları Tablo 2’de sunulmuştur. Araştırmanın yürütüldüğü 2019-2020 üretim sezonunda aylık ortalama en yüksek sıcaklık değeri 26 °C ile Haziran ayında ölçülmüştür. Ortalama sıcaklık değeri uzun yıllar ortalaması seviyesinde gerçekleşmiştir. 2019-2020 üretim sezonunda toplam yağış miktarı 707.6 mm olarak ölçülürken, en yüksek yağış 185.4 mm ile Aralık ayında gerçekleşmiş ve toplam yağış miktarı ise uzun yıllar ortalamasının gerisinde gerçekleşmiştir. Ancak, deneme yılında Ekim, Aralık, Ocak, Mart, Nisan ve Mayıs aylarında görülen yağış miktarı uzun yıllar ortalamasından daha yüksek olarak gerçekleşmiştir (Tablo 2). 2019-2020 üretim sezonunda ortalama nem miktarı uzun yıllar ortalaması civarında olmuştur.

Tablo 2. Diyarbakır iline ait 2019-20 yılları ve uzun yıllara ait iklim verisi

	Yıllar/Aylar	Eki	Kas	Ara	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Ort.
Ortalama Sıcaklık (°C)	2019-20	19.2	9.7	6.8	3.7	3.6	10.5	13.5	19.2	26.0	11.6
	UzunYıllar	17.5	9.6	4.0	1.7	3.7	8.3	13.8	19.3	26.0	11.5
Toplam Yağış Miktarı (mm)	2019-20	52.0	9.0	185.4	89.4	58.6	164.8	92.6	55.2	0.6	707.6
	UzunYıllar	32.2	54.2	71.40	70.9	67.7	65.6	69.5	44.2	8.8	484.5
Ortalama Nem (%)	2019-20	50.5	57.7	86.1	77.6	75.1	72.4	70.9	57.4	35.1	64.8

2.4 Yöntem

Araştırma, 2019-2020 bitki yetiştirme döneminde; Diyarbakır Dicle Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme alanında yürütülmüş olup, ekim 25 Kasım 2019 tarihinde yapılmıştır. Ekim sıklığı; m²’de 500 canlı tohum olacak şekilde ayarlanmış olup, ekimler 4 m boyunda ve 1.2 m genişlikte, 6 sıra ve sıra arası mesafe 20 cm olacak şekilde düzenlenen parsellere deneme mibzeri ile yapılmıştır. Deneme; Tesadüf Blokları Deneme Deseninde 4 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Denemede taban gübresi olarak, 30 kg/da kompoze (20-20; N-P) gübre ekimle birlikte, üst gübre olarak ise, 20 kg/da Üre (% 46) çıkış sonrası kardeşlenme safhasında uygulanmıştır. Deneme süresince sulama yapılmamıştır. Deneme yılında görülen sarı pasla mücadele amacıyla fungusit ile (125 g/l Flutriafol) ilaçlama yapılmıştır. Geniş yapraklı yabancı otlara karşı (%75 Tribenuron-methyl) ve dar yapraklı yabancı otlara karşı (50g/l Pinoxaden) ile herbisitleri ile kimyasal mücadele yapılan parsellerde gerekli veriler aşağıda belirtilen şekilde belirlenmiş olup, hasat traktöre bağlı biçerbağlar ile yapılmış olup, harman parsel patözü ile gerçekleştirilmiştir. Denemeden farklı gelişme dönemlerinde çekilen fotoğraflar Şekil 1’de verilmiştir.

2.5 İncelenen Özellikler

Başaklanma süresi (gün), parsellerdeki bitkilerin %50 ya da daha fazlasının başaklandığı (başakların bayrak yaprağı kınından çıktığı) tarihin, çıkış tarihinden itibaren geçen gün sayısı olarak hesaplanmıştır.

Bitki boyu (cm), her parselden tesadüfi olarak seçilen 10 bitkide, ana sapın toprak seviyesiyle en üst başakçığının ucu arasındaki uzunluk cm olarak ölçülerek ve ortalaması alınarak belirlenmiştir.

Başak uzunluğu (cm), her parselden tesadüfi olarak seçilen 10 başakta, her bitkinin ana başak eksenindeki en alt boğumu ile en üst başakçığının ucu (kılçık hariç) arasındaki uzunluk cm olarak ölçülerek bulunmuştur.

Başakta başakçık sayısı (adet başak⁻¹), her parsellerden rastgele alınan 10 başak örneğinde, başakçıklar sayılmak suretiyle, bir tane başaktaki başakçık sayısı adet cinsinden belirlenmiştir.

Başakta tane sayısı (adet başak⁻¹), her parselden tesadüfi olarak seçilen 10 başağın harman edilen taneleri sayılarak adet olarak belirlenmiştir.

Başakta tane verimi (g başak⁻¹), her parselden tesadüfi olarak seçilen 10 başaktan elde edilen tanelerin 0.01g duyarlı terazide tartılmasıyla bulunmuştur.

Tane verimi (kgda⁻¹), her parselin hasat-harman edilmesiyle elde edilen verim değerlerinin dekara çevrilmesi sonucunda dekara kg olarak belirlenmiştir.

Hektolitre ağırlığı (kg hl⁻¹), harmandan sonra elde edilen ürün temizlenerek, birim hacimdeki (1 L) ürünün ağırlığının tartılması ve kg'a çevrilmesiyle belirlenmiştir.

Protein oranı (%), öğütülmüş tanelerde Kjeldahl yöntemiyle azot içerikleri belirlenip, belirlenen azot değerleri 6.25 dönüşüm katsayısı ile çarpılarak tanedeki % protein değerleri olarak belirlenmiştir.

Bin tane ağırlığı (g), her parselde ait tane örneklerinden dörtadet 100'er tohum sayılmış ve bu tohumların tartım sonucunda elde edilen ortalamalar 10 ile çarpılarak bin tane ağırlığı belirlenmiştir.

İrmik renk değerleri LAB (b), buğday tanelerinin renk ölçüm değerleri HunterLab ColorFlex, cihazı kullanılarak yapılmıştır.

Klorofil içeriği (SPAD), çeşitler başaklanma döneminde iken her parselden rastgele seçilen 10 bitkinin bayrak yapraklarından SPAD metre (SPAD 502, Minolta) ile güneşli açık havada saat 11-13 arasında ölçüm yapılmış ve elde edilen değerler SPAD birimi olarak ifade edilmiştir.

Normalize edilmiş vejetasyon farklılık indeksi (NDVI), bitkiler başaklanma döneminde iken elle taşınabilir, ölçümü kolay ve bitkiye zarar vermeyen Trimble Greenseeker cihazı ile ölçülmüştür.

2.6 Verilerin Değerlendirilmesi

Denemeden elde edilen veriler Tesadüf Blokları Deneme Desenine uygun olarak MSTAT-C paket programı kullanılarak analiz edilerek, elde edilen sonuçlar ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Makarnalık buğday genotipleri Grup 1 (**Yerel çeşitler**; Bağacak, Devediş, Havrani, Menceki, M2-4 ve Sorgül) ve Grup 2 (**Tescilli güncel çeşitler**; Burgos, Sümerli, Fırat-93, Sena, Svevo ve Zühre) olarak gruplandırılmış olup, incelenen özellikler yönüyle grup ortalamaları 2 yönlü t-testi ($p < 0.05$) kullanılarak önemlilik dereceleri karşılaştırılmıştır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Araştırmada incelenen özelliklere ait varyans analiz sonuçları Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. İncelenen özelliklere ait kareler ortalamaları deneme faktörlerinin istatistiksel önemlilikleri ve değişim katsayıları

İncelenen özellikler	Kareler ortalaması			D.K
	Tekerrür	Çeşit	Hata	
Başaklanma süresi	5.61	100.6**	7.8	1.99
SPAD	22.0	23.3*	8.6	6.9
NDVI	0.0004	0.0074**	0.001	4.6
Bitki boyu	3.05	898.9**	7.14	2.7
Başakçık sayısı	1.45	6.9**	0.95	5.1
Başakta tane sayısı	36.1	83.2**	16.1	9.3
Başakta tane verimi	0.22	1.11 ^{ö.d}	0.06	10.9
Tane verimi	4316.1	30233.7**	2742.6	9.2
1000 tane ağırlığı	2.03	59.4**	2.36	3.5
Hektolitre ağırlığı	2.14	10.6**	4.2	2.4
Protein oranı	1.98	4.03**	0.91	7.6
İrmik LAB (b)	0.43	1.96**	0.26	3.3

* 0.05 düzeyinde önemli, ** 0.01 düzeyinde önemli, ^{ö.d} önemsiz, D.K, değişim katsayısı

Tablo 3'te görüldüğü gibi makarnalık buğday genotiplerinde başakta tane verimi (BTV) açısından genotipler arasındaki farklılık önemsiz bulunurken, SPAD değerleri arasındaki farklılık 0.05 düzeyinde önemli, bunların dışındaki incelenen diğer tüm özellikler açısından genotipler arasındaki farklılıklar ise 0.01 düzeyinde önemli çıkmıştır.

Makarnalık buğday genotiplerinin başaklanma süresi 155.3 gün ile 137.5 gün arasında değişim göstermiş olup, en geç başaklanma süresi Menceki (155.5gün) çeşidinde belirlenirken, en erken başaklanma süresi ise Sena (137.5 gün) çeşidinde elde edilmiş olmasına rağmen Havrani, Zühre, Svevo, Bağacak, Burgos, Fırat-93, M2-4 ve Devediş genotipleri istatistiki olarak Sena çeşidi ile benzer grupta yer almışlardır (Tablo 4). Araştırmamızda yerel çeşitlerin (143.1 gün) tescilli çeşitlere (139.1 gün) göre daha geç sürede başaklandığı belirlenmiştir.

Daha önce Diyarbakır koşullarında makarnalık buğday genotipleriyle yürütülen bir araştırmada, başaklanma süresinin 108-113 gün arasında değiştiği bildirilmiştir[18]. Benzer ekolojide yapılan diğer bazı araştırmalarda ise başaklanma süresinin makarnalık buğday çeşitlerinde 113.2-133.1 gün [14] ve 108-120 gün [19] olduğu bildirilmektedir. Araştırmamızda kullanılan genotiplerin daha uzun sürede başaklanmasının, iklimsel, toprak ve genotip farklılığından kaynaklandığı söylenebilir. Başaklanma

süresine ilişkin diğer bölgelerde yapılan bazı araştırma sonuçlarına göre, Kahramanmaraş koşullarında makarnalık buğday genotiplerinin başaklanma süresinin 163.4-176.3 gün olduğunu belirlenmiştir [20]. Antakya ve Adana koşullarında bazı yerel ve yabancı kökenli makarnalık buğday çeşitlerinin sırasıyla ortalama başaklanma süresinin 137.1- 141.6 gün olarak belirlendiği bildirilmiştir [21].

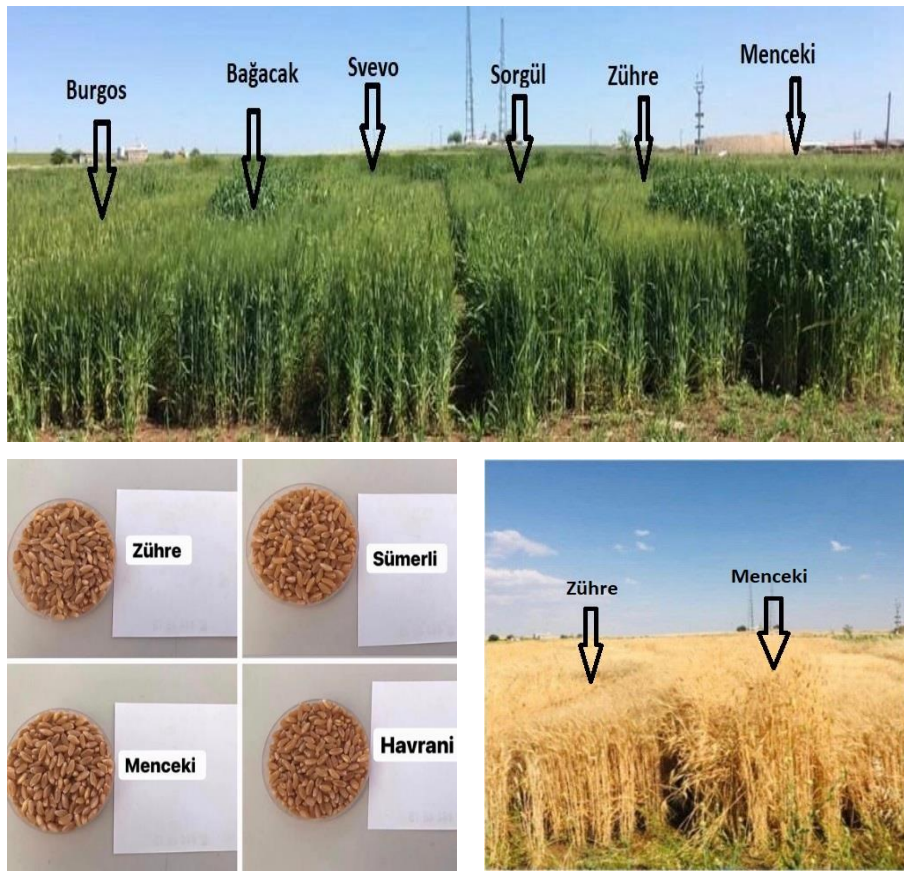
Tablo 4. Makarnalık buğday genotiplerinde başaklanma süresi (BS), SPAD, normalize edilmiş vejetasyon farklılık indeksi (NDVI), bitki boyu (BB), başakçık sayısı (BaS), başakta tane sayısı (BTS) ortalamaları, grup ortalamaları ve Duncan grupları

Genotipler	BS (gün)	SPAD	NDVI	BB (cm)	BaS (adet başak ⁻¹)	BTS (adet başak ⁻¹)
BAĞACAK	140.8 c	45.6 ab	0.683 cd	98.7 b	21.1 a	49.5 a
DEVEDİŞİ	139.3 c	39.6 cd	0.693 c	87.4 e	19.9 ab	43.7 ab
HAVRANI	139.3 c	38.8 d	0.698 c	97.4 b	18.3 cd	46.5 ab
MENCEKİ	155.3 a	40.7 cd	0.650 cd	145.8 a	20.6 a	46.3 ab
M2-4	137.8 c	41.0 bcd	0.707 b	98.2 b	18.3 cd	41.7 b
SORGÜL	145.8 b	43.7 abc	0.783 a	95.7 bcd	20.5 ab	46.9 ab
Grup 1 Ort.	143.1 A	42.5	0.700	103.9 A	19.9 A	45.8 A
BURGOS	141.5 c	42.9 a-d	0.680 cd	92.1 cd	18.4 cd	42.4 b
FIRAT-93	137.8 c	44.1 abc	0.635 d	96.3 bc	18.9 bc	31.4 c
SENA	137.5 c	43.6 a-d	0.715 b	91.7 d	20.8 a	44.7 ab
SÜMERLİ	139.0 c	46.1 a	0.648 cd	95.8 bcd	17.8 cd	40.2 b
SVEVO	139.5 c	39.8 cd	0.630 d	96.7 b	17.2 d	42.7 b
ZÜHRE	138.8 c	43.9 abc	0.710 b	95.4 bcd	20.2 ab	42.2 b
Grup 2 Ort.	139.1 B	43.4	0.680	94.7 B	18.8 B	40.6 B
Genel Ort.	141.0	42.5	0.680	99.3	19.3	43.2

Not: Aynı sütüncü farklı küçük harfler ve italik koyu büyük harfler 0.05 düzeyinde önemlilik düzeyini göstermektedir

Denemede kullanılan genotiplerin SPAD ölçüm değerleri 38.8-46.1 arasında değişim göstermiştir (Tablo 4). En yüksek SPAD değeri Sümerli de en düşük ise Havrani genotipinde belirlenmiştir. Yerel çeşitlerin (42.5) tescilli (43.4) çeşitlerle istatistik olarak benzer SPAD değerlerine sahip olduğu görülmüştür (Tablo 4). Daha önce bir melezleme popülasyonunda yürütülen çalışmada, makarnalık buğday anaç ve melezlerinde SPAD değerlerinin 43.0-47.8 arasında değiştiği, ticari çeşitlerin genel olarak yerel çeşitlere oranla daha yüksek SPAD değerlerine sahip olduğu ve SPAD değerlerinin ıslah çalışmalarında üstün bireyleri belirlemede kullanılabileceği bildirilmektedir [22,23]. SPAD değerleri yapraktaki klorofil ve azot içeriğini dolaylı olarak belirten ve taşınabilir aletlerle (SPAD-502) ölçülebilen değer olduğu ve SPAD değerleri ile tane verimi arasında hem başaklanma hem de tane dolun döneminde yapılan ölçümlerde olumlu ve önemli ilişkinin olduğu da bildirilmektedir [24,25,26].

Normalize edilmiş vejetasyon farklılık (NDVI) okuma değerinin en yüksek olduğu genotip 0.78 ile Sorgül olurken, en düşük Fırat-93 ve Svevo çeşitleri olmuştur. Sena çeşidi dışındaki bütün çeşitler NDVI değeri yönünden aynı grup içerisinde yer almıştır (Tablo 4). Yapılan t-testi sonucunda yerel çeşitlerin (0.70) tescilli çeşitlerle (0.68) istatistik olarak benzer NDVI değerler gösterdiği belirlenmiştir. NDVI temel olarak, sağlıklı bitki örtüsünden yansıyan radyasyonun, diğer tüm kaynaklardan yansıyan radyasyona oranıdır ve NDVI değerleri bitkilerin sağlıklı geliştiğini göstermektedir. Denemede kullanılan genotiplerin sağlıklı bir şekilde yetiştirildiği ve genotiplerin değişen NDVI okuma değerine sahip olduğu söylenebilir. Şırnak ilinde makarnalık buğday çeşitleriyle yürütülen bir araştırmada NDVI değerinin 0.42-0.85 arasında değiştiği bildirilmektedir [23]. Mevcut çalışmada ise NDVI değerleri 0.630- 0.783 arasında değişim göstermiştir (Tablo 4).



Şekil 1. Başaklanma başlangıcı ve süt olum döneminde bitkilerin genel görünümü. Menceki yerel çeşidi geçi ve uzun boyuyla diğer genotiplerden farklılık gösteriyor (üstte), Hasat sonrası tanelerin genel görünümü (alt solda), Hasat döneminde bitkilerin genel görünümü (alt sağda)

Makarnalık buğday genotiplerin bitki boyları 87.4 ile 145.8 cm arasında değişirken, deneme ortalaması 99.3 cm olarak belirlenmiştir. En uzun boylu genotip 145.8 cm ile Menceki olurken, en kısa boylu genotip ise 87.4 cm ile Devedişisi olmuştur. Araştırmamızda kullanılan makarnalık buğday genotiplerinde görülen bitki boyları farklılığının genotipik farklılıktan kaynaklandığı söylenebilir. Araştırma sonuçlarımız yerel çeşitlerin istatistik olarak (103.9 cm) tescilli çeşitlere (94.7 cm) oranla

daha uzun boylu olduğu belirlenmiştir (Tablo 4, Şekil 1). Bizim bulgularımıza paralel olarak Tekdal ve Kendal [27] yerel makarnalık buğday popülasyonlarının modern genotiplere göre daha uzun boylu olduğunu bildirmektedir.

Makarnalık buğday çeşitleri kullanılarak yapılan diğer bazı araştırmalarda, makarnalık buğday çeşitlerinde bitki boyunun Kahramanmaraş koşullarında; 84.5-118.7 cm arasında değiştiği [20], Isparta koşullarında ise 74.6-82.1 cm arasında değişim gösterdiği bildirilmiştir[27]. Benzer ekolojilerde yapılan diğer bazı çalışmalarda ise makarnalık buğday ıslah hatlarında bitki boyunun 90.0-115.6 cm [28] ve Diyarbakır kuru şartlarda 92-119 cm, sulu şartlarda ise 96-122 cm arasında değiştiği vurgulanmıştır [29].Mardin-Kızıltepe ekolojik koşullarında ise makarnalık buğday çeşitlerinin bitki boyunun 88.2-112.9 cm arasında değiştiğini de bildirilmektedir [30].

Denemede ortalama başakta başakçık sayısı değeri ise 19.32 adet başak⁻¹ olup, Sena, Menceki, Sorgül, Zühre ve Devediş genotipleri ortalamayı geçen başakçık sayılarına sahip olmuşlardır (Tablo 4). Başakçık sayısı en az olan genotip 17.22 adet başak⁻¹ ile Svevo çeşidi olurken, başakçık sayısı en fazla olan genotipin ise 21.05 adet başak⁻¹ ile Bağacak olduğu belirlenmiştir. Sena ve Menceki çeşitleri de Bağacak çeşidi ile aynı istatistiki grupta yer almıştır. Yapılan t-testi, yerel çeşitlerin (19.9 adet başak⁻¹) tescilli çeşitlere (18.8 adet başak⁻¹) göre istatistik olarak daha yüksek başakçık sayısına sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Makarnalık buğday çeşitlerinin kullanılarak Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin farklı yerlerinde yapılan bir çalışmada, başakçık sayısının 18.2-20.9 adet⁻¹ olduğu bildirilmektedir [31]. Bu çalışma sonuçları ile bizim sonuçlarımız uyum göstermektedir. Konu ile yapılan diğer bazı çalışmalarda ise başakçık sayısının 11.4-20.1 adet [31], 12.9-13.0 adet [32], 16.2-18 adet [27] arasında değişim gösterdiği ve Mardin Kızıltepe koşullarında ise 15.0-29.8 adet olduğu bildirilmektedir [30].

Genotiplerin başakta tane sayısı değerleri 31.4 ile 49.5 adet başak⁻¹arasında değişirken, en yüksek değere sahip genotip 49.5 adet başak⁻¹ ile Bağacak iken en düşük değer ise 31.4 adet başak⁻¹ ile Fırat-93 çeşidine aittir. Havrani, Sorgül, Menceki, Sena ve Devediş genotipleri de diğer yüksek başakta tane sayısına sahip olan genotipler olarak öne çıkmıştır. Bulgularımız yerel çeşitlerin (45.8 adet başak⁻¹) tescilli çeşitlere (40.6 adet başak⁻¹) göre istatistik olarak daha fazla başakta tane sayısı değerleri gösterdiği belirlenmiştir (Tablo 4). Benzer ekolojilerde yapılan çalışmalarda makarnalık buğday çeşitlerinde başakta tane sayısının 16.2-23.1 adet başak⁻¹[32], 26.7-34.4 adet başak⁻¹[14], 54.93-50.04 adet başak⁻¹[21], 40.2-56.0adet başak⁻¹[29], 23.8-52.6 adet başak⁻¹[30] ve 30.2-46.0 adet başak⁻¹[33] arasında değiştiği saptanmıştır.

Çeşitlerin başakta tane verimleri arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Her ne kadar istatistiksel bir farklılık olmasa da, denemede kullanılan genotipler arasında başakta tane verimi yönünden öne çıkan genotip Menceki olurken (2.42 g başak⁻¹), en düşük değer ise Fırat-93 (1.89 g başak⁻¹) çeşidinde belirlenmiştir (Tablo 5). Yapılan t-testi sonuçları yerel çeşitlerin (2.19 g başak⁻¹)

tescilli çeşitlere (2.02 g başak⁻¹) göre daha yüksek başakta tane verimine sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Tane verimini oluşturan unsurların en önemlilerinin birim alandaki başak sayısı, başaktaki tane sayısı ve başakta tane ağırlığıdır. Bölgede yapılan önceki benzer çalışmalarda başakta tane veriminin 0.90-2.4 g başak⁻¹ arasında değiştiği bildirilmiştir [14,29,34].

Tablo 5. Makarnalık buğday genotiplerinde başakta tane verimi (BTV), tane verimi (TV), bin tane ağırlığı (BTA), hektolitre ağırlığı (HL), tane protein oranı (PO) ve ırmik renk (b) değeri ortalamaları, grup ortalamaları ve Duncan grupları

Genotipler	BTV (g başak ⁻¹)	TV (kg da ⁻¹)	BTA (g)	HL (kg hl ⁻¹)	PO (%)	İrmik rengi (b)
BAĞACAK	2.30	571.0 b	45.0 c	85.6 a-d	12.49 abc	16.12 ab
DEVEDİŞİ	2.01	477.8 c	42.3 def	85.3 bcd	11.02.c	16.73 a
HAVRANI	2.18	594.0 b	43.4 cde	85.6 a-d	11.61 bc	15.59 bc
MENCEKİ	2.42	351.1 d	40.8 f	84.6 cd	12.84 ab	15.82 b
M2-4	2.05	691.7 a	43.9 cd	88.0 abc	13.84 a	14.90 cd
SORGÜL	2.19	557.1 b	42.7 c-f	83.6 d	13.86 a	15.63 bc
Grup 1 Ort.	2.19 B	540.5 B	43.0 B	85.5 B	12.49	15.61
BURGOS	2.29	608.3 b	49.3 b	84.8 cd	12.49 abc	15.43 bc
FIRAT-93	1.89	589.9 b	54.5 a	88.5 ab	13.96 a	14.18 d
SENA	1.94	633.0 ab	42.4 def	86.3 a-d	12.01 bc	16.66 a
SÜMERLİ	2.06	588.1 b	44.9 c	86.9 a-d	11.40 bc	15.36 bc
SVEVO	1.99	558.3 b	43.7 cd	88.9 a	12.97 ab	15.29 bc
ZÜHRE	1.96	640.1 ab	40.9 ef	85.9 a-d	12.42 abc	15.64 bc
Grup 2 Ort.	2.02 A	603.0 A	46.0 A	86.9 A	12.54	15.63
Genel Ort.	2.10	571.7	44.5	86.2	12.5	15.6

Not: Aynı sütündeki farklı küçük harfler ve italik koyu büyük harfler 0.05 düzeyinde önemlilik düzeyini göstermektedir

Denemede kullanılan makarnalık buğday genotiplerinin tane verimleri bakımından karşılaştırıldığında en yüksek tane verimine sahip olan M2-4 genotipi 691.7 kg da⁻¹ ile dikkat çekmektedir. Zühre ve Sena çeşitleri de istatistiki olarak M2-4 genotipi ile aynı grupta yer almıştır. Tane verimi en düşük olan genotip ise 351.1 kg da⁻¹ ile Menceki olmuştur. Çeşitlerin tane verimi ortalaması ise 571.7 kg da⁻¹ olarak belirlenmiştir (Tablo5). Araştırma sonucunda yerel çeşitlerin (540.5 kg da⁻¹) tescilli çeşitlere (603.0 kg da⁻¹) göre daha düşük tane veriminde sahip olduğu belirlenmiştir. Her ne kadar ortalama olarak yerel çeşitler düşük verime sahip ise de, M2-4 gibi yüksek verimli yerel çeşitlerin yüksek verim potansiyeline sahip olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Tekdal ve Kendal [27], Diyarbakır ve Kızıltepe koşullarında yürüttükleri araştırmalarında yerel makarnalık buğday popülasyonlarının çeşit ve ıslah hatlarına göre tane verimi yönünden daha düşük değerler gösterdiğini belirlemişlerdir. Ülkemizde makarnalık buğdaylarla ilgili olarak yapılan diğer araştırmalarda tane veriminin 453-857 kg da⁻¹[31], Kahramanmaraş koşullarına 537-812 kg da⁻¹[20], Elazığ koşullarında 295.9-367.5 kg da⁻¹ ve Malatya koşullarında 225-306 kg da⁻¹[35], Konya Çumra koşullarında ortalama 266.06-329.5 kg/da [36] ve Ankara koşullarında 270.8-390.9 kg da⁻¹ olduğu bildirilmektedir[37]. Benzer ekolojide yapılan diğer bazı çalışmalarda ise tane veriminin 477.3-645.2 kg da⁻¹[19], 133-754 kg da⁻¹

¹[29], 393.2-604.5 kg da⁻¹[34] olduğu belirlenmiştir. Araştırmamızda elde edilen tane verimi değerleri bu araştırma sonucu ile benzerlik gösterirken, Orta Anadolu'da (Konya ve Ankara) yapılan araştırma sonuçlarından elde edilen verimlerden daha yüksek değerler elde edilmiştir.

Buğdayda tane verimi farklı verim unsurlarının bir bileşeni olup, morfolojik, fizyolojik ve genetik özelliklerin etkisi altındadır. Buğday yetiştirildiği ekolojilerde birçok faktörün etkisi altındadır ve değişik çevrelerde yetiştirilen buğday genotipleri değişen tane verimi değerlerine sahip olabilmektedir [11].Tane verimini oluşturan unsurlardan en önemlilerinin birim alandaki başak sayısı, başaktaki tane sayısı ve başakta tane ağırlığı olduğu değişik araştırmacılar tarafından bildirilmektedir [38, 39]. Başta ekim zamanı olmak üzere yağışın rejimi, maksimum ve minimum gelişme sıcaklıkları, verilen bitki besin elementleri, hastalık ve zararlıların zarar durumu gibi etmenler verimi belirleyen çevresel faktörlerden bazılarıdır [40,41].

İncelenen makarnalık buğday çeşitlerinde en yüksek değere sahip olan genotip 54.49 g ile Fırat-93 çeşidi olurken, en düşük bin tane ağırlığına sahip olan ise 40.8g ile Menceki genotipi olmuştur (Şekil 1). Deneme ortalaması ise 44.49 g olarak tespit edilmiştir. Yapılan t-testi sonucu, yerel çeşitlerin (43.0 g) tescilli çeşitlere (46.0 g) göre istatistik olarak daha düşük bin tane ağırlığına sahip olduğunu ortaya koymaktadır (Tablo5). Bizim bulgularımızla paralel olarak, Tekdal ve Kendal [27], yerel popülasyonlarda bin tane ağırlığının daha düşük olduğunu bildirmektedir. Ankara ekolojik koşullarında taban ve kıraç arazide makarnalık buğday çeşitleri ve hatlarında bin tane ağırlıklarının 38.60-47.87 g arasında değiştiğini [37] bildirilirken bu değerlerin Hatay-Antakya ve Adana koşullarında sırasıyla 50.10-43.78 g olduğu saptanmıştır [21]. Kendal ve ark. [29], Diyarbakır ve Adıyaman ekolojik koşullarında, bin tane ağırlığını 24.2-39.4 g ve Tekdal ve ark. [18], 28.9-48.6 g arasında değiştiğini bildirirken, Kızılgeçi ve Yıldırım [22], Şırnak ilinde 22.98-47.55 g arasında değiştiğini bildirmektedir. Araştırmamızda elde edilen bin tane ağırlığı değerlerinin yüksek olması kullanılan genotiplerin yetiştirme koşullarının farklı olmasıyla açıklanabilir.

En yüksek hektolitre ağırlığına sahip çeşit 88.9 kg ile Svevo olurken, en düşük değere sahip genotip ise 83.6 kg ile Sorgül olmuştur. Yerel çeşitlerin (85.5 kg) tescilli çeşitlere (86.9 kg) göre istatistik olarak daha düşük hektolitre ağırlığına sahip olduğu görülmektedir (Tablo5). Benzer sonuçlar Tekdal ve Kendal [26] tarafından da bildirilmektedir. Kendal ve ark. [18], Diyarbakır ve Adıyaman ekolojik koşullarında makarnalık buğday çeşitlerinin hektolitre ağırlığının 70-80.6 kg, Tekdal ve ark. [19], Diyarbakır lokasyonunda makarnalık buğday ıslah hatları (10 adet) ve çeşitlerinde (5 adet), hektolitre ağırlığının 76.2-81.5 kg değişim gösterdiğini belirlemişlerdir. Kızılgeçi ve Yıldırım [22], ise Şırnak ekolojik koşullarında makarnalık buğday genotiplerinde hektolitre ağırlığının 75.4-85.8 kg arasında değişim gösterdiğini bildirmektedir. Bizim araştırmamızda elde edilen değerler bu sonuçlardan daha yüksek bulunmuştur.

Makarnalık buğday genotiplerinin protein oranı bakımından değerlendirildiğinde en yüksek orana sahip genotipler Fırat-93 (%13.96), Sorgül (% 13.86) ve M2-4 (% 13.84) çeşitleri olurken, en düşük değere sahip olan ise Devedişisi (% 11.02) olmuştur. Yapılan t-testi sonucunda yerel çeşitlerin (% 12.49) tescilli çeşitlerle (% 12.54) istatistik olarak benzer protein oranı değerleri gösterdiği belirlenmiştir. Tekdal ve Kendal [27], ise yerel popülasyonların protein oranının daha yüksek olduğunu bildirmektedir. Yapılan diğer araştırmalarda da makarnalık buğday genotipleri arası protein oranı yönünden farklılıklar bildirilmektedir [10,12,13,21,29,39]. Protein oranı ile yapılan diğer bazı araştırmalarda ise; Konya-Merkez ve İçeri Çumra koşullarında kuru koşullarda yürütülen araştırmalarda, iki çevrenin ortalaması olarak genotiplerin protein oranının % 11.0-14.2 değiştiğini belirlenmiştir [42]. Ankara ekolojik koşullarında taban ve kıraç arazide makarnalık buğday çeşidi ve hatlarında protein oranı % 13.2-14.2 arasında değişim gösterdiği bildirilmektedir [37]. Kızılgeçi ve Yıldırım [22], bu değişim aralığını Şırnak koşullarında 14.96-20.45 olarak bildirmektedir.

Araştırmamızda kullanılan çeşitlerde en yüksek irmik rengi b değeri 16.73 ile Devedişisi çeşidinden elde edilirken, en düşük irmik rengi değeri ise 14.18 ile Fırat-93 çeşidinden elde edilmiştir. Sena ve Devedişisi aynı grupta yer almıştır (Tablo5). Yerel çeşitlerin (15.61) tescilli çeşitlere (15.63) çeşitlerle istatistik olarak benzer irmik rengi LAB (b) değerler gösterdiği saptanmıştır (Tablo5). Tekdal ve Kendal [27], yerel popülasyonların irmik rengi açısından daha üstün değerler gösterdiğini bildirmektedir. Tüketicilerin ve makarna sektörünün ihtiyaçlarını karşılayabilecek kaliteli makarnalık çeşit geliştirebilmek için ileri kademeye taşınan materyalde ise, b değerinin minimum 22 olması istenmektedir. Elde ettiğimiz değerler bu değer altında gerçekleşmiştir. Kaliteli makarna, bulgur ve irmik üretimi için tanedeki sarı renk pigment oranı oldukça önemlidir. Tüketici tarafından parlak sarı renkte olan makarna tercih edildiği için, makarnalık buğdayda irmik (b) sarılık değeri yüksek çeşitler makarna sanayi tarafından tercih edilmektedir. Taneye sarı rengi veren karotenoid grubu pigment miktarı, buğdayın türüne, çeşidine ve yetiştirilme koşullarına göre değişmektedir [3,43]. Konya ekolojik koşullarında bazı makarnalık buğday çeşitlerinin kuru koşullarda renk değerini (b) 17.65-20.29 aralığında, sulu koşullarda ise renk değerinin (b) 16.94-20.04 aralığında değiştiği saptanmıştır [44]. Konya-Merkez ve İçeri Çumra koşullarında 20 makarnalık buğday genotipinin kuru koşullarda iki çevrenin ortalaması olarak genotiplerin renk değerinin (b sarılık değeri) 19.5-24.2 arasında değiştiğini belirlenmiştir [42]. Bizim bulgularımıza benzer şekilde, Kızılgeçi ve Yıldırım [22] Şırnak koşullarında makarnalık buğday çeşitlerinde irmik rengi (b) değerinin 14.65-16.53 arasında olduğunu bildirmektedir. Tekdal ve Yıldırım [45] yerel popülasyonların güncel çeşit ve hatlara göre hektolitreye ağırlığı, irmik rengi ve mSDS açısından daha düşük, ancak protein, camsılık oranı ve bin tane ağırlığı açısından daha üstün değerlere sahip olduğunu bildirmişlerdir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Araştırma sonuçları topluca değerlendirildiğinde yerel çeşitlerin tescilli çeşitlere göre, daha geç sürede başaklandığı, daha uzun boylu olduğu, başakta tane verimi ve başakçık sayısı yönüyle daha üstün değerler gösterdiği söylenebilir. Buna ilaveten, tane verimi, bin tane ağırlığı ve hektolitre ağırlığı bakımından yerel çeşitler daha düşük değerler göstermiş olup, protein oranı, SPAD, NDVI ve irmik rengi bakımından ise yerel ve tescilli çeşitlerin benzer değerler gösterdiği görülmüştür. Daha kesin kanı için benzer çalışmaların farklı yıllar ve çevrelerde devam ettirilmesi gerekmektedir.

Yerel çeşitler, buğday gen havuzlarının önemli birer bileşenidirler. Yöresel lezzetler, sağlıklı ve besleyici gıda olarak kullanım olanakları yönünden de önemlidirler. Çevresel stres şartlarına ve ekstrem iklim ve toprak şartlarına daha dayanıklı oldukları için önemlidirler. Çok özel yetiştirme şartları gerektirmezler. Buna rağmen, yerel çeşitler modern çeşitlerle verim yönünden rekabet edememesi nedeniyle buğday ekim alanlarında yerel çeşitlerinin yetiştirilme alanları ve üretim miktarları giderek azalmaktadır. Birer genetik hazine niteliğinde olan bu genetik materyallerin korunması ve gelecek nesillere aktarılması son derece önemlidir. Yapılan bu çalışmada verim değerleri yönünden yerel çeşitlerin daha düşük değerlere sahip olmasına rağmen M2-4'ten (Yerel çeşit melezi) en yüksek verimin alınması yerel çeşitlerin yüksek potansiyele sahip olduğunu kanıtlamaktadır. Kalite kriterleri yönünden güncel çeşitler rekabet edebilecek düzeyde olmaları kuru tarımda doğrudan çeşit olarak kullanılabilmelerini güçlendirmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu araştırma; Prof. Dr. Mehmet ATAK danışmanlığında Fatime BAYKARA tarafından hazırlanan “Diyarbakır koşullarında yerel ve güncel makarnalık buğday genotiplerinde verim ve bazı kalite özelliklerinin incelenmesi” başlıklı yüksek lisans tezi konusundan üretilmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını bildirmektedirler.

ETİK BEYANI

Bu çalışmada, yazarlar “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamındaki tüm kurallara uyduklarını, ilgili yönergenin “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler” olarak belirtilen başlığı altındaki eylemlerden hiçbirini gerçekleştirmediklerini taahhüt ederler.

YAZARLARIN KATKILARI

Fatime BAYKARA: Analiz, kurgulama, taslak hazırlama, veri toplama, verinin düzenlenmesi, görselleştirme ve yazma. Mehmet YILDIRIM: Analiz araçlarını sağlama, inceleme, kavramsallaştırma, metodoloji, doğrulama, gözetim. Mehmet ATAĞ: Analiz araçlarını sağlama, analiz, inceleme, kavramsallaştırma, metodoloji, doğrulama, gözetim ve yazma.

KAYNAKLAR

- [1] Anonymous, (2019). *Faostat*. Accessed: March 16, 2021. [Online]. <http://www.fao.org/faostat/en/#data>
- [2] *Anonim*, (2020). Hububat Sektör Raporu Toprak Mahsulleri Ofisi Genel Müdürlüğü, Ankara, 2020.
- [3] C.Y. Liu, K.W. Shepherd, A.J. Rathjen, Improvement of durum wheat pasta making and bread making qualities. *Cereal Chemistry*, vol. 73, pp.155-166, 1996.
- [4] *Anonim*, (2016). Türkiye'nin Buğday Atlası, WWF-Türkiye (Doğal Hayatı Koruma Vakfı), İstanbul, Türkiye.
- [5] A. Atlı, N. Koçak, M. Aktan, Ülkemiz çevre koşullarının kaliteli makarnalık buğday yetiştirmeye uygunluk yönünden değerlendirilmesi, *Hububat Sempozyumu*, s.345-351, Konya, 1993.
- [6] E. Kün, Tahıllar-I (Serin İklim Tahılları). Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın No:1451, Ankara, 1996.
- [7] M. Lopes, L. El-Basyoni, P.S. Baenziger, S. Singh, C. Royo, K. Özbek, Exploiting genetic diversity from landraces in wheat breeding for adaptation to climate change. *Journal of Experimental Botany*, vol. 66, no. 12, pp. 3477-3486, 2015.
- [8] G. Kimber, R. Sears, Evolution in the genus triticum and the origin of cultivated wheat, (Editorleri: Heyne, E.G. Knott, D.R. Morris, R. Moss, D. Shaner, G. Tucker, B.) *Wheat and Wheat Improvement*, ASA, Madison, WI, pp.154-164, 1987.
- [9] W. Bushuk, Wheat breeding for end-product use. *Euphytica*, vol.100, pp.137-145,1998.
- [10] A. Atlı, Buğday ve ürünleri kalitesi. *Orta Anadolu'da Hububat Tarımının Sorunları ve Çözüm Yolları Sempozyumu*, s.498-506, 8-11 Haziran, Konya, 1999.
- [11] H. Grausgruber, M. Oberforster, M. Werteker, P. Ruckebauer, J. Vollmann, Stability of quality traits in Austrian-grown winter wheats. *Field Crops Research*, vol. 66, pp.257-267, 2000.
- [12] S. Gökmen, Ö. Sencar, Tokat yöresinde sonbaharda ekilen 28 buğday çeşit ve hattında verim ve verim öğeleri üzerinde araştırmalar. *Cumhuriyet Üniversitesi Tokat Ziraat Fakültesi Dergisi*, vol.1, s.357-368,1989.
- [13] H. Budak, S. Karaltın, F. Budak, Bazı ekmeklik buğday çeşitlerinin (*Triticum aestivum* L. Em Thell.) fiziksel ve kimyasal yöntemlerle kalite özelliklerinin belirlenmesi. *Türkiye 2. Tarla Bitkileri Kongresi*, s. 534-536, 22-25 Eylül, Samsun, 1997.
- [14] H. Kılıç, T. Yağbasanlar, Güneydoğu Anadolu Bölgesi koşullarında makarnalık buğday (*Triticum turgidum ssp Durum*) çeşitlerinin bazı kalite özelliklerinin genotip x çevre interaksyonları üzerinde araştırmalar. *Türkiye 5. Tarla Bitkileri Kongresi*, 13-17 Ekim, Diyarbakır, 2003.

- [15] A.A. Jaradat, Wheat Landraces: A mini review. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, vol. 25, no.1, pp. 20-29, 2013.
- [16] M. Akçura, A. Topal, Türkiye kışlık yerel ekmeklik buğday çeşitlerinde fenotipik çeşitlilik. *Bitkisel Araştırma Dergisi*, vol. 2, s. 8-16, 2006.
- [17] M. Atak, Buğday ve Türkiye buğday köy çeşitleri. *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, vol. 22, no.2, p.71-88. 2017.
- [18] E. Kendal, S. Tekdal, H. Aktaş, M. Kahraman, Bazı makarnalık buğday çeşitlerinin Diyarbakır ve Adıyaman sulu koşullarında verim ve kalite parametreleri yönünden karşılaştırılması. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, vol. 26, no. 2, s. 1-14, 2012.
- [19] S. Tekdal, E. Kendal, A. Altıkat, H. Aktaş, M.M. Karaman, İleri kademe durum buğday hatlarının (*Triticum durum* Desf.) Diyarbakır ekolojik koşullarında bazı verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi, 9. Tarla Bitkileri Kongresi, Bursa, Bildiriler Kitabı, s. 280-283, 2011.
- [20] R. Kara, Z. Dumlupınar, A. Akkaya, T. Dokuyucu, Bazı makarnalık buğday genotiplerinin Kahramanmaraş koşullarında fenolojik dönemler, bazı bitkisel özellikleri ve tane verimi bakımından değerlendirilmesi, *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, vol.11, no.1, s.89-96, 2008.
- [21] A. Boyacı, “Akdeniz koşullarında bazı ekmeklik buğday çeşitlerinin verim ve bazı kalite özelliklerinin belirlenmesi” Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Antakya-Hatay, 2012.
- [22] F. Kızılgeçi, M. Yıldırım, C. Akıncı, Ö. Albayrak, F. Basdemir, İleri kademe makarnalık buğday popülasyonlarının verim ve kalite yönünden seleksiyonda kullanılabilirliği. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, vol. 10, no. 2, s. 62-68, 2015.
- [23] F. Kızılgeçi, M. Yıldırım, Durum buğdayın başaklanma dönemine ait bazı fizyolojik ölçümlerin verim ve kalite özellikleriyle ilişkilerinin belirlenmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, vol. 6, no. 4, s. 777-785, 2019.
- [24] F. Bavec, M. Bavec, Chlorophyll meter readings of winter wheat cultivars and grain yield prediction. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, vol. 32, pp.2709-2719, 2001.
- [25] D. Jiang, T. Dai, G. Jing, W. Cao, G. Zhou, H. Zhao, X. Fan, Effects of long-term fertilization on leaf photosynthetic characteristics and grain yield in winter wheat. *Photosynthetica*, vol.42, pp. 439-446, 2004.
- [26] M. Yıldırım, H. Kılıç, E. Kendal, T. Karahan, Applicability of chlorophyll meter readings as yield predictor in durum wheat. *Journal of Plant Nutrition*, vol. 34, pp.151-164, 2011.
- [27] S. Tekdal, E. Kendal, Bazı Yerel Durum Buğday Popülasyonlarının Modern Genotiplerle Kıyaslanması, *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, vol. 8, no.2, s. 40-46, 2015.
- [28] M. Kaya, A. Şanlı, Bazı ekmeklik (*Triticum aestivum* L.) ve makarnalık (*Triticum durum* L.) buğday çeşitlerinin Isparta ekolojik koşullarında verim ve bazı verim öğelerinin belirlenmesi. *Bitkisel Araştırma Dergisi*, vol. 2, s. 27-34. 2009.
- [29] E. Kendal, “Bazı makarnalık buğday çeşitlerinde genotip x çevre interaksyonunun kalite ile verim özelliklerine etkisi” Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Hatay, 2013.
- [30] Y. Doğan, Y. Toğay, N. Toğay, Türkiye’de tescil edilmiş bazı makarnalık buğday (*Triticum durum* L.) çeşitlerinin Mardin - Kızıltepe koşullarında verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, vol. 25, no. 3, s.304-311, 2014.

- [31] C. Konak, İ. Turgut, A. Erkul, F. Öncan, Y.O. Koca, İleri makarnalık buğday hatlarında verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. *Türkiye VI. Tarla Bitkileri Kongresi*, 5-9 Eylül 2005, Antalya (Araştırma Sunusu) Cilt II, s.713-718, 2005.
- [32] E. Kendal, “Güneydoğu Anadolu Bölgesinde farklı dozlarda uygulanan çinko (ZnSO₄) gübresinin makarnalık buğday çeşitlerinde verim, verim unsurları ve kalite özelliklerine etkisi” Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Adana, 2009.
- [33] H. Güran, “İleri ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L) hatlarında verim ve kalite ilişkilerinin belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır, 2019.
- [34] Y. Tanrıverdi, “Diyarbakır koşullarında makarnalık buğdayın (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) optimum ekim tarihinin belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Diyarbakır, 2019.
- [35] H. Kılıç, E. Dönmez, S. Yazar, T. Şanal, A. Altıkat, Elazığ ve Malatya şartlarına uygun makarnalık buğday çeşitlerinin belirlenmesi. *Bitkisel Araştırma Dergisi*, vol. 2, s.6-13, 2007.
- [36] S. Aydoğan, M. Şahin, A. G. Akçacık, M. Türköz, İleri makarnalık buğday hatlarının farklı çevrelerde verim ve kalite özellikleri yönünden değerlendirilmesi, *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, vol. 14, no. 4, s. 23-31, 2010.
- [37] S. Yazar, T. Karadoğan, Bazı makarnalık buğday genotiplerinin orta Anadolu bölgesinin taban ve kıraç arazi koşullarında verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, vol.3, no. 2, s. 32-41, 2008
- [38] A. Öztürk, S. Akten, Kışlık buğdayda bayrak yaprak boğumu üzerindeki yapıların, ekim sıklığı ve azot dozlarına tepkisi. *Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi*, vol. 8, no. 1, s. 147-167, İzmir, 1998.
- [39] F. Sönmez, M. Ülker, N. Yılmaz, H. Ege, B. Bürün, R. Apak, Tir buğdayında tane verimi ile bazı verim öğeleri arasındaki ilişkiler. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, vol. 23, s.45-52, 1999.
- [40] T. Dokuyucu, L. Cesurer, A. Akkaya, H. Gezginç, Üç ekmeklik buğday çeşidinde uygulanan farklı ekim sıklıklarının tane verimi ve bazı verim unsurlarına etkisi. *Türkiye II. Tarla Bitkileri Kongresi*, s. 523-525, 22-25 Eylül, Samsun, 1997
- [41] Z. Mut, N. Aydın, H. Özcan, H.O. Bayramoğlu, Bazı ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L.) genotiplerinin verim ve başlıca kalite özelliklerinin belirlenmesi. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, vol. 22, no. 2, s.193-201, 2007.
- [42] M. Türköz, Z. Mut, Konya ekolojisinde bazı makarnalık buğday genotiplerinin verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, vol. 31, no. 2, s. 27-36, 2017.
- [43] A. Pehlivan, A. Kaplan Evlice, T. Şanal, N. Çinkaya, T. Özderen, A. Keçeli, Makarnalık buğdaylarda (*Triticum durum* Desf) irmik rengi ile tane rengi arasındaki ilişkinin incelemesi. *Ülkesel Tahıl Sempozyumu*, s. 819-823, 2-5 Haziran, Konya, 2008.
- [44] S. Aydoğan, M. Şahin, A. G. Akacık, Y. Kaya, İ. Kara, M. Türköz, M. Akçura, Bazı makarnalık buğday çeşitlerinin kalite özelliklerinin belirlenmesi. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, vol. 5, no. 1, s. 82-85, 2012.
- [45] S. Tekdal ve M. Yıldırım, Durum buğday çeşit, ileri hat ve yerel popülasyonlarının kalite özelliklerinin değerlendirilmesi, *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 10, no. 1, pp. 13-34, Jun. 2021.

Copyright © 2022 Baykara, Yıldırım and Atak. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY 4.0).



Araştırma Makalesi / Research Article


Güneydoğu Anadolu Bölgesi Beyazsinek Türlerinin (Hemiptera: Aleyrodidae) Belirlenmesi

Determination of Whitefly Species (Hemiptera: Aleyrodidae) in Southeastern Anatolia Region

Mustafa Cihan DEMİRCİOĞLU^{1,*} , Erol BAYHAN² , Mehmet Rifat ULUSOY³ 

^{1,2} Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitki Koruma Anabilim Dalı, 21280, Diyarbakır, Türkiye

³ Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, 01250, Adana, Türkiye

 <https://doi.org/10.55007/dufed.1109947>

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihi

Alınış, 27 Nisan 2022

Revize, 14 Haziran 2022

Kabul, 21 Haziran 2022

Online Yayınlama, 01 Ekim 2022

Anahtar Kelimeler

Beyazsinek, Aleyrodidae, Güneydoğu Anadolu Bölgesi

ARTICLE INFO

Article History

Received, 27 April 2022

Revised, 14 June 2022

Accepted, 21 June 2022

Available Online, 01 October 2022

Keywords

Whitefly, Aleyrodidae, Southeast Anatolia Region

ÖZ

Türkiye'nin tüm bölgelerinde tespit edilen Beyazsinek (Hemiptera: Aleyrodidae) türleri üzerinde yapılan taksonomik bir çalışmadır. Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) faaliyete başlamasıyla artan bitki türü çeşitliliği ve tüm yıl ürün alınabilmesinden kaynaklı olarak tüm yıl varlığını koruyan bir zararlı konumuna gelmiştir. Ayrıca tarımsal sulamadan dolayı artan nem oranı Beyazsinek yoğunluğu artırmış olup bu nedenle tarımsal ürünlerde ciddi zarar verdiği için Güneydoğu Anadolu Bölgesi için önemli bir zararlı olmuştur. 2019-2022 yılları arasında Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde bulunan Şırnak, Siirt, Batman, Diyarbakır, Mardin, Şanlıurfa, Adıyaman, Gaziantep ve Kilis illerindeki farklı konukçulardan toplanan Aleyrodidae familyasına ait türler, pupa ve pupa kabuğundan morfolojik tanı karakterleri kullanılarak Beyazsinek (Hemiptera: Aleyrodidae) türlerinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Çalışmada tarım, orman ve tarım dışı alanlardan örnekler toplanmıştır. Çalışma esnasında örnek toplama yılının tüm dönemlerinde düzensiz çıkışlar yapılarak gerçekleştirilmiştir. Toplanan örneklerden 9 beyazsinek türü tespit edilmiştir. Bu türler; *Bemisia afer*, *B. tabaci*, *Dialeurodes citri*, *Dialeurolobus pulcher*, *D. rhamni*, *Massileurodes setiger*, *Siphoninus phillyreae*, *Trialeurodes vaporariorum* ve *Tetraleurodes neemani* olarak tespit edilmiştir.

ABSTRACT

This study is a taxonomic study on Whitefly (Hemiptera: Aleyrodidae) species, which is an important pest in our country and detected in all regions of our country. Especially, the Southeastern Anatolia Project (GAP) maintains its existence all year due to the increasing diversity of plant

*Sorumlu Yazar

E-posta Adresleri: m.cihan.demircioglu@gmail.com (Mustafa Cihan DEMİRCİOĞLU),

erolbayhan@gmail.com (Erol BAYHAN), mrulusoy@cu.edu.tr (Mehmet Rifat ULUSOY)

species and the inability to obtain products all year. In addition, it has become an important pest for the Southeastern Anatolia Region, as it causes serious damage to the products with the increase in the whitefly density due to the increased humidity due to agricultural irrigation. Species belonging to the Aleyrodidae family collected from different hosts in the provinces of Şırnak, Siirt, Batman, Diyarbakır, Mardin, Şanlıurfa, Adıyaman, Gaziantep and Kilis in the Southeastern Anatolia Region between 2019-2022 were determined by using the morphological diagnostic characters of the pupal shell and Whitefly (Hemiptera: Aleyrodidae). was carried out to identify the species. In the study, samples were collected from agriculture, forest and non-agricultural areas. During the study, sample collection was carried out by making irregular exits in all periods of the year. Nine whitefly species were identified from the collected samples. These species are; *Bemisia afer*, *B. tabaci*, *Dialeurodes citri*, *Dialeurolobus pulcher*, *D. rhamni*, *Massileurodes setger*, *Siphoninus phillyrae*, *Trialeurodes vaporariorum* and *Tetraleurodes neemani*.

1. GİRİŞ

Aleyrodidae familyasına bağlı, dünya genelinde 161 cinse ait 1556 beyazsinek türü tespit edilmiştir [1-2]. Türkiye’de daha önce yapılan araştırmalarda 21 cinse ait 40 beyazsinek türü belirlenmiştir [3]. Pamukta ekonomik yönden önemli zararlara neden olan Beyazsinek *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae), ilk defa 1928 yılında İzmir bölgesinde tespit edilmiştir. İzmir bölgesinde %20 oranlarına varan zarara neden olduğunu tespit etmişlerdir [4]. Beyazsinek, Çukurova’ da ilk kez 1970’li yılların ortasında tarımsal alanlarda ekonomik kayıplara neden olan önemli bir zararlı olarak tespit edilmiştir [5-6]. 1950’li yıllarda zararlılara karşı mücadelede geniş etkiye sahip tarım ilaçlarının aşırı ve rastgele kullanılması neticesinde tarımsal mücadele çalışmaları daha da zorlaşmıştır. Geniş spektrumlu insektisit, *Bemisia tabaci*’nin mücadelesinde kullanılan birçok doğal düşmanlarının popülasyonlarını düşürerek, doğal dengenin bozulmasına neden olmuştur. *B. tabaci* yoğunluğunu baskı altında tutan doğal düşmanların popülasyonlarının azalmasından dolayı beyazsineğin popülasyonu artmış ve bu nedenle ürün kayıplarında neden olmuştur. [7] Ayrıca, Akdeniz Bölgesi’nde sulanabilir tarım arazilerinin hızlı bir şekilde genişlemesi ile bölgenin ekolojik koşulları değişmiş bunla birlikte nem oranının artmasıyla zararlıların popülasyonun hızla artmıştır. [7-8]. Ayrıca uzun yıllar boyunca ard arda yapılan pamuk ekimleri de zararlıların gelişiminin hızlanmasına katkı sağlamıştır. Ekim nöbeti yapılmaması tarım alanlarında beyazsineğin tüm yıl bulmasına neden olmuş, popülasyonunu hızla artmasından dolayı beyazsinek, pamukta ana zararlı durumuna gelmiştir [5-6].

Bu çalışmada, Güneydoğu Anadolu bölgesindeki tarım ve tarım dışı alanlarda bulunan beyazsinek türleri belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ne bağlı Gaziantep, Kilis, Şanlıurfa, Adıyaman, Diyarbakır, Mardin, Batman, Siirt ve Şırnak illerinde Beyazsineklerin bulunabileceği tarım ve tarım dışı alanlar, 2019-2022 yılları arasında yaz ve kış ayları boyunca periyodik ve periyodik olmayan arazi çıkışlarıyla tespit edilmiştir. Beyazsineklerin tür teşhisi daha çok pupa evresinde yapılabildiği için [9] öncelikle pupa ve pupa kabuğunun bulunduğu yapraklar toplanmıştır. Toplanılacak olan örnekler kâğıt torbalara konularak bir buz kutusu içerisinde laboratuvara ulaştırılmıştır.

Örneklerden elde edilen pupa ve pupa kabukları %70 alkol içerisine alınmıştır. Pupa preparatı normal pupa ve beyazsinek ergini çıkış yapmış olan pupa kabuklarından elde edilmiştir. Örnekler %5 ile 10 arasında Sodyum hidroksit (NaOH) veya %5 Potasyum hidroksit (KOH) içerisine alınıp 5 ile 10 dakika kadar kaynatıldıktan sonra glacial asit içerisine alınmıştır. Glacial asit içerisnde 10 dakika bekletildikten sonra üzerinde kalıntı olarak kalabilecek herhangi bir mumlu maddenin temizlenmesi için kloralhidrat-fenol karışımına konularak ısıtılmış ve daha sonra tekrar glacial asetik asit bulanan ortama konulmuştur. Açık renkli örnekler 5-10 arasında dakika asit fuksinde boyanmış, koyu renkli örnekler ise %5 H₂O₂ (hidrojen peroxid) içerisnde 5-10 arasında dakika kadar bekletilmiştir. Boyanmış ve rengi açılan pupa ve pupa kabukları glacial asetik asit ile temizlendikten sonra 10 ile 15 dakika ve ksilolde 5 dakika bekletilmiştir. Şeffaflaşan ve önemsiz maddelerden arındırılan pupa ve pupa kabuğu örnekleri lam üzerinde kanada balzamına alınmış ve kalıcı preparatları yapılmıştır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Çalışmada; Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde 2019-2022 yılında, Aleyrodidae familyası, Aleyrodinae altfamilyasına bağlı 9 adet Beyazsinek türü tespit edilmiştir. Bu türler; *Bemisia afer*, *B. tabaci* (Q biyotip), *Dialeurodes citri*, *Dialeurolobus pulcher*, *D. rhamni*, *Massileurodes setiger*, *Siphoninus phillyreae*, *Tetraleurodes neemani* ve *Trialeurodes vaporariorum*'dir.

Bu çalışmada elde edilen Beyazsinek türlerinin tanınması konukçuları, dünyadaki ve Türkiye'deki dağılımları literatür bilgilerinden de yararlanılarak aşağıda verilmiştir.

3.1 Tür adı: *Bemisia afer* Priesner & Hosny

İncelenen Materyal: Şanlıurfa; Birecik 29.08.2019, *Morus alba* L., Halfeti, 17.08.2019, *M. Alba* ve Diyarbakır; Eğil *M. Alba*.

Tanımı: *Bemisia afer* pupası baş ve abdomen bölgesinde sivri oval yapıda olup rengi açık sarı ve yeşil tonarındadır. Vasiform açıklığı üçgen benzeri yapıda ve iç yüzeyinde lingulaya doğru uzanan iki taraflı dörder adet diken şeklinde kıl belirgindir. Lingula baştan uca doğru giderken sivrileşen ince uzun bir yapısı olup uç kısmında da iki adet diken benzeri kıl bulunmaktadır. Ergin bireylerin rengi sarı renkte ve kanatları şeffaftır [9].

Konukçuları: Polifag bir tür olup 20 bitki familyasına ait bitki türünde konukçuluk ettiğini bildirilmiştir [10, 11].

Dünya'daki Yayılışı: Güney Amerika, Asya ,Orta Batı Afrika Güney Afrika, Avusturalya, Yeni Gine [2, 10, 11].

Türkiye'deki Yayılışı: Akdeniz ve Ege bölgelerinin yanında iç Anadolu bölgesinde de tespit edilmiştir. [9], bu çalışmada Güneydoğu Anadolu bölgesi bağlı Şanlıurfa, Adıyaman, Gaziantep, Diyarbakır ve Kilis illerinde tespit edilmiştir.

3.2 Tür adı: *Bemisia tabaci* Gennadius

İncelenen Materyal: Şanlıurfa; Birecik, 29.08.2019 *Citrullus lanatus*, *Abelmoschus esculentus* *Cucumis melo*, *Solanum melongena*, *Capsicum annuum* Harran, 03.09.2020 Hilvan, 27.07.2020 Siverek, 27.07.2020 Viranşehir 04.08.2021, *Gossypium hirsutum*, Diyarbakır; Merkez, 15.08.2019 *Robinia* sp. Çermik, *Gossypium hirsutum*, *Solanum melongena*, *Amaranthus caudatus*, Ergani, 16.08.2021 *Cucurbita pepo*, *Lactuca virosa*, *Asparagus Officinalis*, Çüngüş, 28.08.2020, *Ailanthus* sp., *Prunus* sp., Şırnak; İdil, 03.08.2019 *Citrullus lanatus*, Cizre, 03.08.2019 *Cucumis sativus* Silopi, 03.08.2019 *Cucurbita pepo*, Merkez, 04.08.2019 *Gossypium hirsutum*, Siirt, Eruh, 05.08.2019, *Chenopodium album*, *Convolvulus arvensis*, Kurtalan, 05.08.2019, *Physalis angulata* Merkez, 05.08.2019 *Cucumis melo*, *Xanthium strumarium* , *Amaranthus Caudatus*, Batman, Merkez, 01.09.2021, *Solanum nigrum*, *Portulaca oleracea*, *Malva Sylvestris*, *Hasankeyf*, 01.09.2021, *Echinochloa crus-galli*, *Tagetes erecta*, Sason, 02.09.2021, *Urtica* sp. Mardin; Kızıltepe, 20.07.2019, *Medicago sativa*, *Cucumis flexuosus*, Merkez, 20.07.2019, *Helianthus annuus*, *Sesamum indicum*, Nusaybin, 20.07.2019, *Rosa* sp., *Alcea rosea*, Adıyaman; Çelikhan, 13.08.2020, *Nicotiana tabacum*, Merkez, 13.08.2020, *Prunus dulcis*, Kahta, 13.08.2020 *Ocimum basilicum*, Gaziantep; Merkez, 10.07.2020, *Capsicum annuum*, *Bougainvillea spectabilis*, *Catalpa* sp., *Melissa officinalis*, İslahiye, 11.07.2020, *Erigeron bonariensis*, *Chenopodium anthelminthicum*, Nurdağı, 12.07.2020 *Cistus creticus*, *Datura stramonium*, *Datura Stramonium* Kilis; Merkez, 13.07.2020 *Capsicum annuum*, *Sesamum indicum*, Polateli, 13.07.2020, *Phaseolus vulgaris*, Elbeyli, 13.07.2020, *Arachis hypogaea*.

Tanımı: Beyazsineklerin en önemli teşhis karakteri olan, üçgen şeklindeki vasiform açıklığının iç kısmında lingulanın uç kısmı da üçgenimsi yapıda olup, operkulumun kenar kısmından lingulaya doğru uzanan iki taraflı iki adet belirgin dört adet ve belirgin olmayan toplam altı adet kıl bulunur. Operkulum vasiform boşluğunun yaklaşık üçte birini kapatır. Ergin beyazsinekler açık sarıdır ve kanatları şeffaftır. Hareketsiz pozisyonda üst kanalar birbirinin üzerine gelir [9].

Konukçuları: Bu tür 60 dan fazla familyadan 350'nin üzerinde bitki türünde konukçuluk ettiği tespit edilmiştir [10-13].

Dünya'daki Yayılışı: Dünyanın birçok kıtasında yayılım gösteren bir tür olup Öncelikle Paleartik Bölge olmak üzere, Etyopya, Madagaskar, Oriental, Avusturalya, Nearktik ve Neotropikal Bölgelerde bulunduğu tespit edilmiştir [10].

Türkiye'deki Yayılışı: Ülkemizde yapılan çalışmalarda Ege ve Akdenizde bulunan bu türün tüm türkiyede yayılış gösterdiği bildirmiştir [10]. Bu çalışmada ise Akdeniz ve Ege bölgelerinde olduğu gibi Güneydoğu Anadolu bölgesinin tüm illerinde yaygın olarak bulunduğu ve özellikle pamuk alanlarında yüksek popülasyonlar oluşturduğu gözlenmiştir.

3.3 Tür adı: *Dialeurodes citri* (Ashmead)

İncelenen Materyal: Şanlıurfa; Birecik, 07.07.2021, *Citrus aurantium*, Merkez, 01.07.2021 *Punica granatum*, Gaziantep; İslahiye, 11.07.2020, *Citrus aurantium*, Diyarbakır; Merkez, 15.08.2019, *Melia azedarach*.

Tanımı: Pupa yuvarlak yapıda sarı renklidir. Vasiform açıklığı yuvarlak şekildedir. Operkulum vasiform açıklığını ve lingulayı tamamen kapatır. Lingula yuvarlağımsı "V" şeklinde olup etrafında belirgin girinti ve çıkıntılar bulunmaktadır [9].

Konukçuları: Bu türün 19 familyadan 31'den fazla bitki türünde konukçuluk ettiği tespit edilmiştir [9-10].

Dünya'daki Yayılışı: Kuzey Amerika ve Güney Amerika, Asya (Çin, Japonya, Hindistan, Pakistan, Tayvan, Tayland ve Sri Lanka), Avrupa (İtalya, Rusya, Türkiye) [10].

Türkiye'deki Yayılışı: Akdeniz Bölgesi, Ege Bölgesi ve Karadeniz Bölgelerinde yayılış gösterdiği bildirilmiştir [9, 14-16]. Bu çalışmada ise Şanlıurfa, Gaziantep ve Diyarbakır illerinde tespit edilmiştir.

3.4 Tür adı: *Dialeurolobus pulcher* Datsig

İncelenen Materyal: Şanlıurfa; Suruç, 07.07.2021, *Crataegus* sp., *Punica granatum* Diyarbakır; Eğil, 15.08.2019, *Crataegus* sp.

Tanımı: Pupa yuvarlak olup baş kısmı dar ve abdomen kısmı ise hafif genişçedir. Pupa mat siyah renktedir. Vücudun çevresinde şeffaf asimetrik mumsu yapılar mevcuttur. Pupa kabuğunda 26 adet kıl bulunmaktadır. Vasiform açıklığı köşeleri oval üçgen yapıdadır. Operkulum vasiform açıklığının tamamını kapatmaz. Lingulanın görünen uç kısmı dil şeklinde olup karbarcıklı yapıdadır [9].

Konukçuları: *Punica granatum* ve *Crataegus* sp. olduğu belirlenmiştir [17].

Dünya'daki Yayılışı: Rusya, Moldova, Karadeniz Sahil Bölgeleri ve Kazakistan da yayılış gösterdiğini tespit etmişlerdir [17].

Türkiye'deki Yayılışı: Güneydoğu Anadolu bölgesinde, Akdeniz bölgesi ve Ege bölgesinde bulunduğu saptanmıştır [9]. Bu çalışmada ise Güneydoğu Anadolu bölgesinde Şanlıurfa ve Diyarbakır illerinde tespit edilmiştir.

3.5 Tür adı: *Dialeurolobus rhamnii* Bink-M

İncelenen Materyal: Adıyaman; Merkez, 13.08.2020 *Punica granatum*, Şanlıurfa; Suruç, 07.07.2021, *Punica granatum*.

Tanımı: Pupa dikdörtgenimsi oval şekilde ve rek olarak parlak siyahtır. Pupa kabuğu çevresinde 12 çift kıl bulunmaktadır. Vasiform açıklığı üçgen şeklindedir. Operkulum vasiform açıklığının tamamını kapatmaktadır. Ergin beyazsinekler kirli sarı renktedir. Kanatları şeffaf olup üzerinde kahverengimsi lekeler bulunmaktadır [9].

Konukçuları: *Punica granatum* ve *Rhamnus palaestina* [18].

Dünya'daki Yayılışı: Bu türün İsrail bölgesinde bulunduğu bildirilmiştir [18].

Türkiye'deki Yayılışı: Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgesinde yayılış gösterildiği tespit edilmiştir [9]. Bu çalışmada ise Güneydoğu Anadolu bölgesinde Şanlıurfa ve Adıyaman illerinde tespit edilmiştir.

3.6 Tür adı: *Massilieurodes setiger* (Goux)

İncelenen Materyal: Şanlıurfa; Halfeti, 11.08.2020, *Viburnum tinus* Gaziantep; Nurdağı, 12.07.2020, *Viburnum tinus*.

Tanımı: Pupa yuvarlak oval şeklinde ve soluk sarı renktedir. Pupa üzerinde 13 ile 15 çift (genellikle 14) arası kıl bulunmatadır. Vasiform açıklığı yuvarlak şekildedir. Operkulum vasiform açıklığını ve lingudayı tamamen kapatır [11].

Konukçuları: Bu tür Caprifoliaceae (Goux 1939), *Viburnum tinus* ,*Arbutus unedo* (Martin 2000: 432) konukçuluk etmektedir [11].

Dünya'daki Yayılışı: Bu tür Avrupanın tamamına ve Akdeniz ülkeri olan ;Korfu, Korsika, Fransa, İtalya, Fas, İspanya yayılmıştır [11].

Türkiye'deki Yayılışı: Bu çalışmada Şanlıurfa ve Gaziantep illerinde tespit edilmiştir. Bu çalışmada bu türün tespiti Güneydoğu Anadolu Bölgesi için ilk kayıttır.

3.7 Tür adı: *Siphoninus phillyreae* Haliday

İncelenen Materyal: Şanlıurfa; Suruç, 07.07.2021, *Punica granatum* Diyarbakır; Çüngüş, 28.08.2020, *Punica granatum*, Mardin; Kızıltepe, 20.07.2019, *Punica granatum* Merkez, 20.07.2019, *Punica granatum*, Nusaybin, 20.07.2019, *Punica granatum*, Batman, Merkez, 01.09.2021, *Portulaca oleracea*, *Punica granatum*, Hasankeyf, 01.09.2021, *Punica granatum*, Sason, 02.09.2021, *Punica granatum*, Kilis; Merkez, 13.07.2020 *Punica granatum*, *Punica granatum*, Polateli, 13.07.2020, *Punica granatum*, Elbeyli, 13.07.2020, *Punica granatum*, Adıyaman; Çelikhan, 13.08.2020, *Punica granatum*, Merkez, 13.08.2020, *Punica granatum*, Kahta, 13.08.2020 *Punica granatum*, Gaziantep; Merkez, 10.07.2020, *Punica granatum*, Oğuzeli, 11.07.2020, *Punica granatum*, Nurdağı, 12.07.2020 *Punica granatum*, *Punica granatum*.

Tanımı: Pupa yuvarlağımsı olup kenar kısımları hafifçe kalın ve yüksektir. Vücut rengi kenar kısımlarda krem renğinde olup orta kısma kadar açık kahverengi ve orta kısmında koyu kahverenindedir. Vasiform açıklığı yuvarlağımsı kare şeklindedir. Operkulum vasiform açıklığını çok az kapatır. Lingula operkulumun altında çok küçük kenarları yuvarlak dikdörtgen şeklinde bir dil gibi görünür [9].

Konukçuları: *Calalpa chilopsis*, *Cercis occidentalis*, *Cercis siliquastrum*, *Lagerstroemia indica*, *Liriodendron tulipifera*, *Magnolia stellata*, *Afzelia sp.*, *Fraxinus excelsior*, *Fraxinus latifolia*,

Fraxinus uhdei, *Fraxinus velutina*, *Fraxinus ornus*, *Fraxinus syriaca*, *Ligustrum spp.*, *Olea chrysohylla*, *Olea europea*, *Olea africana*, *Phillyrea latifolia*, *Phillyrea media*, *Punica granatum*, *Rhamnus alaternus*, *Syringa hyacinthiflora*, *Syringa laciniata*, *Syringa vulgaris*, *Amelanchier denticulata*, *Chaenomeles speciosa*, *Ziziphus spina-christi*, *Crataegus mollis*, *Crataegus laevigata*, *Crataegus monogyna*, *Crataegus oxyacantha*, *Crataegus azarolus*, *Cydonia oblonga*, *Eriobotrya deflexa*, *Heteromeles arbutifolia*, *Mespilus sp.*, *Malus sp*, *Malus domestica*, *Malus floribunda*, *Malus fusca*, *Malus scheideckeri*, *Ulmus procera*, *Prunus persica*, *Prunus armeniaca*, *Prunus blireiana*, *Pyracantha sp.*, *Pyrus communis*, *Pyrus sativa*, *Pyrus malus*, *Pyrus calloryana*, *Pyrus kawakamii*, *Pyrus pyrifolia*, *Cephalanthus occidentalis*, *Citrus sp.*, *Citrus Limon* ve *Citrus sinensis* tespit edilmiştir [10, 18-20].

Dünya'daki Yayılışı: A.B.D., Almanya, Avustralya, Bulgaristan, Çekoslovakya, Eritre, Etiyopya, Fas, Finlandiya, Fransa, Hindistan, İngiltere, İspanya, İran, İrlanda, İsrail, İtalya, Java, Kamerun, Korsika, Kıbrıs, Libya Macaristan, Meksika, Mısır, S.S.C.B., Sudan, Suudi Arabistan, Suriye, Ürdün, Peru, Pakistan, Polonya, Tayvan, Venezuela, Yunanistan, Yugoslavya ve Zaire [10].

Türkiye'deki Yayılışı: Tüm Türkiye'de yaygın olarak bulunduğu çeşitli bilimsel araştırma ve araştırmacılar tarafından tespit edilmiştir [9,14,17,21,22]. Bu çalışmada ise Güneydoğu Anadolu bölgesinde Şanlıurfa, Gaziantep, Diyarbakır, Mardin, Kilis, Adıyaman ve Batman illerinde tespit edilmiştir.

3.8 Tür adı: *Tetraleurodes neemani* Bink-Moenen

İncelenen Materyal: Şanlıurfa; Merkez, 13.08.2020, *Laurus nobilis*, Halfeti, 11.08.2020, *Pistacia terebinthus*, Mardin; Midyat, 20.07.2019, *Vitis vinifera*.

Tanımı: Pupa oval yapıdadır. Pupa sarı renkte olup pupanın etrafında mumsu madde bulunmaktadır. Vasiform açıklığı yuvarlağımsı üçgen şeklindedir. Operkulum vafiform açıklığının yarısını kapatır. Lingula az da olsa görülür ve belirgin bir çift kıla sahiptir [9].

Konukçuları: *Amphelopsis tricuspidata*, *Arbutus andrachne*, *Cercis siliquatum*, *Ceratonia siliqua*, *Citrus limon*, *Laurus nobilis*, *Myrtus communis*, *Pistacia palaestina*, *Punica granatum*, *Rhamnus alaternus*, *Rosa sp.*, *Smilax aspersa*, *Viburnum tinus*, *Vitis sp.*, *Vitis vinifera* [9].

Dünya'daki Yayılışı: İsrail (Bink-M ve Gerling, 1990) ve Türkiye'de tespit edilmiştir [23].

Türkiye'deki Yayılışı: Akdeniz, Ege ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinde tespit edilmiştir [9]. Bu çalışmada ise Güneydoğu Anadolu bölgesinde Şanlıurfa ve Mardin illerinde tespit edilmiştir.

3.9 Tür adı: *Trialeurodes vaporariorum* Westwood

İncelenen Materyal: Şanlıurfa; Merkez, 13.08.2020, *Capsicum annuum*, *Lycopersicon esculentum*, Diyarbakır; Lice, 29.08.2020, *Lycopersicon esculentum*, Gaziantep; Oğuzeli, 11.07.2020, *Capsicum annuum*, *Lycopersicon esculentum*, Kilis; Merkez, 13.07.2020 *Capsicum annuum*, *Lycopersicon esculentum*, Polateli, 13.07.2020, *Capsicum annuum*, Elbeyli, 13.07.2020, *Capsicum annuum*, *Lycopersicon esculentum*, Nurdağı, 12.07.2020, *Lycopersicon esculentum*, Adıyaman; Kahta, 13.08.2020, *Capsicum annuum*, *Lycopersicon esculentum*.

Tanımı: Pupa oval şekilde olup kenar kısımları hafif yüksektir. Pupa soluk sarı renkte ve üzeri kalın bir mum tabakası ile örtülüdür. Vücudu kapsayan birçok ince mum benzeri uzantı vardır. Vasiform açıklığı yuvarlar ve oval yapıdadır. Operkulum üç loba sahip olup uç kısmı lingulanın üzerinde sarkmıştır. Lingula vasiform açıklığını kapatacak boyuttadır. Lingulanın kenarlar kısımları ve üzeri girintili çıkıntılı bir yapıya sahip olup uç kısmında uzun bir çift kıl bulunur [9].

Konukçuları: Bu tür 82 familyadan 282 farklı bitki türünde konukçuluk ettiği belirlenmiştir [10].

Dünya'daki Yayılışı: Bu tür Kozmopolit bir türdür. Paleartik, Nearktik, Pasifik ve Neotropikal Bölgelerde yayılış göstermektedir [10-24].

Türkiye'deki Yayılışı: *Trialeurodes vaporariorum*'un üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda İç Anadolu [9, 24], Güney Anadolu ve Marmara [9, 14], Batı Akdeniz [9, 12], Doğu Akdeniz [8, 9] ve Ege bölgelerinde [9] bulunduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada ise Güneydoğu Anadolu bölgesinde Şanlıurfa, Diyarbakır, Gaziantep, Kilis ve Adıyaman illerinde tespit edilmiştir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışma sonucunda Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde bulunan Şırnak, Siirt, Batman, Diyarbakır, Mardin, Şanlıurfa, Adıyaman, Gaziantep ve Kilis illerindeki Beyazsinek türleri belirlenmiştir. Beyazsinek türleri; *Bemisia afer*, *B. tabaci*, *Dialeurolobus pulcher*, *D. rhamni*, *D. citri*, *Siphoninus phillyreae*, *Trialeurodes vaporariorum*, *Tetraleurodes neemani*, *Massileurodes setiger* olarak tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, ‘‘Güneydoğu Anadolu Bölgesi’ndeki Beyazsinek Türlerinin, Doğal Düşmanlarının Tespiti ve *Bemisia tabaci* Gen. (Hemiptera: Aleyrodidae)’nin Pamukta Popülasyon

Dalgalanmasının Belirlenmesi” adlı Doktora tezinin bir bölümü olup, Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi Koordinatörlüğü’nce desteklendiği (Proje Numarası: Ziraat.20.008) için teşekkür ederiz.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını bildirmektedirler.

ETİK BEYANI

Bu çalışmada, yazarlar “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamındaki tüm kurallara uydıklarını, ilgili yönergenin “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler” olarak belirtilen başlığı altındaki eylemlerden hiçbirini gerçekleştirmediklerini taahhüt ederler.

YAZARLARIN KATKILARI

Mustafa Cihan DEMİRCİOĞLU: Literatür taramaları, örneklerin toplanması, derlemesi ve teşhise hazır hale getirilmesi, makale yazımı. Erol BAYHAN: Çalışmanın yönetimi ve planlaması, literatür taramaları, örneklerin toplanması, derlemesi ve teşhise hazır hale getirilmesi, makale yazımı. Mehmet Rifat ULUSOY: Çalışmanın yönetimi ve planlaması, literatür taramaları, örneklerin toplanması, derlemesi ve teşhise hazır hale getirilmesi, makale yazımı.

KAYNAKLAR

- [1] J. H. Martin, L. A. Mound, “An annotated check list of the world’s whiteflies (Insecta: Hemiptera: Aleyrodidae)”. *Zootaxa*, vol. 1492, no. 1–84, 2007.
- [2] G. A. Evans, “The whiteflies (Hemiptera: Aleyrodidae) of the world and their host plants and natural enemies”. World Whitefly Catalog, USDA/Animal Plant Health Inspection Service (APHIS), pp. 703, 2008.
- [3] M. R. Ulusoy, K. Karut, A. F. Çalışkan, “Whiteflies species (Hemiptera: Aleyrodidae) of Turkey” XVIII. *International Plant Protection Congress Berlin (Germany)*, P NEPD 47, pp. 734, 2015.
- [4] F. S. Bodenheimer, “Türkiye’de ziraatte ve ağaçlara zararlı olan böcekler ve bunlarla savaş hakkında bir etüt”. Bayur Matbaası, 1958.
- [5] Ç. Şengonca, “Betitrag Zum Epidemischen Auftretenden Tabakmotten Schildlaus, Bemisia tabaci Genn. anı Baumwollpflanzen in Sudanatolien (Homoptera: Aleyrodidae) Anz.” *Schaedlingskd, Pflanz, Umweltschutz*, 48, pp. 140-142, 1975.

- [6] G. Aydın, E. Şekeroğlu, “Pamuk Beyazsineği, *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera: Aleyrodidae)’nin Laboratuvar Koşullarında Farklı Pamuk Çeşitleri Üzerinde Yaşam Çizelgelerinin Oluşturulması.” *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, vol. 18, s. 91- 98, 2008.
- [7] H. Kaygısız, “Akdeniz Bölgesi Pamuklarında Zarar Yapan (*Bemisia tabaci* Genn.)’in Tanınması, Biyolojisi, Yayılış Alanları, Zararı, Konukçuları ve Mücadelesi Üzerine Araştırmalar.” *Gıda. Tar. Hay. Bak. Zir. Müc. Kar. GEN. Müd. Adna Böl. Zir. Müc. Arş. Enst. Yay.*, 45, s. 58, 1976.
- [8] M. R. Ulusoy, G. Vatansever, “Doğu Akdeniz Bölgesi sebze alanlarında iki yeni beyazsinek türü: *Aleyrodes proletella* L ve *Trialeurodes vaporariorum* Westwood (Homoptera: Aleyrodidae).” *Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, vol. 12, no. 3, s. 59–68. 1997.
- [9] M. R. Ulusoy, “Türkiye Beyazsinek Faunası.” *Baki Kitabevi*, Adana, s. 99, 2001.
- [10] L. A. Mound, S. H. Halsey, “Whitefly of the World. A systematic catalogue of the Aleyrodidae (Homoptera) with host plant and natural enemy data.” *British Museum and John Willy and Sons, Chichester- Newyork - Brisbonbe- Toronto*, pp. 340, 1978.
- [11] J. H. Martin, D. Mifsud, C. Rapisarda, “The whiteflies (Homoptera: Aleyrodidae) of Europe and the Mediterranean Basin.” *Bulletin of Entomological Research*, 90, pp. 407–448, 2000.
- [12] H. Göçmen, “Yeni bir gözlem: Pamukta Sera beyazsineği, *Trialeurodes vaporariorum* (Westw.) (Homoptera: Aleyrodidae).” *Türkiye Entomoloji Dergisi*, vol. 19, no. 2, s. 111–115. 1995.
- [13] E. Hernandez-Suarez, J. H. Martin, R. J. Gill, I. D. Bedford, C. P. Malumphy, J. A. R. Betancort and A. Carnero, “The Aleyrodidae (Homoptera: Sternorrhyncha) of the Canary Islands with special reference to *Aleyrodes*, *Siphoninus*, and the challenges of puparial morphology in *Bemisia*.” *Zootaxa*, vol. 3212, no. 1–76, 2012.
- [14] N. Lodos, “Türkiye Entomolojisi II. Genel, Uygulamalı ve Faunistik.” *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, No. 429, İzmir, s. 591, 1982.
- [15] A. Zoral, “Doğu Karadeniz Bölgesi’nde Turunçgil beyazsineği, *Diaeuroides citri* (Ashmead) (Homoptera: Aleyrodidae)’nin Biyo-ekolojisi ve savaş metotları üzerinde araştırmalar.” (Yayınlanmamış Uzmanlık Tezi), s. 72, 1974.
- [16] O. Z. Soylu, N. Ürel, “Güney Anadolu Bölgesi turunçgillerinde zararlı böceklerin parazit ve predatörlerinin tesbiti üzerinde araştırmalar.” *Bitki Koruma Bülteni*, vol. 17, no. (2–4), s. 77–112, 1977.
- [17] N. Uygun, İ. H. Elekçioğlu, “Doğu Akdeniz Bölgesi beyazsinek (Homoptera: Aleyrodidae) türlerinin saptanması.” *Türkiye Entomoloji Dergisi*, vol. 14, no. 2, s. 85–96, 1990.
- [18] R. M. Bink-Moenen, D. Gerling, “Aleyrodidae of Israel.” *Bollettino Del Laboratorio Di Entomologia Agraria Filippo Silvestri*, vol. 47, pp. 3–49, 1991.
- [19] T. S. Bellows, T. D. Paine, K. Y. Arakawa, C. Meisenbacher, P. Leddy, J. Kabashimo, “Biological Control sought for ash whitefly.” *California Agricultural*, vol. 44, no. 1, pp. 4–6, 1990.
- [20] R. Nguyen, A. B. Hamon, “Ash whitefly, *Siphoninus phillyreae* (Haliday) (Homoptera: Aleyrodidae: Aleyrodinae).” *Entomological Circular*, No: 337, 1990.
- [21] F. Kumaş, “Güney Anadolu Bölgesi Aleyrodidae (Homoptera) familyası türleri, tanınmaları ve doğal düşmanları üzerinde araştırmalar.” *Antalya Biyolojik Mücadele Araştırma Enstitüsü (Yayınlanmamış Uzmanlık Tezi)*. Antalya, s. 53, 1984.

- [22] S. Ülgentürk, M. R. Ulusoy, “Ankara ilinde bulunan beyazsinek türleri.” *Türkiye Entomoloji Dergisi*, vol. 23, no. 4, s. 259–268, 1999.
- [23] N. Uygun, İ. H. Elekçioğlu, M. R. Ulusoy, “Doğu Akdeniz Bölgesi'nde saptanan yeni beyazsinek (Homoptera: Aleyrodidae) türleri.” *Türkiye Entomoloji Dergisi*, vol. 20, no. 2, s. 105–111, 1996.
- [24] H. Göçmen, “Yeni bir gözlem: Pamukta Sera beyazsineği, *Trialeurodes vaporariorum* (Westw.) (Homoptera: Aleyrodidae).” *Türkiye Entomoloji Dergisi*, vol. 19, no. 2, s. 111–115. 1995.

Copyright © 2022 Demircioğlu, Bayhan and Ulusoy. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY 4.0).



Araştırma Makalesi / Research Article

Elettaria Cardamomum Ekstraktının Proleukin İlacı Kombinasyonu ile Mide Kanseri Hücre Hattı Üzerindeki İmmünoestimulan/Sitotoksik Etkilerinin İncelenmesi


Investigation of Immunostimulant/Cytotoxic Effects of Elettaria Cardamomum Extract with Combination of Proleukin Drug on Gastric Cancer Cell Line

Yağmur HAMURCI^{1,*} , Murat IHLAMUR² , Yağmur ZENGİN³ 

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoteknoloji Bölümü, 34230, İstanbul, Türkiye

² Biruni Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, 34025, İstanbul, Türkiye

³ Boğaziçi Üniversitesi, Biyomedikal Mühendisliği Enstitüsü, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, 34684, İstanbul, Türkiye

 <https://doi.org/10.55007/dufed.1133501>

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihi

Alınış, 21 Haziran 2022

Revize, 07 Temmuz 2022

Kabul, 19 Temmuz 2022

Online Yayınlama, 01 Ekim 2022

Anahtar Kelimeler

Mide kanseri, AGS,

E. Cardamomum, Sitotoksosite

ARTICLE INFO

Article History

Received, 21 June 2022

Revised, 07 July 2022

Accepted, 19 July 2022

Available Online, 01 October 2022

Keywords

Gastric cancer, AGS,

E. Cardamomum, Cytotoxicity

ÖZ

Kanser, hücrelerin kontrolsüz çoğalması sonucunda meydana gelmektedir. Farklı kanser türleri olmakla birlikte mide kanseri dünyada en çok görülen kanser türleri arasında yer almaktadır. Mide kanserine karşı birçok tedavi yaklaşımı geliştirilmiştir. Ancak günümüzde kullanılan tedavi yöntemleri, kanser hücrelerini öldürmekle birlikte sağlıklı hücelere de zarar vermektedir. Kullanılan tedavi yöntemlerinin dezavantajlarından dolayı bitkisel tedavi yaklaşımları kullanılmaya başlanmıştır. *Elettaria Cardamomum* (*E. Cardamomum*) (kakule) ekstraktında bulunun Diindolilmetan (DIM) ve indol-3-karbinol (I3C) molekülleri hormon yolaklarını baskılayarak kanser hücrelerini öldürdüğü literatürde belirtilmektedir. Bu çalışmada, *E. Cardamomum* ve proleukin ilaç kombinasyonlarının AGS, J774, THP-1 hücre hatları üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak, kakule ekstraktında bulunan I3C ve DIM molekülleri sayesinde AGS mide kanseri hücre hattında yüksek sitotoksik etkiye sahip olduğu düşünülmektedir. Kakule ekstraktı ile kombine edilen proleukin ilacının ise AGS hücrelerinde kakule ekstraktının tek başına kullanımına göre daha fazla öldürme oranına sahip olduğu belirlenmiştir.

ABSTRACT

Cancer occurs as a result of uncontrolled proliferation of cells. Although there are different types of cancer, gastric cancer is among the most common cancer types in the world. Many treatment approaches have been developed against gastric cancer. However, the treatment methods used

***Sorumlu Yazar**

E-posta Adresleri: yagmurhamurcu1@gmail.com (Yağmur HAMURCI), ihlamurmurat@gmail.com (Murat

IHLAMUR), yagmurzengn08@gmail.com (Yağmur ZENGİN)

today not only kill cancer cells but also damage healthy cells. Due to the disadvantages of the treatment methods used, herbal treatment approaches have started to be used. It is stated in the literature that Diindolylmethane (DIM) and indole-3-carbinol (I3C) molecules in *Elettaria Cardamomum* (*E. Cardamomum*) extract kill cancer cells by suppressing hormone pathways. In this study, the effect of *E. Cardamomum* and proleukin drug combinations on AGS, J774, THP-1 cell lines was investigated. As a result, it was determined that cardamom extract has a high cytotoxic effect on AGS gastric cancer cell line thanks to I3C and DIM molecules. It was determined that proleukin drug combined with cardamom extract had a higher rate of killing in AGS cells than the use of cardamom extract alone.

1. GİRİŞ

Kanser, hücrelerin kontrolsüz çoğalması sonucu doku ve organlarda birikmesiyle oluşan bir hastalık çeşididir. Kanserli hücreler, tek bir organda birikebildiği gibi metastaz yaparak birden fazla organa yayılabilir [1]. Birçok farklı kanser türü olmakla birlikte mide kanseri, dünyada en sık görülen kanser türleri arasında bulunmaktadır. Mide duvarında veya özofagusta meydana gelen mutasyonlar sonucu kanser oluşumu görülmektedir [2].

Mide kanseri gelişiminde sık karbonhidrat tüketimi, nitrat ve nitrit içerikli ürünlerin alınması, *Helicobacter pylori* enfeksiyonu, kronik atrofik gastrit ve mide ülseri gibi parametreler etkili olmaktadır. Tanısı oldukça güç bir tür olan mide kanseri, sıklıkla iştahsızlık ve buna bağlı olarak kilo kaybı gibi belirtiler gösterir. Kanser tedavisinde en yaygın yaklaşım olarak cerrahi rezeksiyon kullanılmaktadır. Cerrahi dışında kemoterapi, radyoterapi, gen terapisi, immünoterapi ve hedeflendirilmiş terapiler gibi tedavi yöntemleri de geliştirilmiştir. Bu tedavi yöntemleri tek başına efektif bir sonuç vermemekte ve bunlara ek olarak destekleyici tedaviler kullanılmaktadır [3].

Mide kanseri tedavisinde farklı kanser yolaklarını etkileyen ilaçlar kullanılmaktadır. Vincristine (VCR), kanser hücrelerinin apoptoza yönlendirilmesini sağlayan bir alkaloid kemoterapötiktir [4]. Bunun dışında paklitaksel ve dosetaksel gibi farklı mekanizmalar ile kanserli hücrelerin ölümünü sağlayan ilaçlar bulunmaktadır. Proleukin ilacı (etken madde IL-2) gibi ilaçlarda klinikte metastatik renal cell karsinoma ve metastatik melanomaların tedavisinde kullanılmakla birlikte birçok kanser tedavisinde kullanılmakta, T hücreleri ve NK hücrelerinin çoğalmasını ve aktivasyonunu uyararak kanser tedavilerinde etkili olmaktadır [5]. Mide kanseri tedavisinde trastuzumab, bevacizumab ve cetuximab gibi monoklonal antikorlar da ilaçlar kadar etkin bir rol oynamaktadır. Aynı zamanda kemoterapi tedavisi ile birlikte kullanılan trastuzumab sisplatin kombinasyonu kanser oluşumunu azaltmakta ve sağkalım oranını yükseltmektedir [6]. Fakat kullanılan ilaçlar sağlıklı hücrelere de zarar verebilmektedir. Bundan dolayı son yıllarda kanser tedavisinde ilaçlara ek olarak bitkisel ekstraktlardan faydalanılmaktadır. Kakule, zerdeçal, zencefil gibi bitki ekstraktlarının kanserde kullanılan ilaçların

kemoterapötik etkinliğini artırdığı görülmüştür. Bu yöntem ile ilaçların etkinliği artırılmakta olup toksik etkileri azaltılmaktadır [7].

Kakulenin antikanser, antimikrobiyal, anti-inflamatuar, antiproliferatif ve pro-apoptotik etkinlikleri bu bitkinin kansere karşı doğal bir ajan olarak kullanılmasına olanak sağlamıştır. Özellikle son dönemde kansere karşı koruyucu etkisi olduğu gözlenen kakule bitkisi terapötik ajanlar ile birlikte kullanılarak ilaçların etkinliğinin artırılması hedeflenmiştir. Bu koruyucu etkinin sağlanmasında İndol-3-karbinol (I3C) ve 3,3- diindolmetan (DIM) bileşiklerinin etkisi büyüktür [8].

İndol-3-karbinol, sıklıkla brokoli, lahanaya gibi yeşil yapraklı sebzelerde bulunan ve indolmetil glukosinolat glukobrassikinin enzimatik hidrolizi sonucu oluşan bir üründür. Bu ürünün kansere karşı etkili bir korunma sağladığı bilinmektedir. I3C'nin antiproliferatif etkisinin DIM aktivitesinden farklı olarak tamamlayıcı bir nitelikte olduğu gösterilmiştir. DIM genel olarak kanser hücreleri üzerinde sinyal iletimini ve apoptozu indükleyerek hücre döngüsünü engelleyici bir etkiye sahiptir [9].

Sonuç olarak, kakule bitkisinin yapısında bulunan diindolilmetan (DIM) ve indol-3-karbinol (I3C) bileşenlerinin antikanser etki gösterdiği bilinmektedir. Bu nedenle kanserde ilaçlara ek olarak bitkisel bileşenlerin tedaviye olumlu katkılar sağladığı düşünülmektedir. Bu çalışmada, kakule bitki ekstraktının farklı hücre hatlarındaki immünoestimulan ve sitotoksik etkinliği incelenmiştir. Bu bilgiler ışığında bitki ekstraktı tek başına ve ilaç kombinasyonu ile kullanılarak mide kanseri hücre hatlarında apoptozun indüklenmesi amaçlanmaktadır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1 Kakule Ekstraktının Hazırlanması

Kakule bitkisinin kabukları soyuldu. Çıkarılan tohumlar havanda ezildi. 8 gr kakule tohumunun üzerine metanol eklendi. 6 gün karanlık ortamda inkübe edildi. İnkübasyon sonunda elde edilen özüt süzüldü ve metanol hava akımı ve sıcaklık yoluyla buharlaştırıldı. Kakule ekstraktının miktarı hesaplandı [10].

2.2 Hücre Kültürünün Yapılması

Yapılan çalışmada laboratuvarındaki kriyobankta bulunan insan makrofaj hücre hattı (THP-1), fare makrofaj hücre hattı (J774) ve insan mide kanseri hücre hattı (AGS) kullanıldı. Hücrelerin proliferasyonu için RPMI-1640 (Gibco) medyumunu kullanıldı. Stok medyum %1'lik penisilin-streptomisin ve %1'lik L-glutamin eklenerek hazırlandı. Fetal bovine serum (FBS) (Sigma) ise deneysel aşamada medyuma eklendi. Çalışmada kullanılan hücre hatlarının pasaj sayıları 10 ile 15 arasındadır.

Hücre hatlarının kültürü %10 FBS içeren RPMI-1640 besiyerinde gerçekleştirildi. Hücreler 37°C, %95 nem ve %5 CO₂ içeren inkübasyon ortamında tutuldu. Hücreler gerekli konfluente ulaştıktan sonra AGS hücre hattı enzimatik yol ile J774 ve THP-1 hücre hattı ise fiziksel yol ile toplanarak 25°C, 1000 rpm'de 5 dk süreyle santrifüj edildi. Daha sonra kuyu başına 1x10⁵ hücre ml⁻¹ olacak şekilde 96 kuyulu plakalara ekimi gerçekleştirildi. Kültür ortamlarına ekilen hücreler gerekli inkübasyon şartlarında 24 saat tutuldu [11].

2.3 Nitrik Oksit Analizlerinin Yapılması

Hazırlanan ekstrakt konsantrasyonlarının (10 µg ml⁻¹, 20 µg ml⁻¹, 40 µg ml⁻¹, 80 µg ml⁻¹, 100 µg ml⁻¹) ve ekstrakt-ilaç (40 µg ml⁻¹ ekstrakt ve 10 µg ml⁻¹, 20 µg ml⁻¹, 40 µg ml⁻¹, 80 µg ml⁻¹, 100 µg ml⁻¹ ilaç) konsantrasyonlarının immünostimulan aktivitesini belirlemek için J774 ve THP-1 hücrelerinin ürettiği nitrik oksit (NO) miktarı Griess yöntemi ile belirlendi [12]. Gerekli inkübasyon şartlarında 24 saat inkübe edilen hücrelere (kuyu başı 1x10⁵ hücre ml⁻¹) çeşitli konsantrasyonlarda hazırlanan ekstrakt ve ekstrakt-ilaç konsantrasyonları uygulandı. Hücreler belirlenen konsantrasyonlarla 48 saat muamele edildi ve 48 saatin sonunda süpernatant toplandı. 2,5 ml fosforik asit, 0,1 gr N-(1-Naftil) Etilendiamin ve 1 gr Sülfanilamid'in 100 ml distile su eklenmesiyle hazırlanan Griess reaktifi ile reaksiyona sokuldu. NO üretiminin ölçülmesi için kültür ortamından 50 µl alındı ve üzerine 50 µl Griess reaktifi eklendi. Oda sıcaklığında 10 dakika inkübasyondan sonra 540 nm'de ELISA okuyucusunda absorbanları ölçüldü.

2.4 MTT Analizinin Yapılması

Hazırlanan ekstrakt (10 µg ml⁻¹, 20 µg ml⁻¹, 40 µg ml⁻¹, 80 µg ml⁻¹, 100 µg ml⁻¹), ilaç (10 µg ml⁻¹, 20 µg ml⁻¹, 40 µg ml⁻¹, 80 µg ml⁻¹, 100 µg ml⁻¹) ve ekstrakt-ilaç (40 µg ml⁻¹ ekstrakt ve 10 µg ml⁻¹, 20 µg ml⁻¹, 40 µg ml⁻¹, 80 µg ml⁻¹, 100 µg ml⁻¹ ilaç) konsantrasyonlarının sitotoksik etkisini belirlemek için MTT yöntemi kullanıldı. Hücre hatlarının canlılığı, 3-(4.5-dimetiltiazol-2-il)-2.5-Difeniltetrazilyum bromür ile değerlendirildi. Plakalara fenol-red içermeyen besiyerinde ekilen hücrelere (kuyu başı 1x10⁵ hücre ml⁻¹) ekstrakt, ilaç ve ekstrakt-ilaç kombinasyonları eklendi. %5 CO₂ içeren 37° C'lik inkübatörde 48 saat inkübe edildi. İnkübasyondan sonra her kuyucuğa 10 µl MTT (10 mg/ml) solüsyonu eklendi. %5 CO₂ içeren etüvde 37 °C'de 3 saat inkübe edildi. İnkübasyon sonunda kuyucuklara 100 µl dimetilsülfoksit (DMSO) ilave edildi ve plakalar 30 dakika karanlıkta tutuldu [13]. Hücre canlılık analizi 570 nm dalga boyunda ölçüldü. Her deney grubu üç kez tekrarlandı ve ortalaması alındı. Hücre canlılık analizi eşitlik 1 kullanılarak elde edildi ve veri grafikleri oluşturuldu.

$$\text{Hücre Canlılığı (\%)} = \left(\frac{\text{Örnek absorbanı}}{\text{Kontrol absorbanı}} \right) * 100 \quad (1)$$

2.5 İstatistiksel Analiz

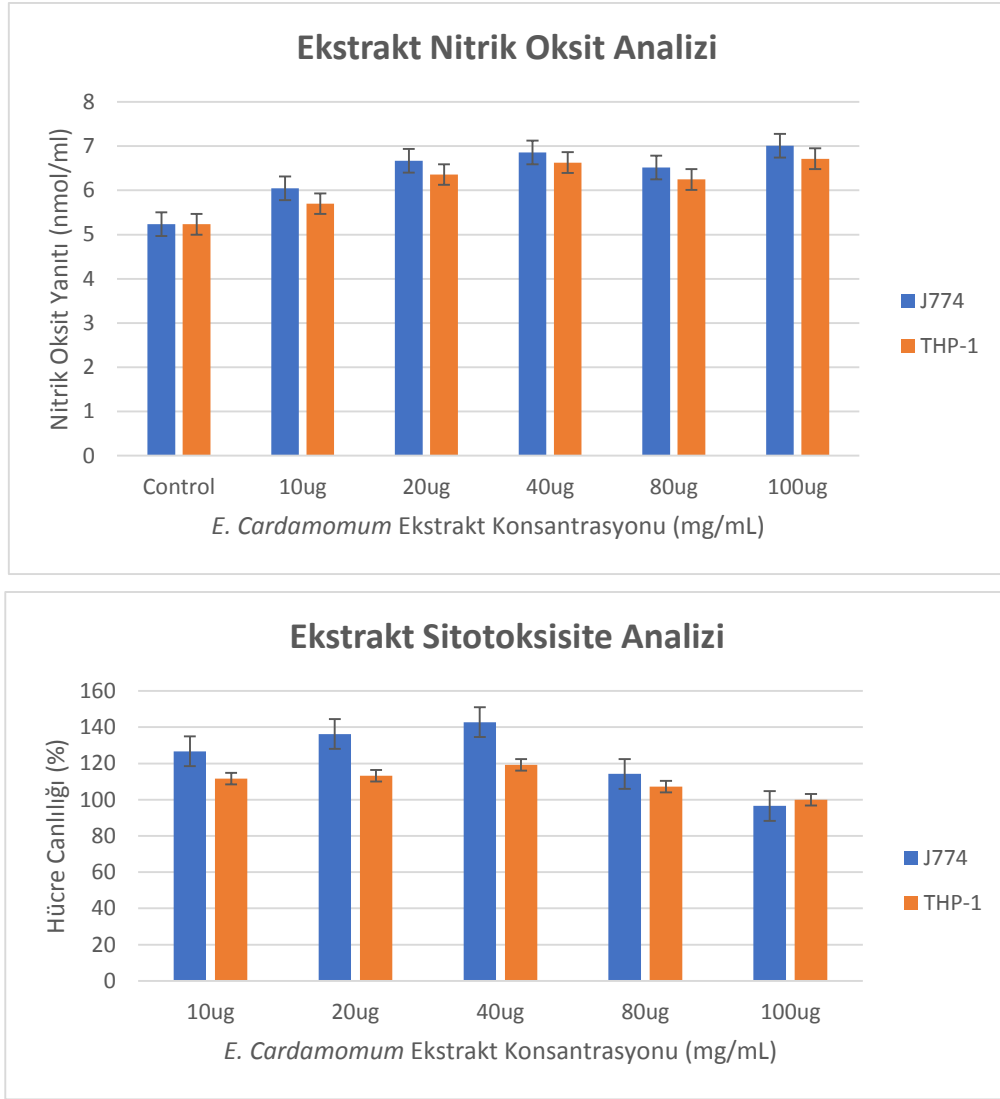
Çalışmadan elde edilen veriler IBM SPSS 25.0 (IBM Corporation, Armonk, NY, ABD) paket programında analiz edilmiştir. Gruplar arası karşılaştırmalar tek yönlü varyans analizi Tek Yönlü ANOVA testi ile yapılmıştır. Sonuçlar ortalama±standart sapma (Ortalama±SD) olarak verildi ve istatistiksel anlamlılık $p<0,05$ olarak kabul edildi.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bitkilerdeki ikincil metabolitler, fenolik asitler, flavonoidler, tanenler, kinonlar, antosiyaninler gibi birçok aktif bileşiğin kanser yolaklarını baskıladığı ve kanserin önlenmesinde etkili olduğu bilinmektedir [14]. Yapılan çalışmada *E. Cardamomum* bitkisinden maserasyon yöntemi kullanılarak ekstrakt hazırlanmıştır. Hazırlanan ekstraktın mide kanseri tedavisinde kullanılabilirliğinin belirlenmesi için J774 ve THP-1 makrofaj hücre hatları üzerinde immünoestimulan etkinliği ve sitotoksik etkisi incelenmiştir. Ayrıca ekstraktın ve ekstrakt-ilaç kombinasyonunun AGS mide kanseri hücre hattı üzerindeki öldürme etkileri incelenmiştir. Bu çalışmada mide kanseri tedavisinde uygulama potansiyeli en uygun olan ekstrakt-ilaç formülasyonu in vivo çalışmalarda kullanılmak üzere belirlenmiştir. En uygun ekstrakt-ilaç formülasyonunu belirlemek için öncelikle en uygun ekstrakt konsantrasyonları belirlenmiş. Belirlenen en uygun ekstrakt konsantrasyonu ile ilaç konsantrasyonları denenmiştir.

Şekillerde gösterilen hücrelerin canlılık yüzdeleri, pozitif kontrol grubunun değeri %100 olarak kabul edildiğinde, diğer gruplarda basit oran hesabı ile elde edilen % değeridir ve canlı hücre oranını belirtmektedir. MTT testi sonuçlarına göre hücre canlılığı 48. saatin sonundaki bütün gruplar arasında % hücre canlılığı üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır.

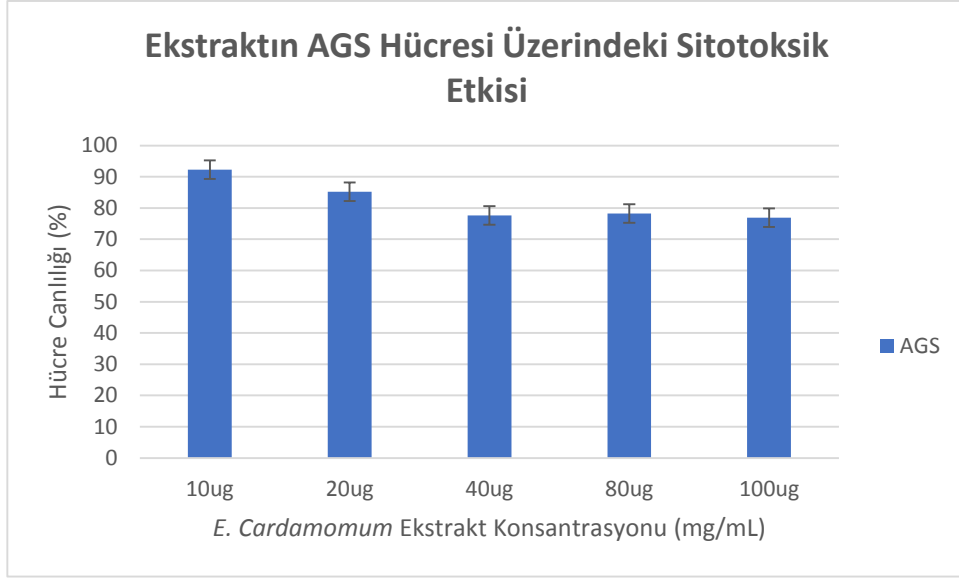
Ekstrakt ile muamele edilen J774 ve THP-1 hücre hatlarının immünoestimulan etkinliği ve sitotoksitelerine bağlı olarak canlılık analizi Şekil 1’de gösterilmiştir. Yapılan çalışmada kakule ekstraktının en yüksek öldürme etkinliği $100 \mu\text{g ml}^{-1}$ konsantrasyonda olmaktadır. Fakat bu konsantrasyon J774 ve THP-1 hücrelerine uygulandığında diğer konsantrasyonlara göre sitotoksik etki gösterdiği için değerlendirilmemiştir. Elde edilen sonuçlar literatür bilgileri ile tutarlıdır. Kakule ekstraktının $100 \mu\text{g ml}^{-1}$ ’den sonra en yüksek immünoestimulan etkinliği $40 \mu\text{g ml}^{-1}$ konsantrasyonda olmaktadır. Kakule ekstraktının $40 \mu\text{g ml}^{-1}$ konsantrasyonda J774 hücrelerine muamelesindeki en yüksek immünoestimulan etkinlik $6,86 \text{ nmol ml}^{-1}$ ($p<0,05$), THP-1 hücresine muamelesindeki en yüksek immünoestimulan etkinlik ise $6,628 \text{ nmol ml}^{-1}$ ’dir ($p<0,05$). Yapılan çalışmada $40 \mu\text{g ml}^{-1}$ konsantrasyondaki kakule ekstraktının sitotoksik etkisinde J774 hücrelerinde %142,76 canlılık tespit edilirken THP-1 hücrelerinde ise %119,16 canlılık tespit edilmiştir.



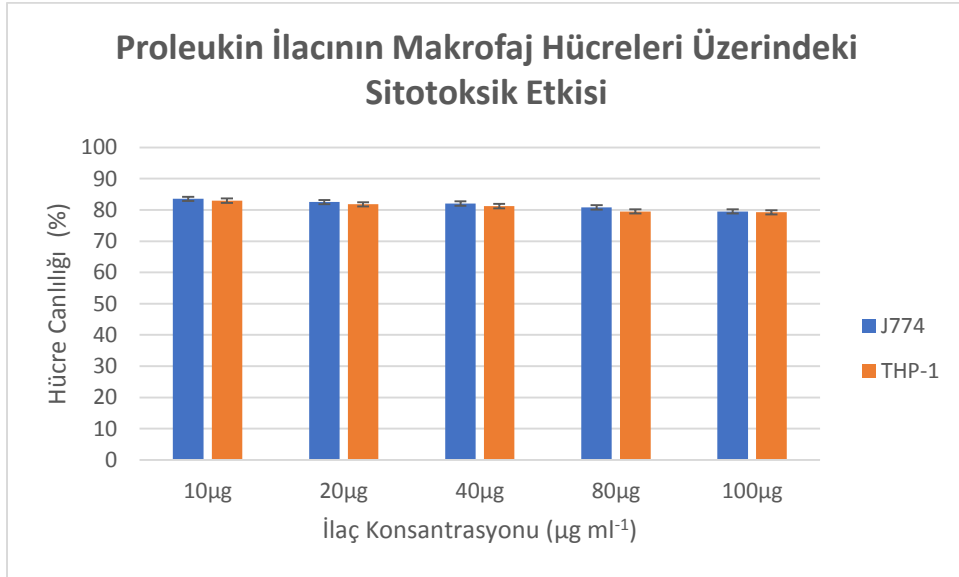
Şekil 1. Ekstraktın J774 ve THP-1 hücre hattında immünoestimulan ve sitotoksik etkisi

Kakulede bulunan fitokimyasalların mide kanserindeki hormon aktivitelerinin düzenlenmesinde etkili olduğu bilinmektedir [15]. Kakule ekstraktı ile muamele edilen mide kanseri hücre hattının canlılık analizi Şekil 2’de gösterilmiştir. Yapılan çalışmada, kakule ekstraktının AGS mide kanseri hücre hattına muamelesi sonucunda mide kanseri hücrelerinin canlılıklarında azalma görülmektedir. AGS hücresine, 40 $\mu\text{g ml}^{-1}$ konsantrasyondaki kakule ekstraktı uygulandığında %77,59 canlılık tespit edilmiştir.

Yapılan çalışmada proleukin ilacı ile muamele edilen J774 ve THP-1 makrofaj hücre hatlarının canlılık analizi Şekil 3’te gösterilmiştir. Yapılan çalışmada 40 $\mu\text{g ml}^{-1}$ konsantrasyondaki proleukin ilacının sitotoksik etkisinde J774 hücrelerinde %82,05 canlılık tespit edilirken THP-1 hücrelerinde ise %81,26 canlılık tespit edilmiştir.

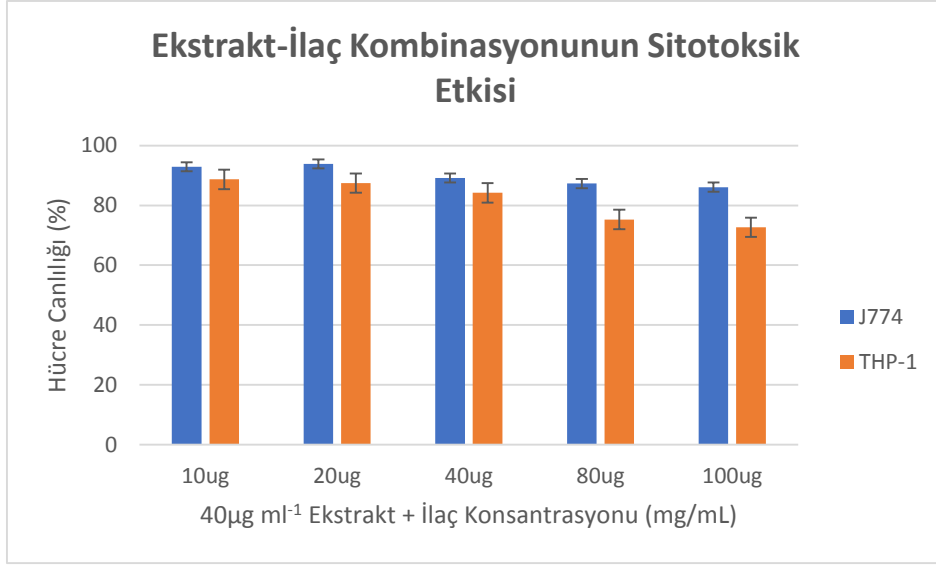


Şekil 2. Ekstrakt ile muamele edilen mide kanseri hücre hattının sitotoksikite analizi



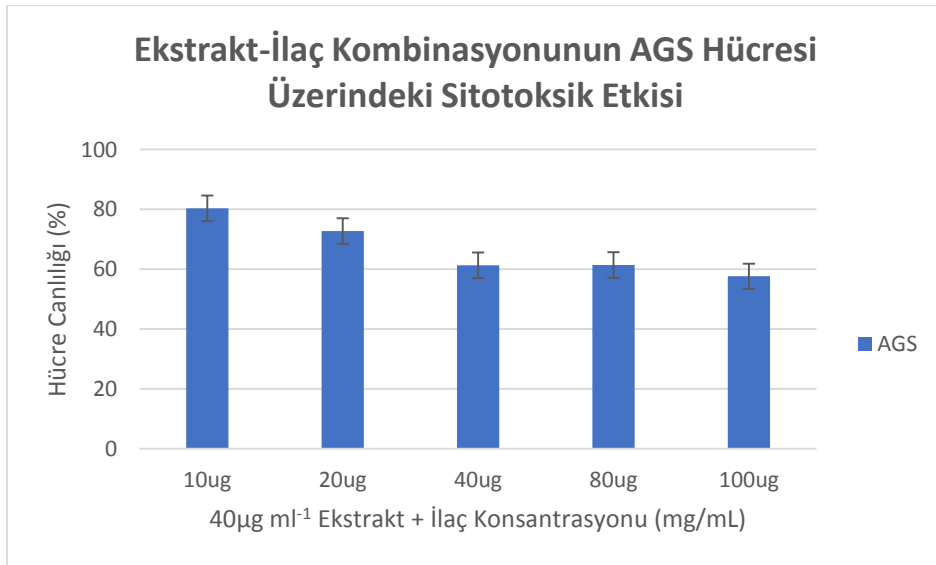
Şekil 3. Proleukin ilacının J774 ve THP-1 hücre hatları üzerindeki sitotoksik etkisi

Bu çalışmada, kakule ekstraktının immünostimulan etkinliği 40 µg ml⁻¹ konsantrasyonda en yüksek olduğu için ilaç kombinasyonları bu konsantrasyon ile uygulanmıştır. Kakule ekstraktının proleukin ilacı ile kombinasyonunun J774 ve THP-1 hücre kültürü sistemlerinde sitotoksik etkinliği Şekil 4'te gösterilmiştir. 40 µg ml⁻¹ ekstrakt-40 µg ml⁻¹ proleukin ilacının J774 ile muamelesinde %89,17 canlılık tespit edilirken 40 µg ml⁻¹ ekstrakt-40 µg ml⁻¹ proleukin ilacının THP-1 ile muamelesinde ise %84,2 canlılık tespit edilmiştir.



Şekil 4. 40 µg ml⁻¹ ekstrakt ve ilaç kombinasyonları ile muamele edilen J774 ve THP-1 hücre hatlarındaki sitotoksosite etkinliği

Mide kanseri tedavisinde kullanılan ilaçlar kanser hücrelerinin öldürülmesini sağlamaktadır. Fakat ilaçların tek başına kullanımlarının sitotoksik etki oluşturmaları ve istenilen etkinlik düzeyinde olmamaları gibi dezavantajları vardır. Son yıllarda yapılan çalışmalarla kanser ilaçlarının bitkisel ekstraktlarla kombinasyonlarının, kanser ilaçlarının toksisitelerini azaltmak ve terapötik etkilerini artırmak için önemli olduğu anlaşılmıştır [16]. Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar bu bilgiyi desteklemektedir. Şekil 5'te, ekstrakt-ilaç kombinasyonunun mide kanseri hücre hattı üzerindeki sitotoksik etkileri gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre 40 µg ml⁻¹ ekstrakt-40 µg ml⁻¹ proleukin ilacının kullanıldığı kombinasyonun sitotoksosite analizinde %61,31 canlılık tespit edilmiştir.



Şekil 5. 40µg ml⁻¹ ekstrakt ve ilaç kombinasyonları ile muamele edilen mide kanseri hücre hatlarının sitotoksitesisi analizleri

4. SONUÇLAR

Kanser tedavisinde kemoterapi, radyoterapi gibi birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler kanser hücrelerini öldürmekle birlikte sağlıklı hücrelere de zarar verdiği için toksik etki oluşturmayan tedavi yöntemleri kanserde kullanılmaktadır. Bundan dolayı tamamlayıcı tıp ya da alternatif tıp yöntemleri popüler bir araştırma konusu haline gelmeye başlamıştır. Kanser çalışmalarında Zencefil, yeşil çay, sarımsak, kurkumin ve kakule gibi bitkilerden elde edilen ekstraktlar kullanılmaktadır. Bu bitkilerden elde edilen ekstraktlarda ikincil metabolitler, fenolik asitler, flavonoidler, tanenler, kinonlar, antosiyaninler gibi birçok aktif bileşik bulunmaktadır. Bu aktif bileşikler kanserin engellenmesinde etkili olmaktadır.

Kanser tedavisinde bitkisel ajanlar kullanılarak etkili sonuçlar elde edilmiştir. Aynı zamanda bitkisel ajanlar ile kanser ajanları kullanılarak antikanser ajanlarının tedavi edici etkilerini artırdığı ve onların sitotoksik etkisini azalttığı belirlenmiştir.

DIM ve I3C gibi birincil ve ikincil metabolitler hormon yollarına etki ederek hormon aktivitelerinin düzenlenmesini sağlayarak kanser tedavilerinde etkili olmaktadır. Bu metabolitler *E. Cardamomum* bitki ekstraktında bulunmakta ve kanser tedavilerinde etkili olmaktadır.

Yapılan çalışmada, kakule bitkisi ekstraktı maserasyon yöntemiyle elde edilmiştir. Elde edilen kakule ekstraktı hücreler üzerinde kullanılarak immünoestimulan etkinliği ve sitotoksik etkisi incelenmiştir. Kakule ekstraktının J774 ve THP-1 makrofaj hücrelerinde yapılan sitotoksikite çalışmalarında sitotoksik etkisinin olmadığı belirlenmiştir. 10 ml⁻¹, 20 ml⁻¹, 40 ml⁻¹, 80 µg ml⁻¹ konsantrasyonlarda kakule ekstraktı J774 ve THP-1 makrofaj hücrelerine uygulandığında canlılığın arttığı gözlenmiştir. 100 µg ml⁻¹ konsantrasyonda ise kakule ekstraktının düşük de olsa sitotoksik etkisi tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlarda J774 ve THP-1 hücrelerine uygulanan kakule ekstrakt konsantrasyonlarında en ideal konsantrasyonun immünoestimulan etkinliklerin ve sitotoksik etkilerine bakıldığında 40 µg ml⁻¹ konsantrasyon olduğu belirlenmiştir.

Mide kanseri hücresi olan AGS hücre hattında uygulanan 40 µg ml⁻¹ kakule ekstraktı konsantrasyonu tek başına öldürme etkisine sahip olsa da bu oranın düşük olduğunu gözlenmiştir. Bundan dolayı kakule ekstraktı ve kanser tedavilerinde kullanılan proleukin ilacı kombinasyonu kanser hücrelerinin ölüm oranını arttırmak için kullanılmak istenmiştir.

Kakule ekstraktının proleukin ilacı kombinasyonu ile kullanıldığında yüksek oranda öldürme etkisinin olduğu belirlenmiştir. Kakule ekstraktının proleukin ilacı ile kombinasyonunda mide kanseri hücre hattı üzerinde en yüksek sitotoksik etkiyi 40 µg ml⁻¹ ekstrakt-100 µg ml⁻¹ proleukin konsantrasyonu sağlamaktadır. Fakat bu konsantrasyonlarda J774 ve THP-1 hücrelerinde sitotoksik etki

gösterdiklerinden en uygun ekstrakt-proleukin ilacı kombinasyonunun $40 \mu\text{g ml}^{-1}$ ekstrakt- $40 \mu\text{g ml}^{-1}$ proleukin konsantrasyonu olduğu belirlenmiştir. Bu konsantrasyonun sitotoksikite analizinde AGS hücrelerinde %61,31 canlılık tespit edilmiştir. Bunun nedeni, kakule özündeki I3C-DIM moleküllerinin sinyal yollarını baskılayarak hücreyi apoptoza yönlendirmesi ve proleukin ilacının mide kanseri hücrelerinin büyümesini ve proliferasyonu bloke etmesi olduğu düşünülmektedir [17].

Yapılan çalışmada kakule bitkisinden elde edilen ekstrakt J774 ve THP-1 makrofaj hücre hatları üzerinde toksik etki göstermemiştir. Ayrıca kakule ekstraktının AGS mide kanseri hücre hattı üzerinde öldürme etkisinin olduğu belirlenmiştir. Fakat mide kanseri tedavisi için bu öldürme etkisi düşük olduğundan dolayı yapılan çalışmada ekstrakt-ilaç kombinasyonu kullanılmıştır. Yapılan çalışmada Antikanser özellikte olan ve toksik etki göstermediği için kullanılan kakule ekstraktının tek başına kullanıldığında mide kanseri hücreleri üzerinde etkili sonuçlar vermese de proleukin ilacı ile birlikte kullanıldığında etkili sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Bu bilgiler ışığında mide kanseri tedavisinde kullanılmak üzere kakule ekstraktı-proleukin ilacı kombinasyonu yaklaşımının etkili olabileceği ve *in vivo* çalışmalarda denenerek mide kanseri tedavisinde yeni bir ilaç formülasyonu olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını bildirmektedirler.

ETİK BEYANI

Bu çalışmada, yazarlar “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamındaki tüm kurallara uyduklarını, ilgili yönergenin “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler” olarak belirtilen başlığı altındaki eylemlerden hiçbirini gerçekleştirmediklerini taahhüt ederler.

YAZARLARIN KATKILARI

Yağmur HAMURCI: Kavramsallaştırma, metodoloji, doğrulama, analiz, yazma-inceleme ve düzenleme, veri toplama, verinin düzenlenmesi, görselleştirme. Murat IHLAMUR: Yazma-inceleme ve düzenleme, gözetim ve liderlik sorumluluğu, inceleme, doğrulama. Yağmur ZENGİN: Doğrulama, veri toplama, verinin düzenlenmesi, görselleştirme.

KAYNAKLAR

- [1] T. A. Baudino, "Targeted Cancer Therapy: The Next Generation of Cancer Treatment", *Current Drug Discovery Technologies*, vol. 12, no. 1, pp. 3-20, 2015.
- [2] S. S. Joshi, B. D. Badgwell, "Current treatment and recent progress in gastric cancer", *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, vol. 71, no. 3, pp. 264-279, 2021.
- [3] E. C. Smyth, M. Nilsson, H. I. Grabsch, N. C. van Grieken, F. Lordick, "Gastric cancer", *Lancet*, vol. 396, no. 10251, pp. 635-648, 2020.
- [4] W. Wang, H. S. Luo, "Reversal of chemoresistance to vincristine in gastric cancer cells by NF-kappaB inhibitor", *Zhonghua Zhong Liu Za Zhi*, vol. 27, no. 6, pp. 335-8, 2005.
- [5] M. Schmidinger, M. Hejna, C. C. Zielinski, "Aldesleukin in advanced renal cell carcinoma", *Expert Review of Anticancer Therapy*, vol. 4, no. 6, pp. 957-80, 2004.
- [6] C. Sibertin-Blanc, J. Ciccolini, E. Norguet, B. Lacarelle, L. Dahan, J. F. Seitz, "Monoclonal antibodies for treating gastric cancer: promises and pitfalls", *Expert Opinion on Biological Therapy*, vol. 16, no. 6, pp. 759-69, 2016.
- [7] S. Goyal, N. Gupta, S. Chatterjee, S. Nimesh, "Natural Plant Extracts as Potential Therapeutic Agents for the Treatment of Cancer", *Current Topics in Medicinal Chemistry*, vol. 17, no. 2, pp. 96-106, 2017.
- [8] G. R. Cárdenas Garza, J. H. Elizondo Luévano, A. F. Bazaldúa Rodríguez, A. Chávez Montes, R. A. Pérez Hernández, A. J. Martínez Delgado, O. E. Rodríguez Luis, "enefits of Cardamom (*Elettaria cardamomum* (L.) Maton) and Turmeric (*Curcuma longa* L.) Extracts for Their Applications as Natural Anti-Inflammatory Adjuvants", *Plants*, vol.10, no. 9, pp. 1908, 2021.
- [9] S. M. Jump, J. Kung, R. Staub, M. A. Kinseth, E. J. Cram, L. N. Yudina, G. L. Firestone, "N-Alkoxy derivatization of indole-3-carbinol increases the efficacy of the G1 cell cycle arrest and of I3C-specific regulation of cell cycle gene transcription and activity in human breast cancer cells", *Biochemical Pharmacology*, vol. 75, no. 3, pp. 713-724, 2008.
- [10] Q. W. Zhang, L. G. Lin, W. C. Ye, "Techniques for extraction and isolation of natural products: a comprehensive review", *Chinese Medical*, vol. 13, pp. 20, 2018.
- [11] M. Ihlamur, B. Akgül, E. S. Abamor, "Farklı hücre hatlarında besiyeri ve FBS'in hücre proliferasyonu üzerindeki etkilerinin incelenmesi", *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, vol. 17, pp. 55-64, 2022.
- [12] I. Guevara, J. Iwanejko, A. Dembińska-Kieć, J. Pankiewicz, A. Wanat, P. Anna, A. Szczudlik, "Determination of nitrite/nitrate in human biological material by the simple Griess reaction", *Clinica Chimica Acta*, vol. 274, no. 2, pp. 177-188, 1998.
- [13] M. Ihlamur, H. Başarı, Y. Zengin E. S. Abamor, "Evaluation of immunostimulant/cytotoxic activity of human breast cancer prepared by different antigen preparation methods with adjuvants combination", *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, vol. 17, pp. 96-110, 2022.
- [14] G. M. Cragg, J. M. Pezzuto, "Natural Products as a Vital Source for the Discovery of Cancer Chemotherapeutic and Chemopreventive Agents", *Medical principles and practice: international journal of the Kuwait University, Health Science Centre*, vol. 25, Suppl 2, pp. 41-59, 2016.
- [15] B. B. Aggarwal, H. Ichikawa, "Molecular targets and anticancer potential of indole-3-carbinol and its derivatives", *Cell Cycle*, vol. 4, no. 9, pp. 1201-15, 2005.

- [16] S. Qiblawi, A. Kausar, S. Shahid, M. Saeed, A. Alazzeah, "Therapeutic Interventions of Cardamom in Cancer and Other Human Diseases", *Journal of Pharmaceutical Research International*, vol. 32, pp. 74-78, 2020.
- [17] C. A. Thomson, E. Ho, M. B. Strom, "Chemopreventive properties of 3,3'-diindolylmethane in breast cancer: evidence from experimental and human studies", *Nutrition reviews*, vol. 74, no. 7, pp. 432-443, 2016.

Copyright © 2022 Hamurci, Ihlamur and Zengin. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY 4.0).



Araştırma Makalesi / Research Article

Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri Bağ Alanlarında Fitoplazma Hastalıklarının Durumu


Current Status of Phytoplasma Diseases in the Vineyards of Eastern and Southeastern Anatolia Regions

Osman ÇİFTÇİ¹ , Deniz ÇAPLIK² , Şahimerdan TÜRKÖLMEZ³ ,
Feyzullah YILMAZ^{4,*} , Behzat GÜLER⁵ 

^{1,2,4} Diyarbakır Ziraî Mücadele Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, 21110, Diyarbakır, Türkiye

³ GAP Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, 63040, Şanlıurfa, Türkiye

⁵ Van Gıda Kontrol Laboratuvar Müdürlüğü, 65100, Van, Türkiye

 <https://doi.org/10.55007/dufed.1102809>

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihi

Alınış, 13 Nisan 2022

Revize, 08 Temmuz 2022

Kabul, 20 Temmuz 2022

Online Yayınlama, 01 Ekim 2022

Anahtar Kelimeler

Bağ, *Ca. Phytoplasma solani*,
Sörvey, qPCR, Nested qPCR

ÖZ

Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yer alan Adıyaman, Batman, Elazığ, Malatya, Mardin, Şanlıurfa ve Diyarbakır illerindeki bağ alanlarında fitoplazma hastalık etmenlerinin durumlarını belirlemek için 2013-2021 yılları arasında sörveyler gerçekleştirilmiştir. Güdümlü örnekleme yöntemine göre yapılan bu sörveyler sonucu 1110 bitki örneği toplanmıştır. Fitoplazma varlığını belirlemek amacıyla toplanan örneklerin Gerçek Zamanlı Polimeraz Zincir Reaksiyonu (qPCR) analizi ile hızlı teşhisleri gerçekleştirilmiştir. qPCR analizi sonucunda biri Elazığ diğeri ise Mardin ilinde olmak üzere toplam 2 örnekte fitoplazma etmeni tespit edilmiştir. Tespit edilen pozitif örneklerin teşhisleri için R16mF2/R16mR1 ve R16F2n/R16R2 universal primerlerinin kullanıldığı Yuvalanmış Gerçek Zamanlı Polimeraz Zincir Reaksiyonu (Nested qPCR) analizleri gerçekleştirilmiş ve 1.25 kb boyutunda bantlar elde edilmiştir. Fitoplazma örneklerinin 16S rDNA bölgesinden elde edilen 1.25 kb'lik amplifikasyon ürünlerine BLAST ve sanal RFLP analizleri uygulanmıştır. Bu analizler ile doğrulanan 2 pozitif örnekte '*Candidatus Phytoplasma solani*' (16Sr group XII, subgroup A)'nin varlığı belirlenmiştir (OM212474 ve OM909048). Fitoplazma izolatlarına ait 16S rDNA dizilerinin BLAST karşılaştırmasında dünyadaki diğeri fitoplazma izolatları ile %99-100 arasında benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir.

*Sorumlu Yazar

E-posta Adresleri: osman.ciftci@tarimorman.gov.tr (Osman ÇİFTÇİ), deniz.caplik@tarimorman.gov.tr (Deniz ÇAPLIK), sahimerdan.turkolmez@tarimorman.gov.tr (Şahimerdan TÜRKÖLMEZ),
feyzullah.yilmaz@tarimorman.gov.tr (Feyzullah YILMAZ), behzat.guler@tarimorman.gov.tr (Behzat GÜLER)

ARTICLE INFO

Article History

Received, 13 April 2022

Revised, 08 July 2022

Accepted, 20 July 2022

Available Online, 01 November 2022

Keywords

Vineyard, Ca. *Phytoplasma solani*,
Survey, qPCR, Nested qPCR

ABSTRACT

Surveys were carried out between 2013-2021 to determine the status of phytoplasma agents in the vineyard areas of Adıyaman, Batman, Elazığ, Malatya, Mardin, Şanlıurfa and Diyarbakır provinces located in the Eastern and Southeastern Anatolia Regions. As a result of the surveys carried out according to the guided sampling method, a total of 1110 plant samples were collected. Rapid diagnosis of the collected samples was performed by Real Time Polymerase Chain Reaction (qPCR) analysis to determine the presence of the associated phytoplasma. Based on qPCR analysis, phytoplasma was detected in 2 samples, one in a sample from Elazığ and the other in a sample from Mardin. Nested Real Time Polymerase Chain Reaction (Nested qPCR) analyzes were performed using the universal primers R16mF2/R16mR1 and R16F2n/R16R2 for the identification of the detected positive samples and bands of 1.25 kb were obtained. BLAST and virtual RFLP analyzes were applied to the 1.25 kb amplification products obtained from the 16S rDNA region of the phytoplasma samples. BLAST analysis of the 16SrDNA sequences and virtual computer-simulated restriction fragment length polymorphism (virtual RFLP) analyses confirmed the presence of '*Candidatus* Phytoplasma solani' (16Sr group XII, subgroup A) in 2 grapevine samples (OM212474 ve OM909048). In the BLAST comparison of 16S rDNA sequences of phytoplasma isolates, it was determined that there was a 99-100% similarity with other phytoplasma isolates in the world.

1. GİRİŞ

Asma (*Vitis vinifera*)'nın genetik merkezi konumunda olan Asya ve Akdeniz iklim kuşağında yer alan ülkemiz, büyük bir asma genetik çeşitliliğine sahiptir [1,2]. Uygun iklim koşulları nedeniyle ülkemizde üzüm yetiştiriciliği M.Ö. 3500 yıllarına dayanmakta [3] ve günümüzde 400.998 ha alanda 4.208.908 ton üretimle önemli bir üzüm üreticisi konumundadır [4]. Çalışmanın yürütüldüğü illerde bağcılık önemli bir gelir getirici faaliyet olarak yapılmakta olup, 865.982 da alanda 1.307.669 ton üzüm yetiştirilmektedir [5].

Yetiştiriciliği yapılan tüm kültür bitkilerinde olduğu gibi, bağcılık yapılan alanlarda da birçok hastalık etmeni mevcut olup üretim bu etmenler nedeniyle sınırlanabilmektedir. Bu etmenler arasında fitoplazma etmenleri de önemli yer teşkil etmektedir. Hücre duvarı bulunmayan, sadece floemle sınırlı, vektörlerle yayılan fitoplazmalar kültüre alınamayan bakteriyel mikroorganizmalardır [6]. Fitoplazma etmenlerinin neden olduğu kayıpların yıldan yıla arttığı ve ciddi boyutlara ulaştığı belirtilmektedir [7]. Geniş bir konukçu aralığına sahip bu etmenlerin Dünya'da 1000 farklı bitki türünü hastalandırdığı bildirilmiştir [8]. Fitoplazmalar konukçusu olduğu bitkilerde farklı semptomlara neden olabilmektedir. Bunlar arasında bodurluk, bitki gelişiminde sorunlar, kloroz, çoklu sürgün oluşumu, mevsiminden önce veya sonra açan yaprak oluşumu, kızarıklıklar gibi belirtiler sayılabilir [9].

Bu çalışma ile Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinin yoğun olarak bağcılık yapılan 7 ilinde 2013-2021 yılları arasında arazi çalışmaları yürütülmüş ve fitoplazma etmenlerinin varlığı açısından durumları ortaya konulmuştur.

2. MATERYAL VE METOT

2.1 Arazi Çalışmaları

2013-2021 yılları arasında Adıyaman, Batman, Elazığ, Malatya, Mardin, Şanlıurfa ve Diyarbakır illeri bağ alanlarında ağustos-kasım ayları arasında sürveyler yapılmıştır. GÜdümlü örnekleme yöntemine [10] göre yapılan sürveylerde mevcut üretim alanlarının en az %1'i incelenmiş ve alınan şüpheli örnekler etiketlenerek uygun koşullarda laboratuvara getirilmiştir.

2.2 DNA İzolasyon Çalışması

Laboratuvara getirilen yaprak ve sürgün örneklerinden DNA izolasyonu Qiagen DNeasy Plant Mini Kit (Qiagen, 69104) kullanılarak yapılmıştır [11]. Elde edilen total DNA'lar testler yapıncaya kadar -20 °C'de muhafaza edilmiştir.

2.3 qPCR Analizleri

Arazi çalışmaları kapsamında alınan bağ örneklerinin qPCR ile analiz çalışmaları [12]'nin metoduna göre yapılmıştır. Bu metoda göre toplam hacim 25 µl olacak şekilde 12.5 µl ITaq Universal Probe Supermix (Bio-rad, 172-5130), 0.75 µl phytoplasma F (10 pmol) primeri, 2.25 µl phytoplasma R (10 pmol) primeri, 0.75 µl phytoplasma probe (2.5 pmol), 6.25 µl su ve 2.5 µl DNA kullanılmıştır. qPCR aşamaları 50 °C'de 2 dk, 95 °C'de 10 dk ve 45 döngü boyunca 95 °C'de 15 sn, 60 °C'de 60 sn olacak şekilde yapılmıştır. Fitoplazma etmenlerinin teşhisi için yapılan qPCR analizinde Ct değeri 40'ın altında olan örnekler pozitif olarak kabul edilmiştir. qPCR analizinde kullanılan primer ve prob bilgileri Tablo 1'de verilmiştir.

2.4 Nested qPCR Analizleri

qPCR analizleri sonucu fitoplazma etmenleri ile enfekteli olduğu tespit edilen bağ örnekleri SYBR Green boyası kullanılarak Nested qPCR yöntemi ile analiz edilmiştir [12]. Bu metoda göre birinci aşama Nested qPCR için toplam hacim 20 µl olacak şekilde 10 µl SYBR® Green Master Mix (Bio-rad, 172-5120), 0.4 µl R16mF2 primer (10 pmol), 0.4 µl R16mR1 primer (10 pmol), 7.2 µl su ve 2 µl DNA kullanılmıştır. İkinci aşama Nested qPCR için ise toplam hacim 20 µl olacak şekilde 10 µl SYBR® Green Master Mix, 0.4 µl R16F2n primer (10 pmol), 0.4 µl R16R2 primer (10 pmol), 7.2 µl su ve 2 µl

($1/50$ oranında sulandırılmış) DNA kullanılmıştır. Nested qPCR çalışmalarında kullanılan döngüler; 95 °C'de 5 dk, 40 döngü boyunca 95 °C'de 40 sn, 55 °C'de 60 sn, 72 °C'de 90 sn ve final de 72 °C'de 5 dk olacak şekilde yapılmıştır. Nested qPCR analizinde kullanılan primerlere ait bilgiler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. qPCR ve Nested qPCR çalışmalarında kullanılan primer ve prob bilgileri

	Primer adı	Dizilimi	Baz Uzunluğu	Referans
qPCR	Phytoplasma F	5'-CGTACGCAAGTATGAAACTTAAAGGA-3'		
	Phytoplasma R	5'-TCTTCGAATTAACAACATGATCCA-3'	75 bp	[12]
	Phytoplasma Probe	5'-FAM-TGAAGGGACTCCGCACAAGCG-TAMRA-3'		
1. Nested	R16mF2	5'-CATGCAAGTCGAACGGA-3'	1.80 kb	[13]
	R16mR1	5'-CTTAACCCCAATCATCGAC-3'		
2. Nested	R16F2n	5'-GAAACGACTGCTAAGACTGG-3'	1.25 kb	
	R16R2	5'-TGACGGGCGGTGTGTACAAACCCCG-3'		

2.5 Agaroz jel elektroforez

Nested qPCR sonrası %1.2'lik agaroz jele (Prona agarose, 084518PF) yükleme boyası (6X DNA loading dye, Thermo Scientific) kullanılarak; 100 bp DNA ladder (Vivantis, 020020-500), pozitif örnek olarak '*Ca. P. solani*' (Loewe, 08004PC), su kontrol ve 20 µl PCR ürünü yüklenerek, 100 volt'ta 70 dk süre ile yürütülmüştür. Daha sonra jel 10 dk EtBr ile boyanmış ve jel görüntüleme sisteminde bant profilleri incelenmiştir. Pozitif örnekler steril bistüri ile kesilerek 1.5 ml'lik steril tüplere aktarılmış ve sekans analizleri için ilgili firmaya gönderilmiştir.

2.6 DNA Sekans Analizi

Pozitif sonuç veren örneklerden elde edilen Nested qPCR ürünlerinin sekans analizleri MedSantek firmasına yaptırılmıştır. Elde edilen sekans verileri Geneious (Yeni Zelanda, R6) programı kullanılarak analiz edilmiş ve National Center for Biotechnology Information (NCBI) veri tabanında BLAST yapılarak kontrol edilmiştir.

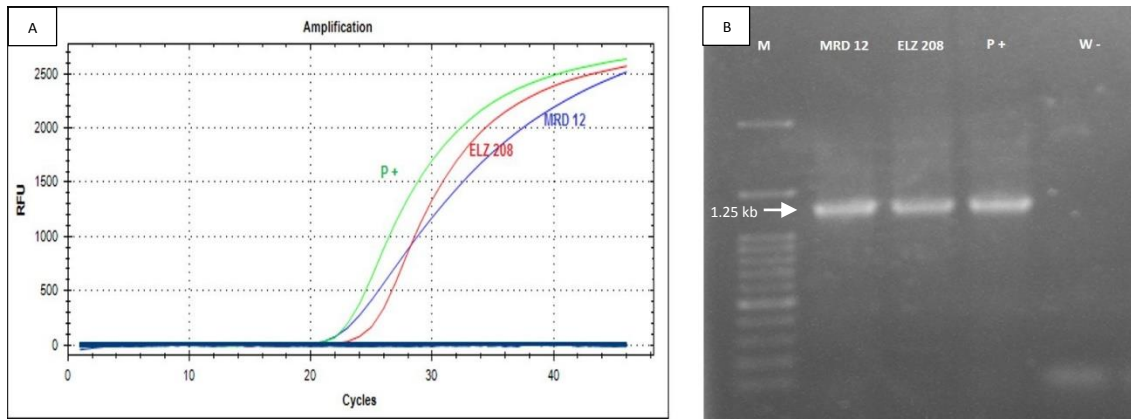
3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgesi bağ alanlarındaki fitoplazma etmenlerini belirlemek için yaprak kıvrılması, bodurlaşma, yapraklarda sararma ve morarma gibi belirti gösteren/göstermeyen 1110 bitkiden örnek toplanmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Bağ alanlarında fitoplazma simptomsu gösteren örnekler

Fitoplazma varlığını belirlemek amacıyla bağ örneklerinden izole edilen toplam DNA'lara qPCR analizi uygulanmıştır. Yapılan bu analizlerde pozitif kontrol olarak '*Ca. P. solani*' etmeni kullanılırken, negatif olarak su kontrol kullanılmıştır. Testlenen 1110 asma örneğinden 2'sinin fitoplazma ile bulaşık olduğu tespit edilmiştir. Fitoplazma ile bulaşık olduğu belirlenen asma örnekleri Nested qPCR yöntemi ile testlenmiş ve jel elektroforezde koşturulmuştur. Yapılan analiz sonucunda su kontrolde herhangi bir bant oluşmazken, pozitif kontrol ile birlikte qPCR ve Nested qPCR ile pozitif olduğu belirlenen 2 örnekte 1.25 kb boyutunda DNA bandı oluşturmuştur (Şekil 2).



Şekil 2. A) qPCR amplifikasyon eğrisi B) Nested qPCR sonucu pozitif bulunan örneklerin jel görüntüsü W-: Su kontrol, M: DNA 100 bp ladder, MRD 12: Pozitif bulunan örnek, ELZ 208: Pozitif bulunan örnek P+: Pozitif kontrol

Testlenen 1110 asma örneğinden sadece Elazığ ve Mardin illerinden 1'er örnekte fitoplazma etmeni tespit edilmiştir. Adıyaman, Batman, Malatya, Şanlıurfa ve Diyarbakır illerinden alınan asma örneklerinde ise fitoplazma etmeni tespit edilmemiştir (Tablo 2).

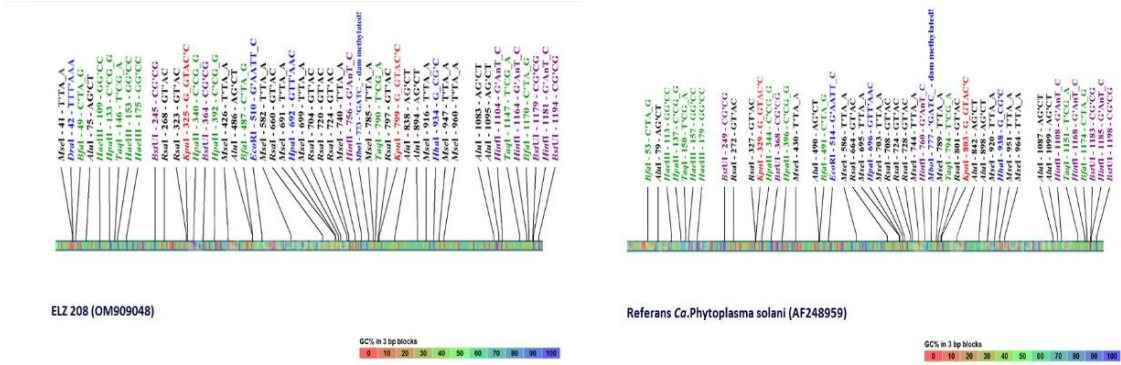
Tablo 2. Sörveylerin yapıldığı iller, alınan örnek sayıları, tespit edilen enfekteli bitki sayısı ve bulunma oranları

İller	İlçeler	Alınan örnek sayısı, tespit edilen fitoplazma sayısı ve oranı			
		İlçe düzeyinde alınan örnek sayıları	İl düzeyinde alınan örnek sayıları	Hastalıklı bitki sayısı	Fitoplazma Bulunma oranı %
Adıyaman	Merkez	8			
	Besni	29			
	Gölbaşı	6	55		
	Samsat	8			
	Kahta	4			
Batman	Merkez	3	14		
	Gercüş	11			
Elazığ	Merkez	142		1	0.45
	Sivrice	26	222		
	Ağın	42			
	Harput	12			
Malatya	Battalgazi	69			
	Arapgir	29	125		
	Yeşilyurt	27			
	Artuklu	35			
	Mazıdağı	38			
Mardin	Midyat	44		1	0.26
	Ömerli	96	391		
	Kızıltepe	48			
	Savur	50			
	Dargeçit	40			
	Derik	40			
	Karaköprü	25			
	Bozova	58			
Şanlıurfa	Hilvan	12	154		
	Birecik	23			
	Siverek	36			
	Çermik	56			
Diyarbakır	Çüngüş	37			
	Dicle	19	149		
	Eğil	14			
	Ergani	23			
TOPLAM			1110	2	0.18

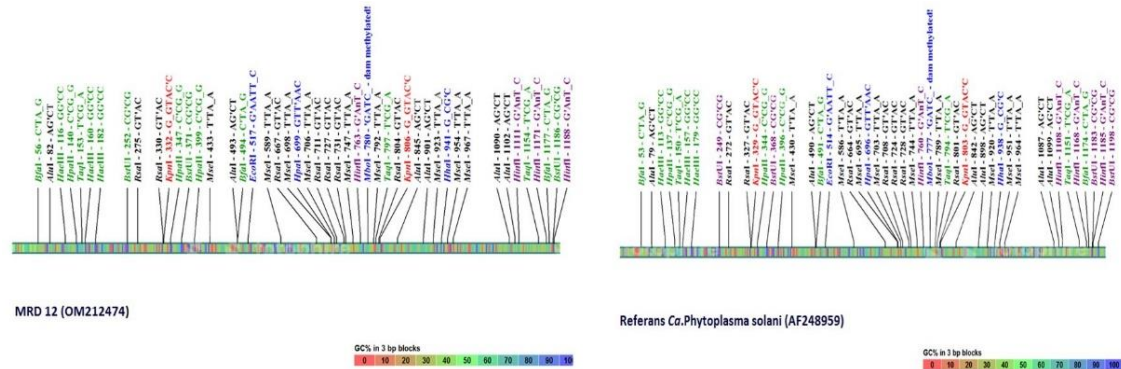
3.1 Tespit Edilen Fitoplazma İzolatlarının Sanal RFLP Analizi

Fitoplazmalara ait 16S rDNA gen bölgesinin çift yönlü dizilemesi Medsantek firmasına yaptırılmıştır. Elde edilen dizileme sonuçları neticesinde Elazığ ilinde tespit edilen fitoplazma izolatu (ELZ 208) ve Mardin ilinde tespit edilen fitoplazma izolatu (MRD 12) ile referans izolatu olan 'Ca. P. solani' (AF2489592)'ye ait 16S rDNA dizilerine sanal jel çizim yazılımı olan pDRAW32 DNA analysis software (AcaClone software) programı kullanılarak Kesilen Parça Uzunluk Polimorfizmi (RFLP)

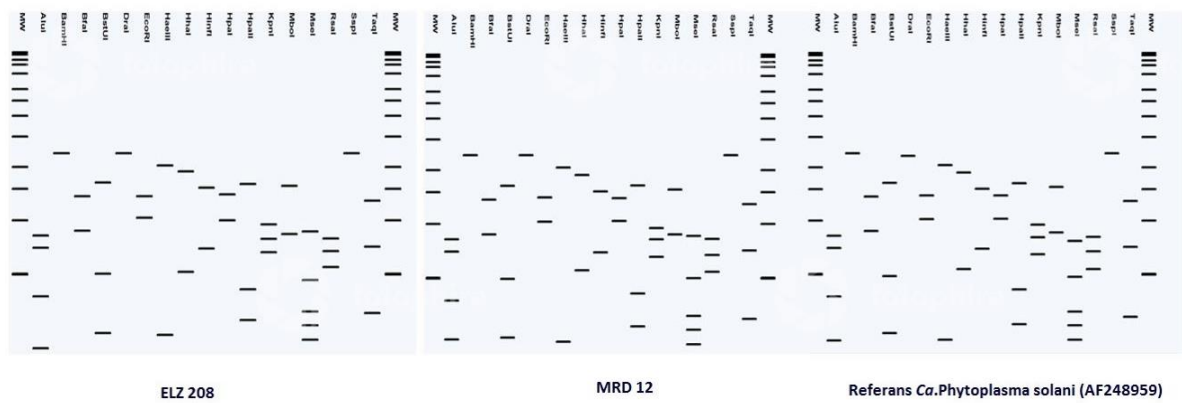
analizi yapılmış ve sanal çizim simülasyonu elde edilmiştir (Şekil 3 ve Şekil 4). Ayrıca yaklaşık 1.25 kb boyutundaki her bir 16S rDNA dizisi 17 kesim enzimi (*AluI*, *BamHI*, *BfaI*, *BstUI*, *DraI*, *EcoRI*, *HaeIII*, *HhaI*, *HinfI*, *HpaI*, *HpaII*, *KpnI*, *Sau3AI*, *MseI*, *RsaI*, *SspI* ve *TaqI*) ile kesilerek (Şekil 3-4) elde edilen DNA parçaları program yardımı ile % 1.0'lık sanal agaroz jelle koşulmuş ve jel görüntüsü oluşturulmuştur [14]. ELZ 208 ve MRD 12 izolatlarının 16S rDNA dizilerine ait sanal RFLP desenlerinin referans izolat ile benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 5).



Şekil 3. Elazığ ilinde tespit edilen ELZ 208 izolatı ile referans 'Ca. P. solani' (AF248959) izolatının enzim kesim bölgesi



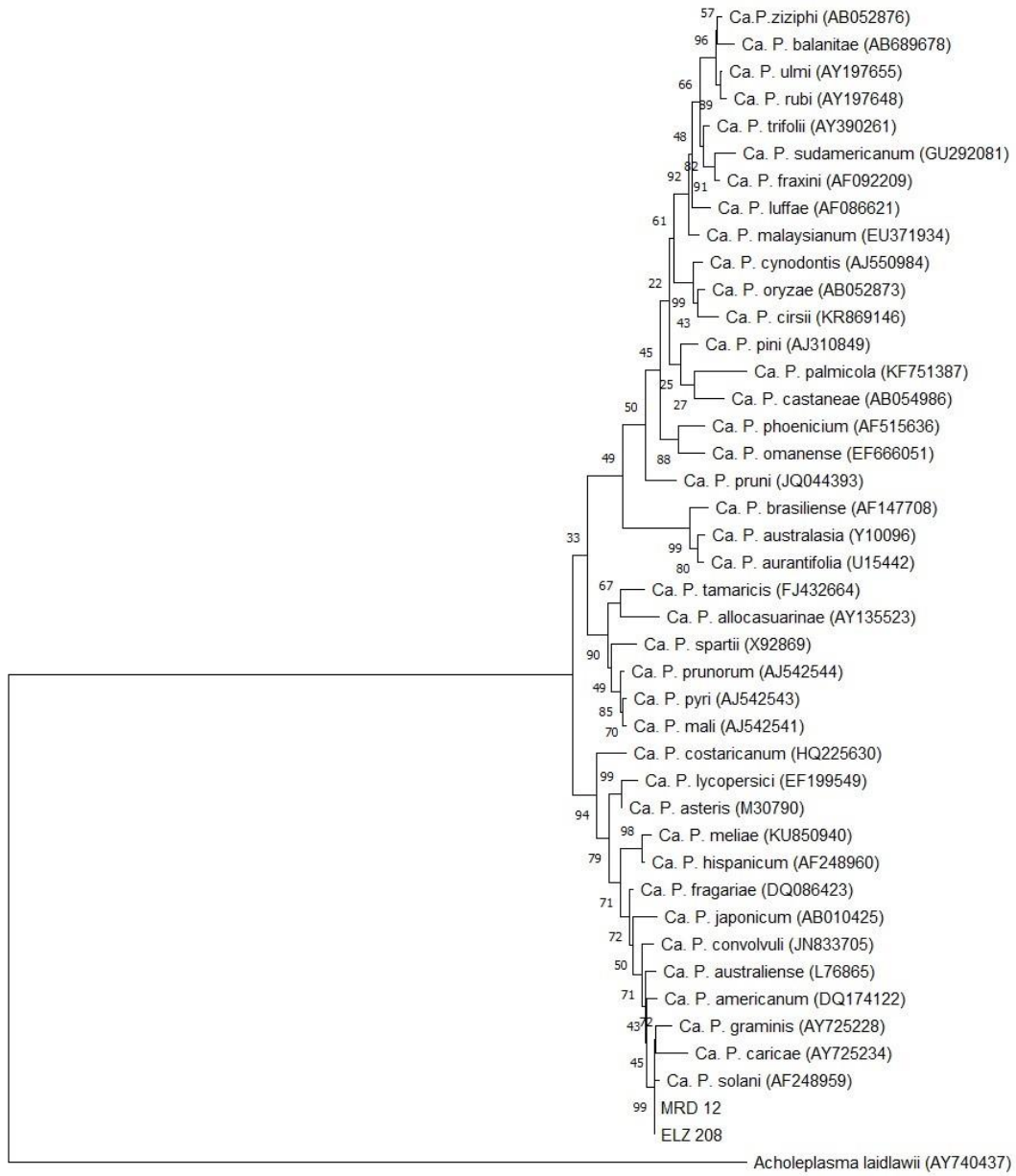
Şekil 4. Mardin ilinde tespit edilen MRD 12 izolatı ile referans 'Ca. P. solani' (AF248959) izolatının enzim kesim bölgeleri



Şekil 5. ELZ 208 ve MRD 12 izolatları ile referans 'Ca. P. solani' (AF248959) izolatının sanal RFLP jel görüntüsü

3.2 Fitoplazma İzolatlarının Filogenetik Analizi

16S rDNA dizileri belirlenen fitoplazma etmenleri, NCBI'dan BLAST ile araştırılmış ve diğer ülkelere ait fitoplazma izolatları ile benzerlik yüzdeleri belirlenmiştir. Sekans verilerinin BLAST analizleri sonucunda MRD 12 ve ELZ 208 izolatlarının 'Ca. P. Solani' izolatları ile %99-100 oranında benzer olduğu belirlenmiş ve bu izolatlar NCBI veri tabanına sırasıyla OM212474 ve OM909048 erişim numaraları ile kaydedilmiştir. Tespit edilen fitoplazma izolatlarının 16S rDNA dizilerinin filogenetik ağacı MEGA 11 (Version 11.0.1) programı ile Neighbor Joining algoritmasıyla yapılmış, izolatlar 'Ca. P. Solani' referansı ile gruplanmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. MRD 12 ile ELZ 208 izolatlarının bitkilerde hastalık oluşturan diğer fitoplazma türleri ile akrabalık ilişkisi

4. SONUÇLAR

Bu çalışma ile son yıllarda Dünya’da ve ülkemizde bağıcılık yapılan alanlarda giderek artan ve ciddi kayıplara neden olan hastalık grubu olan bağ fitoplazma etmenlerinin, Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgesinin 7 ilindeki (Adıyaman, Batman, Elazığ, Malatya, Mardin, Şanlıurfa ve Diyarbakır) varlığı araştırılmış ve fitoplazma etmenleri açısından durumu ortaya konmuştur.

2013-2021 yılları arasında toplam 1110 örnek ile yapılan bu çalışmada, bölgeler fitoplazma etmenleri yönünden taranmıştır. Yapılan testlemeler sonucunda 2019 yılında Elazığ ili Merkez ilçeye bağlı Hoş köyünden alınan 1 örnek ile 2020 yılında Mardin ili Midyat ilçesinden alınan 1 örnekte ‘*Ca. P. solani*’ tespit edilmiştir. Mardin ili bağ alanlarında fitoplazma kaydı ilk kez bu çalışma ile gerçekleştirilmiştir. Adıyaman, Batman, Malatya, Şanlıurfa ve Diyarbakır illerinden alınan asma örneklerinde ise fitoplazma etmeni tespit edilmemiştir.

Ülkemizde bağ alanlarında benzer çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çalışmamız kapsamında da yer alan Diyarbakır, Malatya ve Elazığ illerinde ‘*Ca. P. solani*’ etmeninin tespit edildiği, ayrıca aynı çalışma kapsamında ülkemizin farklı bölgelerindeki bağ alanlarından ‘*Ca. P. vitis*’ tespit edildiği bildirilmiştir [15]. İzmir, Manisa ve Denizli illerindeki bağ alanlarında ‘*Ca. P. solani*’ [16], Erzincan ilindeki bağ alanlarında ‘*Ca. P. solani*’ [17], Adıyaman ve Şanlıurfa bağ alanlarında ‘*Ca. P. solani*’ ve ‘*Ca. P. asteris*’ tespit edildiği bildirilmiştir [18]. Yurtdışında yapılan araştırmalar neticesinde; İspanya’da [19], Lübnan’da [20], Bosna Hersek’te [21], Bulgaristan’da [22], Kanada’da [23], Ürdün’de [24], Gürcüstan’da [25], İran’da [26], Azerbaycan’da [27] ve Rusya’nın Krasnodar bölgesindeki [28] bağ alanlarında ‘*Ca. P. solani*’nin varlığı tespit edilmiştir.

Yapılan analizler sonucu toplanan örneklerdeki bulaşıklık oranının % 0.18 olarak tespit edilmiştir. Her ne kadar bulaşıklık oranı düşük düzeyde olsada, tespit edilen ‘*Ca. P. solani*’nin karantinaya tabii bir organizma olması, geniş bir konukçu aralığına sahip olması ve vektörler ile hızlıca farklı kültür bitkilerine yayılması gibi özellikleri nedeniyle dikkatli olunması gereken bir patojendir. Bu nedenle diğer üretim alanlarına bulaşmasının önlenmesi için gerekli tedbirlerin alınması gerekmektedir. Bu çalışma ile Doğu ve Güneydoğu bölgesinde önemli oranda bağıcılık yapılan illerde fitoplazma etmenlerinin varlığı açısından durum ortaya konulmuştur.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı TAGEM–BS–12/ 08 - 05/ 02 -28(4) proje numarası ile destekleyen Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü’ne ve Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğünün “Bitki Sağlığı ve Uygulama Programı” kapsamında kurumumuza materyal temininde destek olan Bitkisel Üretim ve Bitki Sağlığı Şube Müdürlüğü teknik personellerine teşekkür ederiz.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Makale yazarları, aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

ETİK BEYANI

Bu çalışmada, yazarlar “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamındaki tüm kurallara uyduklarını, ilgili yönergenin “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler” olarak belirtilen başlığı altındaki eylemlerden hiçbirini gerçekleştirmediklerini taahhüt ederler.

YAZARLARIN KATKILARI

Osman ÇİFTÇİ ve Şahimerdan TÜRKÖLMEZ çalışmayı tasarlamışlardır. 2013-2021 yılları arasındaki farklı zaman dilimlerinde Osman ÇİFTÇİ, Deniz ÇAPLIK, Şahimerdan TÜRKÖLMEZ, Feyzullah YILMAZ ve Behzat GÜLER çalışmanın sörveylerini gerçekleştirmişlerdir. Osman ÇİFTÇİ, Deniz ÇAPLIK ve Feyzullah YILMAZ çalışmanın moleküler ve biyoinformatik analizlerini gerçekleştirmişlerdir.

KAYNAKLAR

- [1] M. G. Mullins, A. Bouquet, L. E. Williams, *Biology of the grapevine*, Cambridge University Press, 1992.
- [2] H. Çelik, Y. S. Ağaoğlu, Y. Fidan, B. Marasali, G. Söylemezoğlu, *Genel Bağcılık*, Fersan Press, 1998.
- [3] S. Çelik, *Bağcılık (Ampeloloji)*, Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü ders kitabı, pp. 427, 2007.
- [4] Anonim. (2022). Erişim Tarihi: 24.01.2022. [Online]. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>.
- [5] TÜİK. (2022). Erişim Tarihi: 24.01.2022. [Online]. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=en>.
- [6] G. N. Agrios, *Plant Diseases Caused by Prokaryotes: Bacteria And Mollicutes*. Plant Pathology, Elsevier Academic Press, pp. 687-691, 2005.
- [7] G. Belli, P. A. Bianco, M. Conti, “Grapevine yellows in Italy: past, present and future.” *Journal of Plant Pathology*, 303-326, 2010.
- [8] M. R. Karimi, S. Paltrinieri, N. Contaldo, H. Kamali, M. Sajadinejad, M. R. Ajami, A. Bertaccini, “Phytoplasma detection and identification in declining pomegranate in Iran.” *Phytopathogenic Mollicutes*, vol. 5, no. 2, pp. 95-99, 2015.
- [9] S. A. Hogenhout, K. Oshima, E. D. Ammar, S. Kakizawa, H. N. Kingdom, S. Namba, “Phytoplasmas: bacteria that manipulate plants and insects” *Molecular Plant Pathology*, vol. 9, no. 4, pp. 403-423, 2008.

- [10] T. Bora, İ. Karaca, *Kültür bitkilerinde hastalığın ve zararın ölçülmesi*. Ege Üniversitesi Yardımcı Ders Kitabı, Yayın, 167, 1970.
- [11] M. J. Green, D. A. Thompson, D. J. MacKenzie “Easy and efficient DNA extraction from woody plants for the detection of phytoplasmas by polymerase chain reaction.” *Plant Disease*, vol. 83, no. 5, pp. 482-485, 1999.
- [12] N. M. Christensen, M. Nicolaisen, M. Hansen, A. Schulz, “Distribution of phytoplasmas in infected plants as revealed by real-time PCR and bioimaging.” *Molecular Plant-Microbe Interactions*, vol. 17, no. 11, pp. 1175-1184, 2004.
- [13] I. M. Lee, R. W. Hammond, R. E. Davis, D. E. Gundersen, “Universal amplification and analysis of pathogen 16S rDNA for classification and identification of mycoplasma-like organisms.” *Phytopathology*, vol. 83, no. 8, pp. 834-842, 1993.
- [14] I. M. Lee, D. Gundersen-Rindal, R. E. Davis, I. M. Bartoszyk, “Revised classification scheme of phytoplasmas based on RFLP analysis of 16S rRNA and ribosomal protein gene sequences.” *International Journal of Systematic Bacteriology*, vol. 48, no. 4, pp. 1153-1169, 1998.
- [15] F. Ertunc, D. C. Orel, S. Bayram, S. Paltrinieri, A. Bertaccini, S. Topkaya, and G. Soylemezoglu, “Occurrence and identification of grapevine phytoplasmas in main viticultural regions of Turkey,” *Phytoparasitica*, vol. 43, no. 3, pp. 303–310, 2015.
- [16] H. F. Yurttaş, Ege Bölgesinde bağ fitoplazma hastalıklarının varlığı ve sıcak su uygulamalarının etkisi, Yüksek lisans tezi, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitki Koruma Ana Bilim Dalı, Aydın, 2019.
- [17] Y. Karabıçak, İ. Alaserhat, Ş. Altundağ, İ. Özdemir, and E. D. Özden, “Erzincan ili bağ alanlarında fitoplazma hastalıklarının ve olası vektör böcek türlerinin tespiti,” *Bitki Koruma Bülteni*, vol. 60, no. 1, pp. 31–39, 2020.
- [18] E. Şimşek and M. Güldür, “Detection and molecular characterization of phytoplasmas based on 16s rDNA gene region by phylogenetic and in silico RFLP analysis of local grapevine cultivars in Şanlıurfa and Adıyaman,” *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, vol. 25, pp. 204–213, 2021.
- [19] A. Laviña, A. Batlle, J. Larrue, X. Daire, D. Clair, and E. Boudon-Padieu, “First report of grapevine bois noir phytoplasma in Spain,” *Plant Disease*, no. 10, 1995.
- [20] E. Choueiri et al., “First report of grapevine ‘Bois Noir’ disease and a new Phytoplasma infecting solanaceous plants in Lebanon,” *Plant Disease*, vol. 86, no. 6, pp. 697, 2002.
- [21] D. Delic, M. Martini, P. Ermacora, L. Carraro, and A. Myrta, “First report of grapevine bois noir in Bosnia and Herzegovina,” *Journal of Plant Pathology*, vol. 88, no. 2, 2006.
- [22] D. Sakaliova, S. Paltrinieri, A. Calari, and A. Bertaccini, “Molecular identification of ‘bois noir’ phytoplasmas in grapevine in Bulgaria,” *Bulletin of Insectology*, vol. 60, no. 2, 2007.
- [23] M. Rott, R. Johnson, C. Masters, and M. Green, “First report of Bois Noir Phytoplasma in grapevine in Canada,” *Plant Disease*, vol. 91, no. 12, pp. 1682, 2007.
- [24] N. M. Salem et al., “First report of ‘Candidatus Phytoplasma solani’ strains associated with grapevine bois noir in Jordan,” *Plant Disease*, no. 11, pp. 1505–1505, 2013.
- [25] F. Quaglino, D. Maghradze, N. Chkhaidze, P. Casati, O. Failla, and P. A. Bianco, “First report of ‘Candidatus Phytoplasma solani’ and ‘Ca. P. convolvuli’ associated with grapevine Bois Noir and bindweed yellows, respectively,” *Plant Disease*, vol. 98, no. 8, pp. 1151–1151, 2014.
- [26] S. M. Mirchenari, A. Massah, and L. Zirak, “Bois noir’: new phytoplasma disease of grapevine in Iran,” *Journal of Plant Protection Research*, vol. 55, no. 1, 2015.

- [27] G. Balakishiyeva, A. Mammadov, X. Foissac, I. Huseynova, and J. Aliyev, "First report of grapevine 'bois noir' in Azerbaijan," *Plant Disease*, vol. 100, no. 12, pp. 2522–2522, 2016.
- [28] E. V. Porotikova, E. G. Yurchenko, and S. V. Vinogradova, "First Report of 'Candidatus Phytoplasma solani' associated with Bois Noir on grapevine (*Vitis vinifera*) in Krasnodar Region of Russia," *Plant Disease*, vol. 104, no. 1, pp. 277–277, 2020.

Copyright © 2022 Çiftçi, Çaplık, Türkölmez, Yılmaz and Güler. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY 4.0).



Araştırma Makalesi / Research Article

Vermikülit Agreganın Kompozit Yapılı Hafif Harç Üretiminde Kullanımı Üzerine Teknik Bir Analiz

A Technical Analysis on the Use of Vermiculite Aggregates in Composite Lightweight Mortar Production

Esmehan ÇAPUN¹ , Nükhet ŞAPCI^{2,*}

¹ İnşaat Teknikeri, 07491, Antalya, Türkiye

² Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, İnşaat Bölümü, 32200, Isparta, Türkiye

<https://doi.org/10.55007/dufed.1096993>

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihi

Alınış, 01 Nisan 2022

Revize, 17 Temmuz 2022

Kabul, 09 Ağustos 2022

Online Yayınlama, 01 Ekim 2022

Anahtar Kelimeler

Hafif agrega, Vermikülit,
Kompozit harç, Isı yalıtımı

ARTICLE INFO

Article History

Received, 01 April 2022

Revised, 17 July 2022

Accepted, 09 August 2022

Available Online, 01 October 2022

Keywords

Lightweight aggregate,
Vermiculite, Composite mortar,
Thermal insulation

ÖZ

Son yıllarda doğal ve hafif agregaların inşaat endüstrisinde kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Özellikle hafif agregalarla üretilen kompozit yapıda yalıtım amaçlı hafif harç uygulamaları günümüzün önemli konularından birisi haline gelmiştir. Bu bağlamda, bu çalışmada hafif agrega kategorisinde değerlendirilebilecek ülkemizde rezerv potansiyeli olan, ancak sadece tarım sektöründe kullanımı bilinen Vermikülitler ana hammadde olarak kullanılmıştır. Çimento esaslı Vermikülit agregalı polimer katkılı harç karışımları yapılarak bir dizi siva numunesi üzerinde analizler yapılmıştır. Ayrıca deneysel çalışmada teknik mukayesenin yapılabilmesi için bu örnekler vermikülit agregalı polimer bileşensiz hazırlanan kontrol örnekleri ile analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgulara göre polimer bileşenli kompozit harç örneklerinin sırasıyla, kuru birim hacim ağırlık değerleri 560 kg/m³-659 kg/m³ arasında, basınç dayanım değerleri 0,94 N/mm²-1,81 N/mm² arasında, kapiler su emme oranları 0,328 kg/m² dak^{0.5}-0,249 kg/m² dak^{0.5}, ısı iletkenlik katsayıları ise 0,083 W/mK-0,094 W/mK olarak ölçülmüştür. Kontrol örneklerinde ise sırasıyla teknik bulgular 780 kg/m³, 2,64 N/mm², 1,620 kg/m² dak^{0.5}, 0,156 W/mK olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar bize ısı işlem görmüş vermikülit agreganın özellikle polimer katkı ile kullanımları durumunda, birim hacim ağırlığı düşük ısı yalıtımlı kompozit harç üretimlerinde değerlendirilebileceğini göstermiştir.

ABSTRACT

In recent years, the use of natural and light aggregates in the construction industry has become increasingly common. Light mortar applications for insulation purposes have become one of the important issues of today,

*Sorumlu Yazar

E-posta Adresleri: capunesmehan@gmail.com (Esmehan ÇAPUN), nukhetsapci@isparta.edu.tr (Nükhet

ŞAPCI)

especially in composite structure produced with light aggregates. In this context, vermiculites, which have reserve potential in our country that can be evaluated in the light aggregate category in this study but are known only for use in the agricultural sector, were used as the main raw material. Cement-based Vermiculite aggregate polymer additive mortar mixture designs were made and analyzed on a series of plaster samples. In addition, in order to make technical comparison in the experimental study, these samples were compared with control samples prepared without vermiculite aggregate polymer components and analysis results. According to the findings, the dry unit volume weight values of the polymer component composite mortar samples are between 560 kg/m³ and 659 kg/m³, respectively, the compressive strength values are between 0.94 N/mm² and 1.81 N/mm², and the capillary water absorption rate is 0.328. kg/m²min^{0.5}-0.249 kg/m²min^{0.5}, thermal conductivity coefficients were measured as 0.083 W/mK-0.094 W/mK. In the control samples, the technical findings were determined as 780 kg/m³, 2.64 N/mm², 1.620 kg/m²min^{0.5}, 0.156 W/mK, respectively. These results have shown us that the heat-treated vermiculite aggregate can be evaluated in the production of thermally insulated composite mortars with low unit volume weight, especially when used with polymer additives.

1. GİRİŞ

Son yıllarda insanlığın karşılaştığı en büyük sorunlardan bir tanesi iklim değişikliğidir. Ülkemizi de içine alan bu sorunun en büyük nedeni ise atmosfere salınan sera gazlarıdır. Sera gazı salınımlarının kontrol altına alınabilmesi için yaşanan konutlarda enerjinin verimli kullanılması gerektiği de bilinen bir gerçektir [1]. Bu nedenle tüm endüstriyel alanlarda olduğu gibi inşaat endüstrisinde de enerji verimli yapı malzemelerinin üretilmesi ve kullanılması gerekmektedir.

Kibert'e [2], göre Yeşil bina, toplam çevresel etkileri en aza indirmek için tasarlanmış, inşa edilmiş ve çevresel açıdan sürdürülebilir ve enerji tasarruflu binadır.

Binaların ısısal performansları enerji tasarrufu bakımından günümüzün en önemli konularından birisi olmuştur. Özellikle doğal malzemelerle kompozit yapıda yalıtım elemanlarının geliştirilmesi ve ısı yalıtım analizlerinin yapılması da bir o kadar önemli konu olmuştur. Bununla birlikte ısı, ses, yangın ve su yalıtımı açısından performans sağlayan çimento esaslı polimer katkılı harçların geliştirilmesi üzerine de yoğun araştırmaların sürdürüldüğü görülmektedir [3].

Yapılan bilimsel araştırmalarda, özellikle ısı yalıtım amaçlı kullanılan ekolojik yapıdaki sıva malzemelerinin içeriğini pomza, volkanik cüruf, genişmiş perlit, mikronize kalsit gibi agregaların oluşturduğu görülmüştür. Bu nedenle, bu çalışmada diğer mineral esaslı sıvalardan farklı olarak ülkemizde rezervi olan ancak sadece tarım sektöründe kullanımı bilinen Vermikülit agregası ana hammadde olarak kullanılmıştır.

Shoukry ve diğ., Köksal ve diğ., Binici ve diğ., Abidi ve diğ., Gencel ve diğ., Chung ve diğ., Demirçivi ve Saygılı [4-10], genişmiş vermikülit'in 200 °C ile 1200 °C arasındaki sıcaklıklar için iyi

bir ısı ve ses yalıtım malzemesi olduğunu yanıcı olmadığını belirtmişlerdir. Isıl işlem gördüğünde genleşen vermikülit'in ucuz, çevre dostu bir malzeme ayrıca toksik olmayan bir malzeme olduğunu belirtmişlerdir.

Gündüz ve diğ., [11], Açılmış Vermikülit agreganın yalıtım amaçlı kompozit harçların termal özelliklerine etkisi konulu bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada ham haldeki vermikülit agregalarına ısıl işlem uygulayarak 3 farklı açılma oranında (%50, %70, %90) vermikülit agrega üretmişlerdir. Bu agregalarla kompozit yapıda yalıtımlı harç üretimleri gerçekleştirilerek bu harçların termal analizleri yapılmıştır. Analizleri yapılan tüm açılmış vermikülit agregalı harçların ısı yalıtım kategorisini TS EN 998-1 [12] standardına göre T1 sınıfı olarak belirlemişlerdir.

Gündüz ve Kalkan [13], Diyatomit kayaç oluşumlarının inşaat endüstrisinde değerlendirilmek üzere hafif harç üretiminde kullanılabilirliği üzerine bir çalışma yapmışlardır. Diyatomit agregalarla üretilen bu harçların birim hacim ağırlık bakımından oldukça hafif bir yapıda, ısıl ve ultrasonik ses geçişi bakımında da oldukça yalıtkan değerler sergilediğini belirtmişlerdir.

Bu çalışmada ülkemizde ki vermikülit oluşumlarına yeni bir endüstriyel kullanım alanı açmak ve kullanımını yaygınlaştırmak amaçlanmıştır. Bu nedenle, teknik olarak vermikülit malzemesinin ısıl işlemde geçirilerek yalıtım özelliği taşıyabilecek polimer bileşenli hafif harç üretimlerinde ana hammadde olarak inşaat endüstrisinde kullanımının etkinleştirilmesi hedeflenmiştir. Bu bağlamda, deneysel çalışmalarda piyasadan ham haliyle edinilen vermikülit agregası, öncelikle polimer bileşenli olarak harç kıvamında hazırlanmış ve kontrol harç önekleri elde edilmiştir. İkinci olarak ise piyasadan temin edilen vermikülit agregası sabit bir sürede 1000 °C ısıl işleme maruz bırakılmıştır. Isıl işleme maruz bırakılan bu agregalar belirli oranda genleşmiş ve birim hacim ağırlık değerleri ham agregalara göre daha düşük oranlarda tespit edilmiştir. Bu çalışmada genleşmiş vermikülit agregaları ile polimer katkılı harç karışım kombinasyonları tasarlanmıştır. Elde edilen harç neklerinin analizleri TS EN 998-1 standardı ve ilgili diğer standartlar kapsamında yapılmış olup teknik analiz bulguları kontrol harç önekleri ile kıyaslanmıştır. Bu çalışmayla yeni bir hammaddenin yalıtım amaçlı sıva malzemeleri üretiminde inşaat endüstrisinde kullanılabilirliğine yönelik bu konuda araştırma yürütecek olan tüm araştırmacılara ışık tutması amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1 Materyal

Karışım tasarımlarında ana agrega olarak yerel pazardan temin edilen 0-2 mm boyutlu vermikülit agregaları kullanılmıştır. Yapılan literatür araştırmaları göstermiştir ki; genellikle ısı yalıtımlı kompozit harç ürünlerde gözenekli yapıdaki volkanik kökenli agregalar kullanılmıştır. Bu

çalışma da ise hafif bir agrega olduğu bilinen ve diğerlerinden jeolojik oluşum olarak farklı olan, vermikülit agregasının kullanılması ve sonuçların teknik olarak irdelenmesi amaçlanmıştır. Böylece inşaat endüstrisinde yeni bir hammaddenin varlığı gündeme getirilmek istenmiştir. Vermikülit, mika mineralleri ve kloritin alterasyonu sonucunda meydana gelen 2:1 katmanlı fillosilikal mineralidir. Mika mineralinin doğal süreçlerle aşınması sonucunda meydana gelmiş magnezyum alümina silikat yapıya sahip kil mineralidir [14]. Vermikülit yeterli derecede ısıtıldığında (600°C-1000°C) akordiyon şeklinde açılarak uzama göstermektedir. Bu işlem literatürde vermikülit açma olarak isimlendirilir [1]. Bu bağlamda, genel olarak genişmiş vermikülitlere ait bazı fiziksel özellikler Tablo 1’de verilmiştir. Ayrıca vermikülit’in kimyasal bileşenlerinin büyük bir kısmı SiO₂, Al₂O₃ ve MgO’dan meydana gelmektedir. Tablo 2’de karakteristik bir vermikülit kimyasal analizi görülmektedir [14, 15]. Çalışmada kullanılan ham vermikülit ve ısı işlem görmüş vermikülit agregalarına ait görünüm Şekil 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Genişmiş vermikülitlerin genel fiziksel özellikleri [11]

Özellik	
Renk	Altın
Şekil	Akordiyon şeklinde granül
Su tutma kapasitesi (ağırlık olarak %)	%160 >
pH (suda)	6-9
Isı iletkenlik (W/mK)	0.035-0.065
Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	90-220

Tablo 2. Vermikülitlerin genel kimyasal özellikleri [14,15]

Bileşen	Ağırlıkça Oranı (%)
SiO ₂	38-46
Al ₂ O ₃	10-16
MgO	16-35
CaO	1-5
K ₂ O	1-6
Fe ₂ O ₃	6-13
TiO ₂	1-3
H ₂ O	8-16
Diğer	0.2-1.2

Bu çalışmada bütün karışım kombinasyonlarında CEM I 52,5R beyaz portland çimento ürünü ana bağlayıcı olarak kullanılmıştır. Ayrıca karışıma aderans kazandırmak için söndürülmüş toz kireç ve karışımlarda hem dolgu yapması hem de işlenebilirlik özelliğini artırması için 100 mikron boyut altı mikronize kalsit kullanılmıştır. Ayrıca sıva ürünlerinin birim hacim ağırlığını düşürmek amacıyla tüm serilerde 1 mm boyut altı genişmiş perlit ek materyal olarak kullanılmıştır. Karışım kombinasyonlarında mikronize kalsit “*dolgu malzemesi*” olarak isimlendirilmiştir.

Deneysel çalışmada, kompozit matris yapıda harç örnekleri oluşturmak ve harcın kıvamını dengelemek amacıyla toz şeklinde kimyasal katkı ajanı kullanılmıştır. Bunlar harcın işlenebilirliğini sağlamak için selülozik, harcın kıvamını dengelemek için kıvamlaştırıcı, polimerizasyon sürecini düzenlemek için, aderans artırıcı ve hava sürükleyici özellikte ajanlardır. Ayrıca vermikülit agregası çok yüksek su tutma kapasitesine sahip olduğu için su itici özellikte polimer katkı bütün karışımlarda kullanılmıştır. Bütün bu özellikleri harca sağlayan katkı ajanları karışım kombinasyonlarında “*polimer katkı*” olarak isimlendirilmiştir.



Şekil 1. Ham vermikülit ve ısıl işlem sonucunda açılmış vermikülit görünümü

2.2 Metot

Bu çalışmada, ana hammadde olarak kullanılan vermikülit agregası karışım tasarımlarında iki farklı şekilde kullanılmıştır. İlk olarak, piyasadan temin edildiği gibi ham şekliyle kontrol harç karışımlarında kullanılmıştır. İkinci olarak ise, 1000  C sıcaklığa maruz bırakılarak elde edilen genleşmiş vermikülit agregaları polimer bileşen katkılı kompozit yapıdaki harç karışım tasarımlarında ana hammadde olarak kullanılmıştır. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılan vermikülit agregalarının yoğunluk değerlerinin, ham şeklindeki vermikülit agregalarının yoğunluk değerlerinden daha düşük olduğu görülmüştür. Vermikülit agregaları ile hazırlanan polimer katkılı kompozit sıva harcı örneklerinin fiziksel, mekanik ve termal özelliklerinin araştırılabilmesi amacıyla, bu çalışmada irdelemeler sabit imento oranında (%), artan dolgu malzemesi miktarına bağlı olarak azalan vermikülit agrega miktarı değişimi bağlamında yapılmıştır. Bu bağlamda, çalışmada 20 farklı deneme karışım tasarımları yapılmıştır. Deneysel çalışmalardaki gözlemler ve teknik bulgulara bağlı olarak en ideal 5 farklı kombinasyon bu çalışmada inceleme konusu olmuştur. Polimer katkılı karışımlar K₁-K₅ kodlu, polimer katkısız kontrol harçları K₀ olarak kodlanmıştır.

Deneysel çalışmada öncelikle, vermikülitin yalıtım amaçlı kompozit harç üretiminde irdelenebilmesi amacıyla polimer katkısız bir kontrol harç örneği oluşturulmuştur (K_0). Bu kontrol harç örneğinde 0-2 mm boyutlu vermikülit agregası piyasadan temin edildiği gibi ham şekliyle ve karışımda ağırlıkça %40 oranında kullanılmıştır. Harç örneklerinin birim hacim ağırlıklarını minimum seviyeye düşürmek için karışım kombinasyonu içerisinde ağırlıkça %10 oranında genişmiş perlit kullanılmıştır. Ayrıca dolgu yapması ve aderans kazandırılması için %12 oranında mikronize kalsit, %6 oranında toz kireç kullanılmış ve çimento dozajı da ağırlıkça %32 olarak ele alınmıştır (Tablo 3).

İkinci olarak bu çalışmada, yüksek sıcaklığa (1000°C) tabi tutularak elde edilen açılmış (genleşmiş) vermikülit agregalarının, kompozit yapıda polimer katkılı hafif harçların üretimi ve ısıl performansına etkisini irdelemek amaçlanmıştır. Bunun için de ağırlıkça farklı mikronize kalsit (dolgu malzemesi) oranlarında (%6-%18 aralığında), %3 artırmalı olarak 5 ayrı karışım kombinasyonu oluşturulmuş olup (K_1 - K_5), çimento (%32), genişmiş perlit (%10), söndürülmüş toz kireç (%6) ve tüm polimer katkı (%5) kullanım oranları sabit tutulmuştur. Kontrol harç örneklerinde herhangi bir polimer katkı malzemesi kullanılmamıştır. Polimer katkılı kompozit harç karışımlarında (K_1 - K_5) azalan agrega miktarına karşı dolgu malzemesi miktarı artırılarak bir tasarım yapılmıştır. Teknik mukayesenin yapılabilmesi için diğer bileşenler bütün serilerde sabit tutulmuştur (Tablo 3). Kontrol harç karışımlarında ham vermikülit, polimerli harç karışımlarında geliştirilmiş vermikülit kullanıldığından, böylece hiçbir ısıl işleme tabi tutulmamış ham vermikülit agrega ile ısıl işleme tabi tutulmuş genişmiş vermikülit agregalarının etkisini de sıva numunelerinden elde edilen teknik bulgularla tespit etmiş olacağız. Tüm harç karışımlarının taze harç kıvamına getirilmesinde ASTM C 230 [16] standardına uygun akma tablası yöntemi kullanılarak optimum su miktarları belirlenmiştir [17].

Tablo 3. Vermikülit agregalı harç örneklerinin karışım tasarımları (Ağırlıkça yüzde (%) kullanım oranları)

Bileşenler	Polimer Bileşenli Vermikülit Agregalı Kompozit Harçlar					
	K ₀	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅
0-2 mm Vermikülit Agregası	40	41	38	35	32	29
Beyaz Çimento	32	32	32	32	32	32
Genleşmiş Perlit	10	10	10	10	10	10
Dolgu Malzemesi	12	6	9	12	15	18
Söndürülmüş Toz Kireç	6	6	6	6	6	6
Polimer Katkı	-	5	5	5	5	5

Hazırlanan tüm karışımlar, 40x40x160 mm boyutlu prizma kalıplara, 50x50x50 mm boyutlu küp kalıplara ve 50x400x200 mm boyutlu plaka kalıplara dökülmüştür. Bu örnekler, 24 saat sonra kalıplardan çıkartılarak TS EN 998-1 standardının öngördüğü kurallara uygun olarak kürele

işlemlerine tabi tutulmuştur. 28 günlük priz süresini tamamlamış kontrol harç numuneleri ile polimer bileşenli kompozit harç numunelerinin birim hacim ağırlık, kapiler su emme, basınç dayanımı ve ısı iletkenlik gibi teknik özellikleri deneysel olarak analiz edilmiştir. Bütün analiz bulguları araştırma bulguları şeklinde makale içerisinde detay olarak verilmiştir.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1 Kıvam Analizi ve Karışım Suyu Miktarı

Taze harçların kıvam ölçüm analizi için akma tablası yöntemi kullanılmıştır. Bu analiz ASTM C230 (hidrolik çimento testlerinde kullanmak üzere akma tablası için standart) standardının öngördüğü prensipler çerçevesinde yapılmıştır. Bu standarda göre, akma tablasının üst bölümü temizlenir ve daha sonra plakanın orta kısmında ki kalıba harç yerleştirilir. Kalıp düşey olarak yukarı çekilir ve harçtan ayrılır. Son olarak, plaka 25 kez 1,27 cm yükseklikten aşağı düşer ve plaka üzerindeki yayılma harcının çapı dört kez ölçülür. Ölçümün ortalaması alınarak standart bir harç kıvam değeri tespit edilir [11]. Kontrol harç örneklerinde optimum su/katı oranı 0,60 iken polimer katkılı harç örnekleri için 0,65 olarak belirlenmiştir.

3.2 Birim Hacim Ağırlık Analizi

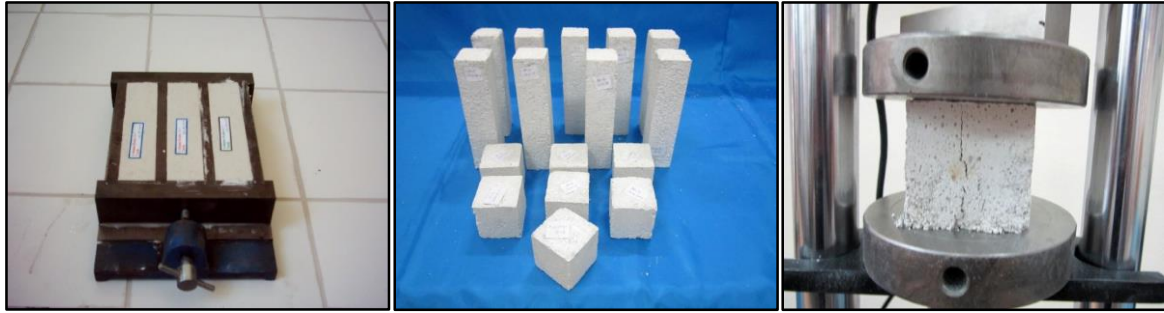
Çalışmada harç numunelerinin 28 günlük priz süresi sonrası kuru birim hacim ağırlık değerleri TS EN 1015-10 [18] standardına göre analiz edilmiş olup, sonuçlar Tablo 4’de verilmiştir. Kompozit harç numunelerinin birçok teknik özelliği, kuru birim hacim ağırlığının bir fonksiyonu olarak değişim göstermektedir. Birim hacim ağırlık değerinin düşük olması, o malzemenin ısı yalıtım özelliğini daha da iyileştirmektedir. Bu çalışmada, sertleşmiş kontrol numunelerin (K_0) kuru birim hacim ağırlığı 780 kg/m^3 olarak belirlenmiştir. Diğer taraftan genişmiş vermikülit agregaları kullanılarak ve polimer katkıları eklenerek hazırlanan kompozit yapıdaki sertleşmiş harç örneklerinin (K_1 - K_5) birim hacim ağırlığı 560 - 659 kg/m^3 arasında ölçülmüştür. Karışım içerisinde genişmiş vermikülit agrega kullanma oranı arttıkça, dolayısıyla dolgu malzeme miktarı azaldıkça sertleşmiş harcın kuru birim hacim ağırlık değerlerinde azalma eğilimi olduğu görülmüştür. Kompozit yapıdaki harç örneklerinin kontrol harç örneklerine göre yaklaşık %28 oranında daha hafif olduğu tespit edilmiştir. Sertleşmiş harç örneklerine ait görünüm Şekil 2’de verilmiştir.

Kompozit yapıdaki polimer bileşenli harç örneklerinin dolgu malzemesi (mikronize kalsit) kullanım miktarına bağlı olarak kuru birim hacim ağırlık değerlerindeki değişim Şekil 3’de gözlenmektedir. Çalışmada polimer katkısız kontrol harç örneklerinin kuru birim hacim ağırlığı 780 kg/m^3 olarak ölçülmüştür. Kontrol harç örneklerinde ağırlıkça %12 oranında mikronize kalsit (dolgu

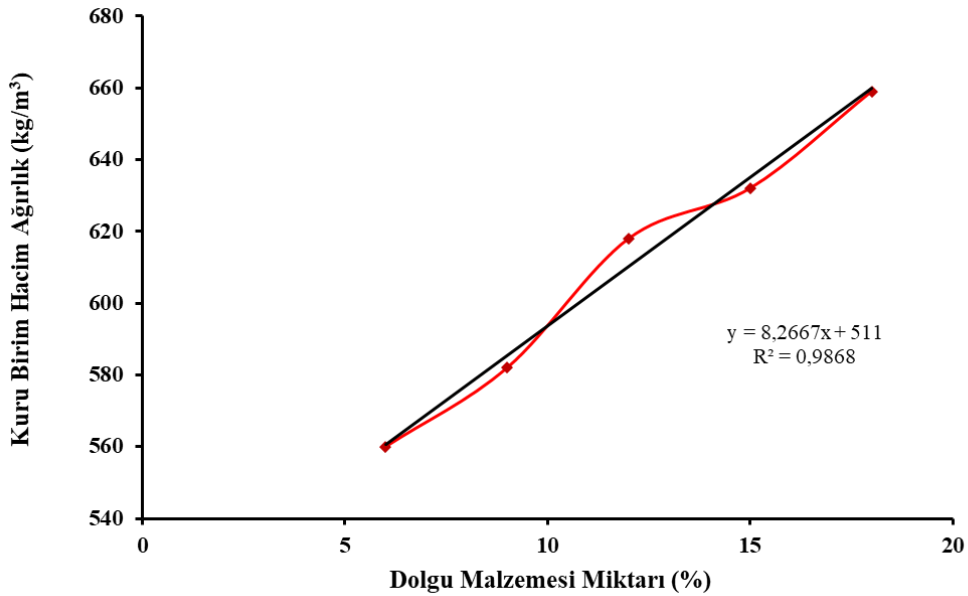
malzemesi), %40 oranında ham vermikülit agregası ve sabit miktarlarda Tablo 4'deki bileşenler kullanılmıştır. Aynı oranda mikronize kalsitin kullanıldığı polimer katkılı kompozit harç örneğinin (K_3) birim hacim ağırlık değeri 618 kg/m^3 olarak ölçülmüştür. Yani kontrol harç örneğine göre %21 oranında daha hafif kompozit harç üretmek mümkün olmuştur.

Tablo 4. Vermikülit agregalı kompozit harç karışımlarının deneysel çalışma sonuçları

Teknik Özellikler	Kontrol Harcı	Polimer Bileşenli Genleşmiş Vermikülit Agregalı Kompozit Harçlar				
	K_0	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5
Dolgu Malzemesi Oranı (%)	12	6	9	12	15	18
Su/Katı Oranı	0,60	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
Kuru Birim Hacim Ağırlık (kg/m^3)	780	560	582	618	632	659
Basınç Dayanımı (N/mm^2)	2,64	0,94	1,07	1,28	1,60	1,81
Kapiler Su Emme ($\text{kg/m}^2 \text{ dak}^{0.5}$)	1,620	0,328	0,306	0,282	0,265	0,249
Isı İletkenlik Değeri (W/mK)	0,156	0,083	0,085	0,087	0,091	0,094



Şekil 2. Deneysel çalışmalarda kullanılan harç örneklerine ait genel bir görünüm



Şekil 3. Sertleşmiş harç örneklerinin dolgu malzemesi miktarı-kuru birim hacim ağırlık ilişkisi

K₃ serisinde vermikülit agrega kullanım oranı daha düşük, %35 civarında olmasına rağmen, agregalar ısıtılarak işlem görebilmekte ve genişletilmiş agregalardır. Dolayısıyla genişletilmiş vermikülit agregasının yoğunluğu ham vermikülit agregaya göre daha düşük olduğu için sertleşmiş harç örneğinin yoğunluğunu da düşürmüştür. Ayrıca numunelerin birim hacim ağırlıklarının düşük olmasında diğer bir etken ise karışım içerisinde kullanılan hava sürükleyici özellikteki polimer katkılarıdır.

3.3 Basınç Dayanımı Analizi

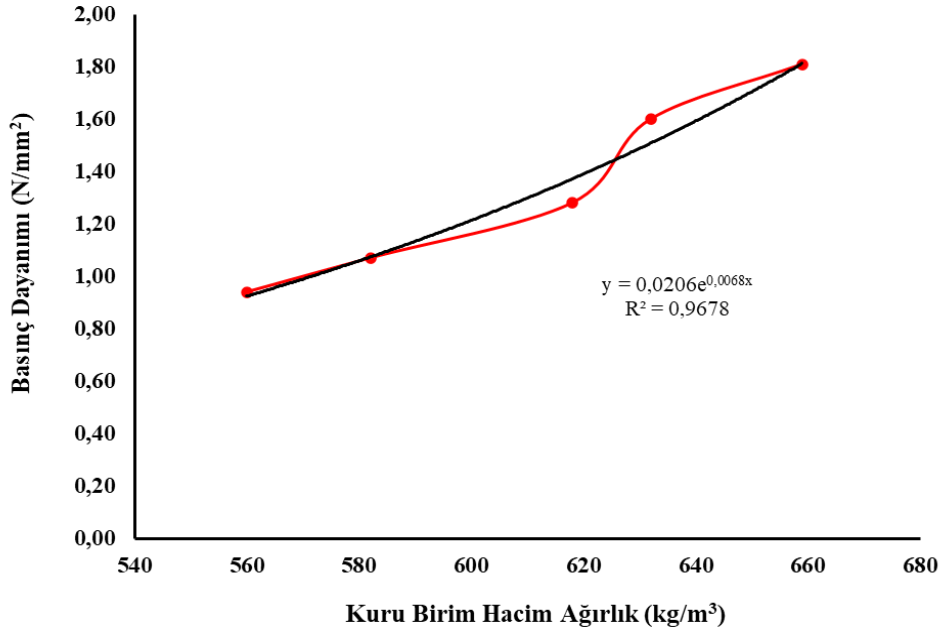
Bu çalışmada ki diğer bir deneysel çalışma ise sertleşmiş harç örneklerinin basınç dayanım analizlerinin yapılmasıdır. TS EN 998-1 standardında harç gruplarının 28 günlük priz süresi sonunda basınç dayanım değerleri için, 4 ayrı dayanım sınıfı öngörülmüştür (CS I - CS IV). Bu sınıflar için dayanım sınıfları aşağıdaki gibi verilmiştir.

CS I dayanım sınıfı için	:0.4 – 2.5 N/mm ²
CS II dayanım sınıfı için	: 1.5 – 5.0 N/ mm ²
CS III dayanım sınıfı için	: 3.5 – 7.5 N/ mm ²
CS IV dayanım sınıfı için	: ≥ 6 N/ mm ²

Kontrol harç örneklerinin ve polimer bileşenli kompozit harç örneklerinin basınç dayanım testleri TS EN 1015-11'e [19] göre analiz edilmiş olup sonuçları Tablo 4'de verilmiştir. Kompozit yapıdaki sıva numunelerinin basınç dayanım değerleri 0,94 N/mm²-1,81 N/mm² arasında değişmekte olup, birim hacim ağırlık arttıkça basınç dayanım değerlerinde üstel fonksiyon şeklinde bir artış görülmektedir (Şekil 4). Kompozit harç örneklerinin basınç dayanım değerlerinde dolgu malzemesi (mikronize kalsit) miktarı değişimi önemli bir rol oynamaktadır. Dolgu malzemesi miktarı arttıkça azalan vermikülit miktarına bağlı olarak harç örneklerinin basınç dayanım değeri artmaktadır.

Kompozit yapıdaki sertleşmiş harç örneklerinin basınç dayanım değerleri TS EN 998-1 standardında öngörülen sınır değerler açısından incelendiğinde CS I ve CS II sınıfı basınç dayanım sınıfına girdiği görülmüştür. Öte yandan kontrol harç örneklerinin basınç dayanım değeri ise 2,64 N/mm² olarak belirlenmiş olup, dayanım sınıfı açısından CS II kategorisinde yer aldığı görülmüştür. Kontrol harç numunelerinin basınç dayanım değeri, polimer katkılı kompozit yapıdaki harç örneklerine göre daha yüksek değerlerde tespit edilmiştir. Bu sonuç, kontrol harçlarının yüksek birim hacim kütleleri ile açıklanabilir. Bugün inşaat endüstrisinde dolgu amaçlı harçlarda ve özellikle yalıtım amaçlı olarak kullanılacak dış ve iç cephe sıva harçlarında basınç dayanım değerlerinin çok yüksek olmadığı bilinmektedir. Genellikle bu harç türlerinde basınç dayanım sınıfı CS I, CS II ve nadiren CS III kategorilerinde yer aldığı bilinmektedir [20]. Dolayısıyla bu çalışmada elde edilen

bulgulara göre, özellikle polimer bileşenli harç gruplarının ısı yalıtımlı harç statüsünde değerlendirilebileceğini söylemek mümkündür.



Şekil 4. Kompozit harç örneklerinin birim hacim ağırlık-basınç dayanımı ilişkisi

3.4 Kılcal (Kapiler) Su Emme Analizi

Yalıtım amaçlı kompozit yapıdaki harçlar, inşaat endüstrisinde ki uygulamalarda genellikle dış ortam koşullarında kullanılacak özellikte olabilmelidir. Bu nedenle bu tür malzemelerin kapiler olarak yükselen suya karşı direnç göstermesi önemlidir. Bu tür uygulamalarda kompozit harç ürünlerinin sertleştikten sonra su emme değerlerini düşük tutmak ve hidrofobik bir yapı kazandırmak amacıyla taze harç içerisine oleik asit ve stearik asit bileşenli polimer katkıları kullanılmaktadır [21, 22]. Bu bağlamda, bu çalışmada da kompozit yapıdaki harçlar içerisine su itici polimer katkıları kullanılarak özellikle dış cephede kullanılacak harç formları için hidrofobik bir yapı kazandırılmıştır. Deneysel çalışmalarda elde edilen sertleşmiş harç numunesine ait görünüm Şekil 5’de verilmiştir. TS EN 998-1 standardında harç gruplarının kılcal (kapiler) su emme değerleri için, 3 ayrı sınıf öngörülmüştür (W0-W2). Bu sınıflarda kılcal su emme değerleri aşağıdaki verilmiştir.

W0 Kılcal (Kapiler) Su Emme Sınıfı: Belirlenmiş değer yoktur

W1 Kılcal (Kapiler) Su Emme Sınıfı: $c \leq 0.40 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{dak}^{0.5}$

W2 Kılcal (Kapiler) Su Emme Sınıfı: $c \leq 0.20 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{dak}^{0.5}$



Şekil 5. Polimer bileşenli sertleşmiş harç örneğinin hidrofob yapısına ait bir görünüm

Bu çalışmada hazırlanan sertleşmiş sıva örneklerinin kapiler su emme analizleri TS EN 1015-18 [23] standardının öngördüğü prensipler çerçevesinde yapılmıştır. Analiz sonuçları irdelendiğinde, polimer bileşenli kompozit harç örneklerinin kapiler su emme değerleri $0,328 \text{ kg/m}^2.\text{dak}^{0.5}$ - $0,249 \text{ kg/m}^2.\text{dak}^{0.5}$ aralığında kaldığı görülmüş olup, W1 sınıfı kategorisinde değerlendirilebilmektedir. Kontrol harç örneklerinde ise kapiler su emme değeri $1,620 \text{ kg/m}^2.\text{dak}^{0.5}$ olarak belirlenmiş olup W0 kategorisinde yer aldığı görülmüştür. Özellikle yalıtım amaçlı su geçirimsiz harçların standarda göre W1 ve W2 kategorisinde yer alması öngörülmüştür. Kontrol harçlarında su emme değerinin yüksek çıkmasını, vermikülit agregasının su tutma özelliğinin yüksek olması ve polimer katkı kullanılmamasıyla ilişkilendirebiliriz. Bu çalışmada elde edilen polimer bileşenli kompozit yapıdaki bütün harçların su geçirimsiz formda hidrofobik bir yapı sergilediği görülmüştür.

3.5 Isı İletkenlik Analizi

Bu çalışmada, yapılan diğer bir irdeleme ise vermikülit agreganın polimer bileşenli kompozit yapıdaki harç uygulamalarında ısı yalıtım açısından değerlendirilmesidir. TS EN 998-1 standardına göre, ısı yalıtımı sağlayan harç grupları için 2 ayrı sınıf belirtilmiştir (T1-T2). Bu sınıflama, harç türlerinin ısı iletkenlik değerleri bağlamında yapılmış olup, sınır değerler aşağıdaki şekilde verilmiştir.

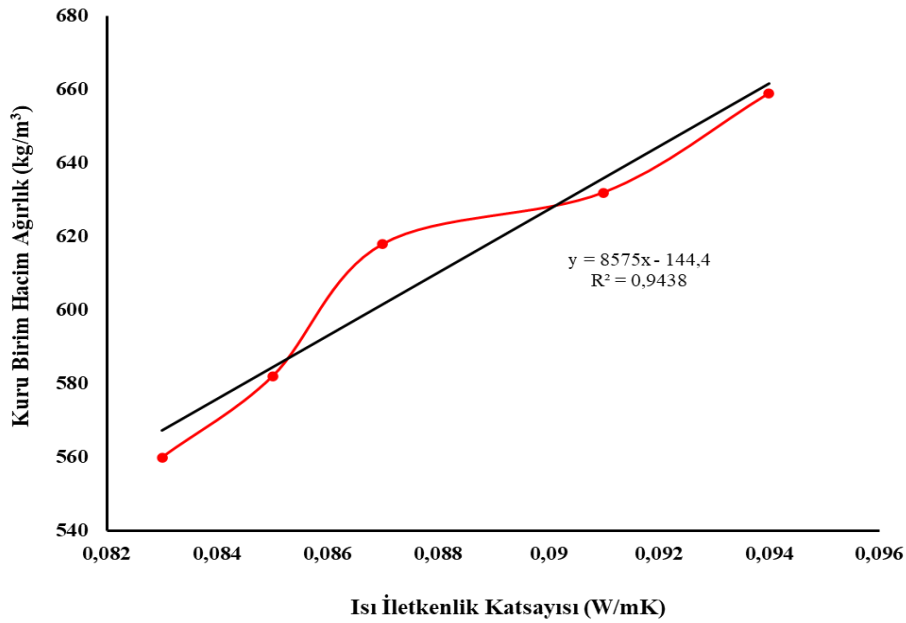
T1 Sınıfı - Isıl İletkenlik Değeri : $\leq 0.10 \text{ W/mK}$

T2 Sınıfı - Isıl İletkenlik Değeri : $\leq 0.20 \text{ W/mK}$

Bilindiği üzere, ısı her zaman sıcaktan soğuğa doğru geçerek bir denge oluşturma eğilimindedir. Katı malzemelerde ısı geçişine, ısı iletkenlik katsayılarına ve kalınlıklarına bağlı olarak

bir direnç gösterirler. Bir başka ifadeyle, en genel anlamda ısısal performans ısı geçişini azaltan bir dirençtir. Bunu sağlayan malzemelere de ısı yalıtım malzemesi adı verilmektedir. Isı yalıtımı sağlayan malzemelerin en önemli özelliği ısı iletkenlik katsayılarıdır. Bir malzemenin ısı iletkenlik katsayı değeri ne kadar düşük ise, bu malzemenin ısı yalıtım özelliği o kadar iyileşmektedir [13]. Polimer katkılı harç örneklerinin ısı iletkenlik değerleri ile kuru birim hacim ağırlık arasındaki ilişki grafiksel olarak analiz edilmiş olup Şekil 6’da verilmiştir.

TS EN 998-1 standardında öngörüldüğü üzere, bir harç malzemesinin ısı iletkenlik değerinin yukarıda sözü edilen iki kategoriden birinde yer alması o harcın uygulamalarda ısı yalıtımı da sağlayan harç olduğunu simgelemektedir. Bu bağlamda, bu çalışmada elde edilen bütün harç örneklerinin ısı iletkenlik değerleri “Mahfazalı Sıcak Kutu” yöntemine göre ölçülmüş olup, sonuçlar Tablo 4’de verilmiştir.



Şekil 6. Sertleşmiş harç örneklerinin kuru birim hacim ağırlık-ısı iletkenlik katsayısı arasındaki ilişki

Analiz sonuçları incelendiğinde, artan dolgu malzemesi miktarı ve azalan vermikülit agrega miktarına bağlı olarak polimer katkılı kompozit yapıdaki harç örneklerinin ısı iletkenlik katsayı değerleri artmaktadır. Harç örneklerinin (K₁-K₅) ısı iletkenlik katsayı değerleri 0,083 W/mK - 0,094 W/mK arasında ölçülmüş olup TS EN 998-1 standardına göre T1 grubu harç kategorisinde yer aldığı görülmüştür. Kontrol harç örneklerinin ısı iletkenlik katsayı değeri ise 0,156 W/mK olup, T2 grubu harç kategorisinde yer almaktadır. Kontrol harç örnekleri de (K₀) ısı yalıtımlı harç gruplarına dahil edilebilir. Ancak polimer katkılı harç serilerinin (K₁-K₅) ısısal performans olarak daha iyi sonuçlar verdiğini söylemek mümkündür. Kompozit harç örneklerinde kullanılan vermikülitlerin ısısal işlem

sonucunda bünyesinde meydana gelen boŐluklar sertleşmiş harca yalıtkan özellik kazandırmıŐtır. Ayrıca harç içerisindeki hava sürükleyici ve diğer polimer katkılar da sertleşmiş harç örneklerinin kuru birim hacim ağırlıklarını düşürerek ısıl performans özelliklerini artırmıŐtır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada ısıl işleme maruz bırakılarak genleştirilmiş 0-2 mm boyutlu vermikülit agregalarının kompozit yapıdaki harcın fiziko-mekanik ve termal özelliklerine etkisi ayrıntılı bir Şekilde analiz edilmiştir. Ayrıca polimer katkılarının harca kattığı özelliklerde gözlemlenmiştir. Deneysel alıŐmalar kapsamında, genleştirilmiş vermikülit agregalarının ana hammadde olarak kullanıldığı polimer bileşenli kompozit yapıdaki (K₁-K₅) harç örnekleri üzerinde bir dizi teknik analizler yapılmıştır. Öncelikle polimer bileşen içermeyen ve piyasadan temin edildiği Şekliyle ham vermikülitlerin ana hammadde olarak kullanıldığı kontrol harç örnekleri elde edilmiş ve bu örnekler üzerinden elde edilen bulgular karşılaştırma kriteri olarak kullanılmıştır.

Deneysel çalışmada genellikle yorumlamalar, harç karışımlar içerisindeki artan vermikülit agrega miktarına karŐılıklı azalan dolgu malzemesi miktarına bağlı olarak yapılmıştır. İlk olarak kuru birim hacim ağırlık analizi yapılmıştır. Analizler sonucunda polimer bileşenli harç örneklerinin, kontrol harç örneklerine göre yaklaşık olarak %28 civarında daha hafif olduğu saptanmıştır. Isıl işlem görmüş vermikülit agregalarıyla üretilen harçların kuru birim hacim ağırlık değerlerinin daha düşük olduğu da görülmüştür. Literatür araştırmaları ve daha önce yapılan ArGe alıŐmaları neticesinde görülmüştür ki; kompozit yapıda ısı yalıtımlı harç üretmek için genellikle kuru birim hacim ağırlık değerlerinin 800 kg/m³ civarında olduğu tecrübe edinilmiŐtir. Bu çalışmada üretilen bütün harçların birim hacim ağırlık sonuçları bu değerin altında tespit edilmiştir. Harçlar içerisinde ince boyut genleşmiş perlit agreganın ek materyal olarak kullanılması da sertleşmiş harçların yoğunluğunun düŐürülmesinde önemli bir katkı sağlamıştır.

Çalışmada yapılan ikinci bir irdeleme ise, basınç dayanım analizidir. Kontrol rneklerinin, polimer bileşenli harç örneklerine göre daha mukavemetli olduğu görülmüştür. Bu durum kontrol örneklerinin yüksek birim hacim ağırlıkları ile iliŐkilendirilebilir. Ayrıca yalıtım amaçlı olarak üretilen harçlarda çok yüksek mukavemet değerleri aranmamaktadır. Buna rağmen, polimer bileşenli harç örnekleri de TS EN 998-1 standardının öngördüğü dayanım sınıfları içerisinde yer almaktadır.

Bu çalışmada ki diğer bir irdeleme ise, kompozit harç örneklerinin su emme değerlerini düşürmek, su geçirimsiz hidrofobik bir yapı sergileme özelliğine sahip olması amacıyla karışımlarda farklı oranlarda su itici polimer katkı kullanılmıştır. %2,8 ile en yüksek su itici katkının kullanıldığı seride, kapiler su emme değerleri 0,249 kg/m².dak^{0.5} değerinde ölçülmüştür. Dolayısıyla kontrol harç

rneklerine göre harcın kılcal (kapiler) su geçirimsizlik özelliği %85 oranında iyileŐmiŐtir. Vermikülit çok fazla su tutan bir malzeme olmasına rağmen karışımlarda kullanılan su itici katkı harca hidrofob özellik kazandırmıŐtır.

Çalışmada son irdeleme ise, harç örneklerinin binalarda i ve dış cephe sıva uygulamaları açısından ısıl performans özelliklerinin değerlendirilmesidir. Deneysel çalıŐmalardan elde edilen bulgulara göre polimer bileşenli harç gruplarının TS EN 998-1 standardına göre T1 kategori sınıfında, polimer bileşensiz kontrol harç örneklerinin ise T2 kategori sınıfında yer aldığı görülmüştür. Her iki harç grubunun da bu standarda göre ısı yalıtımlı harç grubu kategorisine dahil edilebileceği görülmüştür. Ancak polimer bileşenli harç örnekleri, kontrol harç örneklerine göre %47 oranında daha yalıtımlı yani ısıl performans özelliğinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmada deneysel çalıŐmalardan elde edilen teknik bulgular, TS EN 998-1 standardı kapsamında değerlendirildiğinde T grubu ısı yalıtım harçlarında aranılan tüm özellikleri sağladığı tespit edilmiştir. Ayrıca konu ile ilgili uluslararası literatür taramaları da yapılmıştır. Araştırmalar sonucunda genellikle bu kapsamda üretilen harçların ana hammaddesini pomza, genleşmiş perlit, volkanik curuf gibi malzemelerin oluşturduğu görülmüştür. Ancak; Gündüz ve diğ. 2018 yılında yapmış oldukları bir çalışmada; farklı sıcaklıklarda genleştirilmiş vermicülit agregaları ve farklı oranlarda volkanik kül malzeme kullanarak ısı yalıtım amaçlı kompozit harçlar üretmişlerdir. Bu harç örneklerinin kuru birim hacim ağırlık değerleri 556 kg/m^3 - 877 kg/m^3 , basınç dayanım değerleri $0,48 \text{ N/mm}^2$ - $2,21 \text{ N/mm}^2$, ısı iletkenlik katsayı değerleri ise $0,052 \text{ W/mK}$ - $0,084 \text{ W/mK}$ arasında ölçülmüştür. Bu makale çalıŐmamızda ise ilgili standartlar kapsamında geliŐtirdiđimiz harçların elde edilen teknik bulguları ile karşılaştırma yaptığımızda benzer sonuçların elde edildiği ve T grubu ısı yalıtımlı harç kategorilerinde değerlendirilebileceği görülmüştür.

Elde edilen tüm bu sonuçlara göre, vermicülit agregaları yüksek sıcaklığa maruz bırakıldığında agregalarda önemli oranlarda açılma gerçekleŐerek genleŐme özelliği gösterdikleri görülmüştür. Bu durum vermicülit agregalarının yoğunluklarını daha da düŐürmüŐ ve dolayısıyla harç içerisinde kullanıldıklarında, harcın birim hacim ağırlığını da önemsenecek oranlarda düşürdüğü görülmüştür. Ayrıca ısıl işlem görerek tıpkı bir akordiyon gibi açılan vermicülit agregaları içerisinde, boŐluklar oluşmuş bu durumunda harca yalıtkanlık özellik kazandırdığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada karışım kombinasyonları dizayn edilirken imento oranları, polimer katkılar ve diğer bileşenler sabit tutularak mukayese edilebilmesi sağlanmıştır. Başka çalışmalarda bu oranlar ve katkı malzemeleri değerştirilerek farklı karŐım kombinasyonları elde etmek mümkündür. Ayrıca vermicülit hammaddesi yerine başka doğal veya suni agregalar ana hammadde olarak kullanılmasıyla farklı sonuçlar elde edilebilir. Bu makale çalışmasında, ülkemizde sadece tarım sektöründe kullanıldığı bilinen vermicülit agregasının inşaat endüstrisinde ki bazı uygulamalarda kullanılabileceği de tespit edilmiştir. Böylece

bu çalışma ile bundan sonra konu ile ilgili araştırma yapacak bilim insanlarına önemli katkılar sağlaması hedeflenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu araştırma, TÜBİTAK 2242 Üniversite Öğrencileri Araştırma Proje Yarışmalarında Enerji ve Çevre Kategorisinde 2020 Yılı Konya Bölgesi Derecelerinde, İkincilik almıştır. TÜBİTAK'a desteklerinden dolayı teşekkür ederiz (Başvuru numarası: 1139B422001184, Başvuru dönemi: 2020/1, 13.03.2020).

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını bildirmektedirler.

ETİK BEYANI

Bu çalışmada, yazarlar “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamındaki tüm kurallara uyduklarını, ilgili yönergenin “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler” olarak belirtilen başlığı altındaki eylemlerden hiçbirini gerçekleştirmediklerini taahhüt ederler.

YAZARLARIN KATKILARI

Esmehan ÇAPUN: Deneysel çalışma, test ve verilerin toplanması, yazma ve düzenlemede yardımcı. Nükhet ŞAPCI: Çalışma metodolojisinin geliştirilmesi, veri kontrol, yazma ve düzenleme, gözetim ve liderlik sorumluluğu, analiz, inceleme ve sonuçların yorumlanması.

KAYNAKLAR

- [1] Ş. O. Kalkan, L. Gündüz, “Açılmış Vermikülit Agregaların Kompozit Yapılı Sıva Harçlarında Harcın Termal Özelliklerine Etkisi”, 3. *Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi Bildiriler Kitabı*, 4-5 Mayıs 2018, pp. 225-226.
- [2] C. J. Kibert, “Green Buildings: An Overview of progress”, *Journal of Land Use and Environmental Law*, vol. 19, no. 2, pp. 491-502, 2003.
- [3] N. Şapcı, M. Karcı, M. Şahin, L. Gündüz, H. Ceylan, “Mikronize Andezitin Yalıtım Amaçlı Kompozit Harç Üretiminde Değerlendirilmesi Üzerine Teknik Bir Analiz”, 5. *Ulusal Kırmataş Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 1-2 Aralık 2009, pp. 77-88.
- [4] H. Shoukry, M. F. Kotkata, S. A. Abo-El-Enein, M. S. Morsy, S. S. Shebl, “Enhanced Physical, Mechanical and Microstructural Properties of Lightweight Vermiculite Cement Composites Modified with Nano Metakaolin”, *Construction and Building Materials*, vol. 112, pp. 276-283, 2016.

- [5] F. Koksall, O. Gencil, M. Kaya, "Combined Effect of Silica Fume and Expanded Vermiculite on Properties of Lightweight Mortars at Ambient and Elevated Temperatures", *Construction and Building Materials*, vol. 88, pp. 175-187, 2015.
- [6] H. Binici, A. H. Sevinç, V. Efe, "The Production of Insulation Materials Made with Waste Newsprint", *Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture*, vol. 30, no. 2, pp.13-23, 2015.
- [7] S. Abidi, B. Nait-Ali, Y. Joliff, C. Favotto, "Impact of Perlite, Vermiculite and Cement on The Thermal Conductivity of a Plaster Composite Material", *Experimental and numerical approaches. Composites: Part B*, vol. 68, pp. 392-400, 2015.
- [8] O. Gencil, J. J. D. C. D. Diaz, M. Sutcu, F. Koksall, F. P.A. Rabanal, G. Martinez-Barrera, W. Brostow, "Properties of Gypsum Composites Containing Vermiculite and Polypropylene Fibers: Numerical and Experimental Results", *Energy and Buildings*, vol. 70, pp. 135-144, 2014.
- [9] O. Chung, S. G. Jeong, S. Kim, "Preparation of Energy Efficient Paraffinic Pcms/Expanded Vermiculite and Perlite Composites for Energy Saving in Buildings", *Solar Energy Materials & Solar Cells*, vol. 137, pp. 107-112, 2015.
- [10] P. Demirçivi, G. N. Saygılı, "Sorption Isotherms and Modeling Studies of Hdtma for Adsorption onto Vermiculite, Perlite and Zeolite Clays", *Journal of Engineering and Natural Sciences*, vol. 32, pp. 311-320, 2014.
- [11] L. Gündüz, Ş. O. Kalkan, A. M. İsker, "A Technical Analysis on The Effect of Exfoliated Vermiculite Aggregate on Thermal Comfort Parameters of Composite Mortars for Insulation Purposes" in Proc. *3rd International Energy & Engineering Congress*, 18-19 October, 2018, Gaziantep University, pp. 706-722.
- [12] TS EN 998-1 Kâgir Harı-Özellikler, "Bölüm 1: Kaba ve İnce Sıva Harcı", Ankara, TSE, Şubat, 2006.
- [13] L. Gündüz, Ş. O. Kalkan, Diatomit Agregaların Çimento Esaslı Hafif Harç Özelliklerinin Gelişimine Etkisi, "8. Uluslararası Kırmataş Sempozyumu Bildiriler Kitabı", 13-14 Ekim 2016, pp. 284-294.
- [14] Ş. Tapık, "Sivas-Yıldızeli Yöresi Vermikülit Hammaddesinin Seramik Sektöründe Kullanımının Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, 2019.
- [15] M. Kaya, "Genleştirilmiş Vermikülit Kullanılarak Üretilen Silis Dumanı Katkılı Çimento Esaslı Kompozitlerin Yüksek Sıcaklık Dirençleri", Yüksek Lisans Tezi, Bozok Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yozgat, 2011.
- [16] ASTM C230 / C230M-08. "Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement", ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, 2005.
- [17] L. Gündüz, M. Bekar and N. Şapcı, "Influence of a new type of additive on the performance of polymer-lightweight mortar composites", *Cement and Concrete Composites*, vol. 29, no. 8, September, pp. 594-602, 2007, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2007.03.007>.
- [18] TS EN 1015-10, Kâgir Harcı-Deney Metotları, "Bölüm 10: Sertleşmiş Harcın Boşluklu Kuru Birim Hacim Kütlelerinin Tayini", Ankara, TSE, Nisan, 2001.
- [19] TS EN 1015-11, Kâgir Harcı - Deney Metotları, "Bölüm 11: Sertleşmiş Harcın Basınç ve Eğilme Dayanımının Tayini", Ankara, TSE, Ekim, 2000.
- [20] N. Şapcı, "Technical Evaluation of Composite Component Mortars in the Production of Cement-Based Exterior Coating Materials", *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, vol. 8, no. 21, pp. 981-993, 2021, doi: <https://doi.org/10.31202/ecjse.904032>.

- [21] Ő. O. Kalkan, L. Gündüz, ‘‘Hafif Agregalı Kompozit Harçların Hidrofobluk  zelliğinin Geliştirilmesinde Biopolimer Katkı Kullanımı  zerine Bir İnceleme’’, *Uluslararası Yapılarda Kimyasal Katkılar 5. Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabı*, 19-20 Ekim 2017, pp. 269-285
- [22] N. Şapcı, L. Gündüz, ‘‘Kayseri Bölgesi Pomza OluŐumlarının Yalıtımlı Kompozit Harç  retiminde Kullanımı  zerine Bir İnceleme’’, in Proc: *International Symposium of Scientific Research and Innovative Studies ISSRIS’21*, Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, 22-25 Şubat 2021, pp. 69-83
- [23] TS EN 1015-18 Kâgir harcı - Deney Metotları, ‘‘Bölüm 18: Sertleşmiş Harcın Kapiler Etkiler Esnasında Su Emme Katsayısının Tayini’’, Ankara, TSE, Ocak, 2004.

Copyright   2022 çapın and Şapcı. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY 4.0).



Araştırma Makalesi / Research Article


Kırmızı Mercimek Yetiştiriciliğinde Toprağa Farklı Dozlarda Leonardit Uygulamalarının Ekonomik Analizi

Economic Analysis of Leonardite Applied to the Soils at Different Rates in Red Lentil Cultivation

Betül KOLAY^{1,*} , Ali Rıza ÖZTÜRKMEN² 

¹ GAP Uluslararası Tarımsal Araştırma ve Eğitim Merkezi Müdürlüğü, 21100, Diyarbakır, Türkiye

² Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, 63050, Şanlıurfa, Türkiye

 <https://doi.org/10.55007/dufed.1169551>

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihi

Alınış, 01 Eylül 2022

Revize, 14 Ekim 2022

Kabul, 14 Ekim 2022

Online Yayınlama, 28 Ekim 2022

Anahtar Kelimeler

*Kırmızı mercimek, Leonardit,
Ekonomik analiz, Toprak ıslahı*

ARTICLE INFO

Article History

Received, 01 September 2022

Revised, 14 October 2022

Accepted, 14 October 2022

Available Online, 28 October 2022

Keywords

*Red lentil, Leonardite, Economic
analysis, Soil remediation*

ÖZ

Ekonomik getirisi olmayıp, ekstradan masraf oluşturacak uygulamaların üreticiler tarafından kabul edilmesi çok zordur. Ancak, toprak özelliklerini iyileştirmesi yanı sıra verim artışı sağlayan ve uygulandığı takdirde kar elde edilen uygulamaların üreticilere benimsetilmesi çok kolaydır. Toprağa uygulanan organik toprak düzenleyicilerin bitki gelişimi ve toprak özellikleri üzerine olan etkisinin yanı sıra ekonomik getirisinin olup olmadığı hususu da oldukça önemlidir. Leonardit toprak ıslahında kullanılan bir organik toprak düzenleyicidir. Bu çalışma, kırmızı mercimek yetiştiriciliğinde toprağa farklı oranlarda uygulanan leonardit materyalinin ekonomik getirisinin belirlenmesi amacı ile yapılmıştır. Türkiye’de kırmızı mercimek yetiştiriciliğinin yoğun olarak yapıldığı Diyarbakır ilinde yürütülen bu araştırma yağışa dayalı şartlarda yürütülmüştür. Çalışmada leonardit uygulamalarının karlılık durumu belirlenmiş, bu amaçla kısmi bütçeleme tekniği kullanılmıştır. Leonardit materyali, iki yıl üst üste aynı oranlarda (0, 100, 150, 200 ve 250 kg da⁻¹) uygulanmıştır. Çalışma sonucunda, ikinci uygulama sezonunda 100 kg da⁻¹ dozundan en yüksek kazancın sağlandığı görülmüştür. 100 kg da⁻¹ uygulamasından daha yüksek leonardit dozları ekonomik yönden uygun bulunmamıştır.

ABSTRACT

It is very difficult for farmers to accept agricultural practices that do not have economic benefits and will create extra costs. However, it is very easy for the farmers to adopt the practices that improve the soil properties as well as increase the yield and make a profit if applied. In addition to the effect of organic soil conditioners applied to the soil on plant growth and soil properties, it is also very important whether there is an economic return or

**Sorumlu Yazar*

E-posta Adresleri: betul.kolay@tarimorman.gov.tr (Betül KOLAY), arozturkmen@harran.edu.tr (Ali Rıza ÖZTÜRKMEN)

not. Leonardite is an organic soil conditioner used in soil remediation. This study was carried out to determine the economic return of the leonardite application to the soil at different rates in red lentil cultivation. This research was carried out in the province of Diyarbakir, where red lentils are widely grown in Turkey under rainfall conditions. In the study, the profitability of leonardite applications was determined, and for this purpose, partial budgeting technique was used in economic analysis. Leonardite material was applied at the same rates (0, 1000, 1500, 2000 and 2500 kg ha⁻¹) for two consecutive years. It was conducted that highest gain was obtained from the dose of 1000 kg ha⁻¹ rate in the second application season. It was also conducted that higher leonardite rates than 1000 kg ha⁻¹ are not cost effective.

1. GİRİŞ

Kırmızı mercimek Türkiye’de üretimi yapılan önemli bir baklagil bitkisidir. İçeriğinde bulunan yüksek protein oranı nedeniyle insan beslenmesinde kullanımı oldukça önemlidir. Türkiye’nin daha çok Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde yağışa dayalı tarım alanlarında yetiştirilmektedir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi kırmızı mercimekte toplam ekilişin % 91.78’ini ve toplam üretimin ise % 93.51’ini oluşturmaktadır [1]. Bölge illeri içerisinde en fazla üretim Şanlıurfa ve Diyarbakır’da gerçekleştirilmektedir.

Sürdürülebilir tarımsal üretim toprak ve su kaynaklarının bozulmadan korunmasını gerektirmektedir. Tarımsal üretimde çevre dostu uygulamalar tarımda sürdürülebilirlik açısından önem arz etmektedir. Bu uygulamalardan birisi olan organik toprak düzenleyicileri toprağın organik madde içeriğini artırır, fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirir. Dolaylı olarak bitkide verim artışı sağlama gibi faydaları bulunmaktadır.

Leonardit toprak ıslahında kullanılan bir organik toprak düzenleyicidir. Uygun dozda kullanıldıklarında toprağın fiziksel özellikleri üzerine olumlu etkileri tespit edilmiştir [2-6]. Türkiye leonardit yatakları yönünden zengindir. Bunların içerisinde, tarımsal amaçlı kullanılacak yüksek kaliteli leonardit barındıran yataklar vardır. Leonarditin tarımda kullanımı, Türkiye’de tarım arazilerinin iyileşmesini ve dolayısıyla tarımda sürdürülebilirliği sağlayabilir. Ancak hangi bitkide ne kadar kullanılacağı büyük önem arz etmektedir.

Bununla birlikte, yetiştiricileri leonardit kullanmaya ikna etmek için leonardit uygulamanın sağlayacağı verim artışının maliyeti karşılması ve kar sağlanması gerekmektedir. Literatürde leonardit materyalinin toprağın bazı fiziksel özellikleri üzerine olan olumlu etkileri ile ilgili araştırmalar bulunmaktadır [5,7,8]. Ancak leonardit uygulamasının üreticilere getireceği ekonomik yüke karşılık bu uygulamadan elde edeceği kar yeterince incelenmemiştir. Bu nedenle, bu çalışmada Diyarbakır koşullarında kırmızı mercimek yetiştiriciliğinde, farklı leonardit miktarları, iki yetiştirme sezonu süresince toprağa uygulanmış ve karlılığı hesaplanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1 Çalışmada Kullanılan Bitkisel Materyal

Bu çalışmada GAP Uluslararası Tarımsal Araştırma ve Eğitim Merkezi Müdürlüğü tarafından geliştirilen Fırat-87 kırmızı mercimek çeşidi kullanılmıştır. Çeşidin bitki boyu 40-50 cm, ilk bakla yüksekliği 16-20 cm'dir. Çiçeklenme gün sayısı 162-167 gün, fizyolojik olum gün sayısı 190-230 gündür. Kışlık büyüme tabiatı ve yarı yatık büyüme şekline sahip olan çeşidin bin tane ağırlığı 35-40 g, tane verimi ise 175-225 kg da⁻¹ civarındadır [9].

2.2 Çalışmada Kullanılan Leonardit

Bu çalışmada Kahramanmaraş ili, Afşin-Elbistan ilçeleri civarındaki yataklardan çıkarılan katı formdaki bir leonardit kullanılmıştır. Kullanılan leonardite ait özellikler Tablo 1'de verilmiştir.

Kullanılan leonarditin toplam çinko, toplam kurşun, toplam nikel ve toplam kadmiyum içeriğinin, dedeksiyon limitinin altında olduğu tespit edilmiştir.

23 Şubat 2018 tarihinde Resmi Gazete'de yayınlanan "Tarımda Kullanılan Organik, Mineral ve Mikrobiyal Kaynaklı Gübrelere Dair Yönetmelik" kapsamında, tarımda kullanılacak leonarditlerin CaCO₃ oranının en fazla % 8, toplam humik+fulvik asit oranının en az % 40 ve maksimum nem içeriğinin en fazla % 35 olması gerektiği bildirilmiştir. Tablo 1 incelendiğinde, çalışmada kullanılan leonarditin bu özellikleri taşıdığı görülmektedir [10].

Tablo 1. Çalışmada kullanılan leonarditin içeriği

Özellik	Birimi	İçerik
Organik madde	%	75.05
Humik+fulvik asit	%	95.46
EC	mmhos cm ⁻¹	1.94
pH	-	5.76
Nem	%	35
CaCO ₃	%	2.27
Toplam azot	%	1.3
Toplam fosfor	%	0.45
Toplam potasyum	%	0.07
Toplam kükürt	%	6.12
Toplam sodyum	%	0.90
Toplam kalsiyum	mg kg ⁻¹	14 569
Toplam magnezyum	mg kg ⁻¹	2 825
Toplam bor	mg kg ⁻¹	37
Toplam demir	mg kg ⁻¹	9 273
Toplam bakır	mg kg ⁻¹	4.76
Toplam mangan	mg kg ⁻¹	26.67
Toplam krom	mg kg ⁻¹	44.65
Toplam molibden	mg kg ⁻¹	10.72

2.3 Deneme Alanı İklim Özellikleri

Çalışmanın yürütüldüğü Diyarbakır iline ait uzun yıllar ortalaması (1929-2020) ve 2018-2019 ve 2019-2020 kırmızı mercimek yetiştirme sezonuna ait iklim verileri Tablo 2’de verilmiştir [11].

Tablo 2. Deneme alanı iklim özellikleri

YILLAR	İncelenen Veriler	AYLAR									
		Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	
Uzun Yıllar	Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	25.4	16.3	9.2	6.7	9.1	14.5	20.4	26.6	33.6	
	Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	10.1	4.2	-0.2	-2.3	-1.0	2.5	7.0	11.2	16.6	
	Ortalama Sıcaklık (°C)	17.5	9.7	4.0	1.7	3.7	8.3	13.8	19.3	26.0	
	Aylık Toplam Yağış Miktarı (kg m ⁻²)	33.0	55.2	72.3	70.7	67.6	66.7	70.0	44.4	8.7	
2018-2019	Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	25.8	15.5	9.9	7.8	10.9	13.7	17.8	28.3	37.0	
	Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	12.4	5.7	3.1	0.1	0.4	3.1	5.8	11.1	18.2	
	Ortalama Sıcaklık (°C)	18.7	10.2	6.2	3.9	5.3	8.2	11.8	20.2	28.3	
	Aylık Toplam Yağış Miktarı (kg m ⁻²)	76.6	88.2	190.8	67.6	77.4	135.2	152.6	45.8	1.0	
2019-2020	Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	27.7	18.3	11.4	8.3	8.6	16.4	20.1	26.7	34.7	
	Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	11.2	2.4	3.0	-1.5	-0.5	5.3	7.1	11.2	16.3	
	Ortalama Sıcaklık (°C)	19.1	9.7	6.8	3.6	3.7	10.6	13.5	19.3	26.1	
	Aylık Toplam Yağış Miktarı (kg m ⁻²)	52.0	9.0	185.4	89.4	58.6	164.8	110.0	63.2	0.6	

Tablo 3’de görüldüğü gibi, 2018-2019 ve 2019-2020 üretim sezonlarının her ikisinde de özellikle Aralık, Mart ve Nisan aylarında uzun yıllar ortalamasından çok daha fazla yağış düşmüştür.

2.4 Yöntem

Çalışma, Diyarbakır İlinde, 2018-2019 ve 2019-2020 kırmızı mercimek üretim sezonlarında, tarla koşullarında ve yağışa dayalı şartlarda, tesadüf blokları deneme desenine göre çakılı ve 4 tekerürlü olarak yürütülmüştür. Leonarditin 5 farklı dozunun incelendiği çalışmada her iki üretim sezonunda da aynı parselde aynı oranda leonardit dozu uygulanmıştır. Uygulanan leonardit dozları şu şekildedir: 1- Dekara 0 kg leonardit (kontrol), 2- Dekara 50 kg leonardit, 3- Dekara 100 kg leonardit, 4- Dekara 150 kg leonardit, 5- Dekara 200 kg leonardit, 6- Dekara 250 kg leonardit. Bu dozlar, yapılan literatür incelemesi sonucunda tarla koşullarında çeşitli bitkilerin yetiştiriciliğinde kullanılan dozlar dikkate alınarak belirlenmiştir [5, 12, 13, 14].

Elde edilen verim değerleri varyans analizine tabi tutularak, leonardit dozları arasındaki farklılıklar LSD testi ile karşılaştırılmıştır. Daha sonra uygulamaların toplam gelir ve toplam giderleri belirlenmiştir. Kısmi bütçe ekonomik analizi yöntemiyle uygulamaların kar miktarları tespit edilmiştir.

2.5 Deneme Alanı Toprak Özellikleri

Deneme alanında, 0-20 cm toprak derinliğinde belirlenen toprak özellikleri Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Deneme alanı toprak özellikleri

Özellik	Birimi	İçerik
Su ile doygunluk	%	72.5
Toprak bünyesi	-	Kil
Kum	%	25.84
Kil	%	56.50
Silt	%	17.66
Toplam tuz	%	0.023
Ph	-	7.70
Kireç (CaCO ₃)	%	7.31
Bitkiye yararlı P ₂ O ₅	kg da ⁻¹	1.49
Bitkiye yararlı K ₂ O	kg da ⁻¹	94.38
Organik madde	%	0.96
Tarla kapasitesi	%	46.92
Daimi solma noktası	%	19.91
Hacim ağırlığı	g cm ⁻³	1.52
Toprak özgül ağırlığı	g cm ⁻³	2.75
Kasyon değişim kapasitesi	me 100 g ⁻¹	23

Deneme alanı toprağı killi bünyeye sahiptir. Alkali karakterli olup organik madde içeriğı düşüktür. Orta kireçli, tuzsuz, bitkiye yararlı fosfor yönünden fakir ve bitkiye yararlı potasyum yönünden zengindir.

2.6 Farklı Leonardit Uygulamalarının Ekonomik Analizi

Çalışmada tüm parsellere aynı şekilde toprak işleme yapılmış, aynı oranlarda tohum ve kimyasal gübre kullanılmıştır. Ekim ve hasat işlemleri de aynı şekilde yapılmıştır. Uygulamalar arasındaki farklılık sadece leonardit uygulamalarından kaynaklanmıştır. Çalışmanın 2018-2019 üretim sezonunda verim açısından uygulamalar arasında farklılık olmadığından dolayı ekonomik analiz 2019-2020 üretim sezonu için yapılmıştır.

Bütün parsellerde ilki pulluk ve ikincisi kültüvator ile olmak üzere iki kez toprak işleme yapılmıştır. Ekimler metrekareye 300 adet tohum gelecek şekilde dekara 12 kg tohum hesaplanarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada Fırat-87 kırmızı mercimek çeşidi kullanılmıştır. Ekimle birlikte bütün parsellere dekara 17 kg DAP ve 2.5 kg üre kullanılmıştır. Uygulama yıllarında parsellerde herhangi bir hastalık veya zararlı görülmediğinden dolayı ilaçlama yapılmamış, yabancı ot temizliğı el ile yapılmıştır.

Çalışmada gider kalemlerindeki farklılık sadece farklı miktarlardaki leonardit uygulamalarından kaynaklanmakta olup, leonardit giderleri 2019 yılı için 0.35 TL kg⁻¹ leonardit fiyatı üzerinden hesaplanmıştır. Toplam gelir, tane geliri ve tarımsal destekleme miktarlarının toplamı olarak

hesaplanmıştır. Bölgede mercimek hasadı biçerdöver sahipleri tarafından saman karşılığı yapıldığı için yan ürün geliri hesaplanmamıştır. Leonardit dışındaki giderler bütün parseller için sabittir ve Tablo 5’deki gibi hesaplanmıştır. Bir dekar alan için hesaplanan sabit ve değişir giderler (TL da⁻¹) Tablo 5’de görülmektedir.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1 Farklı Leonardit Uygulamalarının Tane Verimi Üzerine Etkisi

Çalışmadan elde edilen tane verimi değerleri Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Farklı leonardit uygulamalarına göre tane verimleri (kg da⁻¹)

Leonardit Dozları	Yıllar	
	2018-2019 Üretim Yılı	2019-2020 Üretim Yılı
0 kg da ⁻¹	67.98	73.03 B
50 kg da ⁻¹	65.87	81.75 AB
100 kg da ⁻¹	64.47	88.95 A
150 kg da ⁻¹	70.21	75.59 B
200 kg da ⁻¹	68.30	75.53 B
250 kg da ⁻¹	71.73	71.39 B
D.K.	16.90	19.68
E.G.F.	ö.d.	12.86*

A, B: Aynı sütunda farklı harfleri taşıyan değerler arasındaki farklılık önemlidir (P<0.05), D.K.: Değişim katsayısı, E.G.F.:En güvenilir fark

2018-2019 ve 2019-2020 üretim sezonlarında meydana gelen ortalama üzerindeki yağışların, her iki üretim sezonunda da kırmızı mercimek üretiminde verim düşüklüğüne neden olduğu düşünülmektedir. Tablo 4’e göre, çalışmanın ilk yılı olan 2018-2019 üretim sezonunda leonardit dozları arasında verim açısından istatistiksel olarak farklılık bulunmamıştır. Leonardit uygulamalarının ilk üretim yılında verim açısından bir farklılık yaratmadığı görülmüştür. Ancak çalışmanın ikinci yılında uygulamalar arasında anlamlı farklılıklar oluşmuştur. En yüksek verim 100 kg da⁻¹ leonardit uygulamasından elde edilmiştir. 100 kg da⁻¹ leonardit uygulamasına kadar verim artarken, daha yüksek leonardit dozlarında verimin düştüğü tespit edilmiştir.

3.2 Farklı Leonardit Uygulamalarının Ekonomik Analizi

Çalışmanın ekonomik analizinde kısmi bütçeleme tekniği kullanılmıştır. Bu yöntem alternatif bir uygulamanın masraf ve gelirlerini karşılaştıran bir planlama ve karar verme aracıdır. Yalnızca belirli bir alternatifin uygulanmasından kaynaklanacak gelir ve giderlerdeki değişiklikler dikkate alınmakta, etkilenmeyen gelir ve gider kalemleri dikkate alınmamaktadır [15].

Gelir ve maliyetlerdeki değişiklikler artış veya azalış şeklinde olabilir. Bu çalışmada leonardit uygulaması dışındaki toprak hazırlığı, tohum, gübre, ekim, hasat vb. bütün işlemler ortak olduğu için

gelir ve maliyetlerdeki değişimin yalnızca verim farklılıkları ve farklı leonardit uygulama oranlarından kaynaklanacağı öngörülmüştür.

Tablo 5. Çalışmada hesaplanan leonardit uygulamasına göre değişen ve değişmeyen giderler (TL da⁻¹)

Leonardit Dozları (kg/da)	Leonardit Uygulamasından Etkilenmeyen Giderler					Ara Toplam	Leonardit Uygulama Giderleri (5)	Toplam Giderler (TL da ⁻¹)
	Tohum Giderleri (1)	Yakıt Giderleri (2)	Gübre Giderleri (3)	Bakım ve İşçilik giderleri (4)	Hasat ve Harman Giderleri			
0	96.00	24.00	53.62	130.00	-	303.62	0.00	303.62
50	96.00	24.00	53.62	130.00	-	303.62	17.50	321.12
100	96.00	24.00	53.62	130.00	-	303.62	35.00	338.62
150	96.00	24.00	53.62	130.00	-	303.62	52.50	356.12
200	96.00	24.00	53.62	130.00	-	303.62	70.00	373.62
250	96.00	24.00	53.62	130.00	-	303.62	87.50	391.12

¹ Tohum giderlerinin hesabında tohumluk fiyatı 5 TL kg⁻¹ olarak alınmıştır [16]

² Toprak işleme giderlerinin hesabında pulluk, kültivatör ve ekim için dekara sırasıyla 1.98 L, 1.18 L ve 0.81 L akaryakıt tüketimi [17] ve 6.07 TL L⁻¹ akaryakıt fiyatı esas alınmıştır [18].

³ Bütün parsellere dekara 17 kg DAP ve 2.5 kg üre olacak şekilde gübre uygulanmış 2019 yılı gübre giderleri her iki gübre için 2.75 TL/kg fiyat üzerinden hesaplanmıştır [GAP UTAEM Resmi Kayıtları].

⁴ Parsellerde yabancı ot kontrolü elle yapılmış olup, dekara 130 TL işçilik gideri hesaplanmıştır.

⁵ Leonardit fiyatı 0.35 TL/kg olarak alınmıştır [Firma Satış Fiyatı Beyanı].

Tablo 6. 2019-2020 yılı kısmi bütçe ekonomik analiz sonuçları

Leonardit Dozları (kg da ⁻¹)	Mercimek Geliri (TL da ⁻¹)	Destekleme Miktarı (TL da ⁻¹)	Toplam Gelir (TL da ⁻¹)	Etkilenmeyen Giderler (TL da ⁻¹)	Leonardit Giderleri (TL da ⁻¹)	Toplam Giderler (TL da ⁻¹)	Net Kâr (TL da ⁻¹)
0	254.14	64.78	318.92	303.62	0.00	303.62	15.30
50	284.49	72.51	357.00	303.62	17.50	321.12	35.88
100	309.55	78.90	388.44	303.62	35.00	338.62	49.82
150	263.05	67.05	330.10	303.62	52.50	356.12	-26.02
200	262.84	67.00	329.84	303.62	70.00	373.62	-43.78
250	248.44	63.32	311.76	303.62	87.50	391.12	-79.36

¹ 2020 mercimek üretici fiyatı 3.48 TL kg⁻¹ olarak alınmıştır [18].

² Tarımsal destekleme toplamı miktarı 0.887 TL kg⁻¹ olarak alınmıştır [18].

Net kâr, toplam gelirden toplam giderlerin çıkarılması ile hesaplanmıştır. Tablo 6'da görüldüğü gibi, yapılan ekonomik analiz sonucunda da 100 kg da⁻¹ dozunda leonardit uygulamasının iki yıllık uygulama sonucunda en kârlı yöntem olduğu tespit edilmiştir.

4. SONUÇLAR

Sürdürülebilir tarım açısından çevre dostu tarımsal metotların uygulanması gereklidir. Tarımsal üretim yaparken, sürdürülebilirliği sağlamak açısından toprağı korumak gerekir [14]. Bu amaçla toprağı farklı organik gübreler ve organik toprak düzenleyicileri uygulanabilmektedir. Bu materyallerin tarımda

kullanılmasında toprak ve bitki gelişimine olan etkilerinin yanı sıra ekonomik olarak sağlayacağı yarar da oldukça önemlidir. Gelir artışı masrafını karşılamayan uygulamaların, üreticiler tarafından kabulü mümkün değildir.

Toprağa uygulanan kimyasal gübrelerin toprak ıslahı üzerine herhangi bir olumlu etkisinin olmadığı, aksine toprağın bazı fiziksel özellikleri üzerine olumsuz etkileri olduğu bilinmektedir. Bu nedenle kimyasal gübrelerin ekonomik maliyeti oldukça önemlidir. Leonardit materyali gibi organik toprak düzenleyiciler ise, toprağa uygulanmasında ise toprak özelliklerini iyileştirir ve dolaylı olarak verim artışı sağlarlar. Ancak bu materyalleri kullanmaları durumunda üreticilerin ekonomik olarak nasıl etkileneceklerinin de tespit edilmesi gerekmektedir. Leonardit materyalinin farklı dozlarının farklı bitkilere uygulanması sonucunda, bitki gelişimi ve toprak özellikleri üzerine olan etkisi ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Ancak bu çalışmalarda, leonardit materyalinin uygulanmasının çiftçiye getireceği maliyet ve elde edilecek verim artışının bu maliyeti karşılama oranı incelenmemiştir. Uygulamalar sonucunda elde edilecek net karın çok önemli olması nedeniyle bu çalışma yürütülmüştür. Bu çalışmada, kırmızı mercimek bitkisine uygulanarak toprak yapısını iyileştirmesi ve verim üzerine olumlu etkileri beklenen leonarditin farklı dozları uygulanmış ve en karlı uygulanma dozu belirlenmiştir.

Çalışmanın ilk üretim sezonunda leonardit uygulamalarının verim üzerine istatistiksel olarak etkisi olmazken, ikinci üretim sezonunda 100 kg da⁻¹ leonardit uygulamasından daha yüksek tane verimi elde edilmiştir.

Leonarditin, kırmızı mercimek bitkisinde iki yıl üst üste uygulanması sonucunda, çalışmanın ikinci yılı olan 2019-2020 üretim sezonunda, elde edilen toplam gelir ve gider dikkate alınarak yapılan kısmi bütçe ekonomik analizi sonucunda en karlı yöntemin 100 kg da⁻¹ leonardit uygulaması olduğu görülmüştür. Leonardit uygulamasının etkisi ilk yılda görülmemiş ancak ikinci yıl ortaya çıkmıştır. Bu etkinin kümülatif bir etki olduğu ve müteakip yıllarda daha da artacağı beklenmektedir. Bu beklentinin doğru olup olmadığı ve leonarditin ilk iki yıldan sonraki etkisinin nasıl olacağı, optimum leonardit dozunun kümülatif etki nedeniyle sonraki yıllarda azalıp azalmayacağı konusunun daha uzun soluklu çalışmalarla araştırılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü tarafından desteklenmiş, finanse edilmiş (Proje Numarası: TAGEM/TBAD/A/19/A7/P3/1073) ve aynı zamanda Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde tamamlanan doktora tezinden üretilmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını bildirmektedir.

ETİK BEYANI

Bu çalışmada, yazarlar “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamındaki tüm kurallara uyduklarını, ilgili yönergenin “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler” olarak belirtilen başlığı altındaki eylemlerden hiçbirini gerçekleştirmediklerini taahhüt ederler.

YAZARLARIN KATKILARI

Betül KOLAY: Kavramsallaştırma, liderlik sorumluluğu, metodoloji, veri toplama, verilerin düzenlenmesi, analiz, analiz araçlarını sağlama, finansman edinimi. Ali Rıza ÖZTÜRKMEN: Gözetim, inceleme, analiz araçlarını sağlama, proje yönetimi.

KAYNAKLAR

- [1] Türkiye İstatistik Kurumu. (2020a). Erişim tarihi:16.03.2020. [Online]. [https:// www.tuik.gov.tr/](https://www.tuik.gov.tr/)
- [2] F. Ferrini, A. Giuntoli, F. P. Nicese, S. Pellegrini, and N. Vignozzi, “Effect of fertilization and backfill amendments on soil characteristics, growth, and leaf gas exchange of english oak (*Quercus robur* L.),” *Journal of Arboriculture*, vol. 31, no. 4, pp.182–190, 2005.
- [3] Z. Alagöz, E. Yılmaz ve F. Öktüren, “Organik materyal ilavesinin bazı fiziksel ve kimyasal toprak özellikleri üzerine etkileri,” *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, c.19, sayı 2, s. 245-254, 2006.
- [4] H. Ulukan, “Tarla bitkileri tarımında humik asit uygulaması,” *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, c.11, sayı 2, s.119-128, 2008.
- [5] B. Kolay, S. Gürsoy, Ö. Avşar, N. Bayram, A. R. Öztürkmen, S. Aydemir ve H. Aktaş, “Buğday bitkisine uygulanan farklı miktarlarda leonarditin bazı toprak özelliklerine etkisi,” *Toprak Su Dergisi*, c.5, sayı 2, s.32-36, 2016.
- [6] E. H. Saraç, “Toprağın strüktürel gelişimi üzerine hümik asit ve leonardit uygulamalarının etkileri,” Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye, 2018.
- [7] Z. Alagöz, E. Yılmaz, F. Öktüren, “Organik materyal ilavesinin bazı fiziksel ve kimyasal toprak özellikleri üzerine etkileri,” *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, vol. 19, no. 2, pp. 245-254, 2006.
- [8] F. Ferrini, A. Giuntoli, F. P. Nicese, S. Pellegrini, N. Vignozzi, “Effect of fertilization and backfill amendments on soil characteristics, growth, and leaf gas exchange of english oak (*Quercus robur* L.),” *Journal of Arboriculture*, vol. 31, no. 4, pp. 182–190, 2005.
- [9] T. C. Tarım ve Orman Bakanlığı, GAP Uluslararası Tarımsal Araştırma ve Eğitim Merkezi Müdürlüğü. (2020b). Erişim tarihi: 25.03.2020. [Online]. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/gaputaem/Belgeler/%C3%A7e%C5%9Fit%20belgeleri/t%C3%BCrk%C3%A7e/mercimek/f%C4%B1rat%2087%20tr.pdf>
- [10] T. C. Cumhurbaşkanlığı, Resmi Gazete. (2018). Erişim tarihi:19.07.2021. [Online]. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/02/20180223-4.htm>

- [11] T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2021c). Erişim tarihi: 28.07.2021. [Online]. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?%20m=DIYARBAKIR>
- [12] Ö. Uçar, S. Soysal, M. Erman, “ Farklı Leonardit Dozlarının Nohut (*Cicer arietinum* L.)’un Verim ve Bazı Verim Özelliklerine Etkileri, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol. 20, s. 917-921, 2020.
- [13] M. T. Sağlam, E. Z. Özel, K. Bellitürk, “ İki farklı tekstüre sahip toprakta leonardit organik materyalinin mısır bitkisinin azot alınımına etkisi,” *SAÜ Fen Edebiyat Dergisi*, (2012-1), 2012.
- [14] Y. Z. Aygün, M. Mert, “Toprak düzenleyicileri ve azot uygulamalarının pamukta (*Gossypium hirsutum* L.) verim ve lif teknolojik özelliklere etkisi,” *Biyolojik Çeşitlilik ve Koruma*, vol. 13, no. 3, s. 290-297, 2020.
- [15] K. D. Olson, *Economics of farm management in a global setting*. USA. John Wiley & Sons, Inc., 2010.
- [16] T. C. Tarım ve Orman Bakanlığı. TİGEM. (2019). Erişim tarihi: 19.07.2021. [Online]. https://www.tigem.gov.tr/Web_UserFile/DosyaGaleri/2018/2/f934de4f-40e2-42d9-a193-bcf2d500102b/dosya/Yazl%C4%B1k%20Tohumluk%20Fiyatlar%C4%B1.pdf
- [17] T. Marakoğlu ve K. Çarman, “Buğday üretiminde azaltılmış toprak işleme ve direk ekim uygulamaları,” *Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, c. 22, sayı 46, s.73-76, 2008
- [18] T. C. Tarım ve Orman Bakanlığı. Strateji Geliştirme Başkanlığı Tarım Ürünleri Piyasaları (Mercimek). Haziran 2021. (2021b). Erişim tarihi: 19.07.2021. [Online]. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Belgeler/PDF%20Tar%C4%B1m%20%C3%9Cr%C3%BCnleri%20Piyasalar%C4%B1/2021-Haziran%20Tar%C4%B1m%20%C3%9Cr%C3%BCnleri%20Raporu/Mercimek,%20Haziran-2021,%20Tar%C4%B1m%20%C3%9Cr%C3%BCnleri%20Piyasa%20Raporu,%20TEPGE.pdf>



Araştırma Makalesi / Research Article

Türkiye’de Tarımsal Yükseköğretimde Tarımsal Yayım ve İletişim Dersinin Mevcut Durumu

Current Situation of Agricultural Extension and Communication Course in Agricultural Higher Education in Türkiye

Fatma ÖCAL KARA ^{1,*}, Songül AKIN ², Gülsüm ÖDEMİŞ ³

^{1,3} Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, 63300, Şanlıurfa, Türkiye

² Dicle Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, 21280, Diyarbakır, Türkiye

<https://doi.org/10.55007/dufed.1175962>

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihi

Alınış, 15 Eylül 2022

Revize, 26 Ekim 2022

Kabul, 27 Ekim 2022

Online Yayınlama, 22 Aralık 2022

Anahtar Kelimeler

Tarımsal yayım ve iletişim dersi,
Tarım danışmanı, Ziraat Fakültesi,
Ziraat mühendisi

ARTICLE INFO

Article History

Received, 15 September 2022

Revised, 26 October 2022

Accepted, 27 October 2022

Available Online, 22 December 2022

Keywords

Agricultural extension and
communication course, Agricultural
consultant, Faculty of Agriculture
Agricultural engineer

ÖZ

Tarımsal Yayım ve İletişim dersi; danışmanlık hizmetlerinde kullanılacak yöntem ve uygulamalar gibi teknik konuların yanı sıra kırsal toplum yapısı gibi sosyal konuları içermesi nedeniyle ziraat mühendisliği mesleğine, nitelikli bir danışman-üretici ilişkisine katkı sunabilecek bir derstir. Buna rağmen, ziraat fakültelerinin tarım ekonomisi bölümü dışındaki bölümlerinde bu ders tercih edilmemektedir. Bu çalışmada, Türkiye’de lisans düzeyinde verilen Tarımsal Yayım ve İletişim dersinin mevcut durumunun ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Bu maksatla 2022 yılı itibariyle 41 üniversitenin ziraat fakülteleri tam sayım örnekleme yöntemi ile çalışma kapsamına alınmıştır. Tarım Ekonomisi Bölümü dışındaki diğer bölümlerde dersin zorunlu işlenme oranı tarla bitkileri bölümünde %45, bahçe bitkileri bölümünde %28 ve hayvan bilimleri bölümünde %14 olarak belirlenmiştir. Bu sonuç, "Ziraat mühendisi" unvanına sahip birçok mezunun mezun oldukları bölümlerin müfredatlarında bu dersin bulunmamasından dolayı insan kaynaklarının önemini ve özelliklerini iyi anlamadan kariyerlerine başladıkları şeklinde yorumlanabilir. Bu eksikliğin telafî edilebilmesi için Tarımsal Yayım ve İletişim dersinin diğer birçok servis dersi gibi tüm bölümlerde zorunlu olarak okutulması gerektiği değerlendirilmektedir.

ABSTRACT

As it includes technical methods and practices to be used in consultancy services, along with the social subjects such as rural society structure, Agricultural Extension and Communication course can greatly contribute to the agricultural engineering profession with a qualified consultant-producer relationship. However, this course is not preferred by most departments in agricultural faculties other than the department of agricultural economics. In this study, it is aimed to reveal the current situation of the Agricultural Extension and Communication course given

*Sorumlu Yazar

E-posta Adresleri: focal@harran.edu.tr (Fatma ÖCAL KARA), sakin@dicle.edu.tr (Songül AKIN),
odemisgulsum01@gmail.com (Gülsüm ÖDEMİŞ)

at the undergraduate level of education in Türkiye. For this purpose, as of the year 2022, agricultural faculties of 41 universities were included in the study with the complete enumeration sampling method. The inclusion rate of this course in curricula as compulsory course was determined to be 45%, 28% and 14% for the departments of field crops, horticultural crops and animal sciences respectively, except for the Department of Agricultural Economics. This result can be regarded that many graduates with the title of "Agricultural engineer" start their careers without a good understanding of the importance and characteristics of human resources due to the lack of this course in the curriculum of the departments they were graduated. For the compensation of this deficiency, we conclude that the Agricultural Extension and Communication course should be included in the curriculum of all departments as a compulsory course like many other core courses.

1. GİRİŞ

Son yıllarda yaşanan pandemi, küresel ekonomik kriz gibi sorunlar, tarımın önemini çarpıcı bir şekilde bir kez daha ortaya koymaktadır. İklim değişikliği, nüfus artışı, sağlık, ekonomi ve iletişimde değişen koşullar, tarıma olan ihtiyacı artırmaktadır. Dünyada tarımdaki kırsal kalkınma ve sürdürülebilirlik eğilimleri, tarımsal üretimde kullanımı giderek yaygınlaşan ileri düzey teknoloji ve organizasyonlar, gıda güvenliğine daha duyarlı hale gelen tüketici tercihleri yanında Türkiye'nin belirtilen avantajlarına dayalı tarımsal potansiyelini doğru bir şekilde okuyarak çok yönlü bir anlayışla tarım sektörüne yeniden bakmak gerekmektedir [1]. Tarımsal üretimin beslenme ve diğer fonksiyonlarını yerine getirebilmesi için doğal kaynakların verimli kullanılması gerekir. Bunu ilk gerçekleştirecek olan aktör ise tarımsal üreticidir ve en önemli niteliği ise, "insan" olmasıdır [2]. Bu nedenle, tarımsal üretimi gerçekleştiren insan ögesinin daha fazla geliştirilebilmesi için üreticiye tarımsal yayım ve danışmanlık çalışmasını verebilecek nitelikli tarımsal danışmanların yetiştirilmesi gerekmektedir. Bu önemli ihtiyaç da ancak tarımsal yükseköğretimle karşılanabilir.

Tarımsal yayım, üretim ve pazarlama kararlarında kullanılmak üzere tarımsal bilgi ve teknolojinin çiftçilere aktarılması ve benzer şekilde çiftçilerden araştırmacılara bilgi aktarılması sürecidir [3,4]. Tarımsal yayım bilgi ve fikirleri çiftçilere ve ailelerine yayımcıların aracılığıyla aktardığı iki yönlü bir bağlantıdır. Tarımsal verimliliğinin artırılması ve sürdürülebilir olması için, çiftçilerin uygun becerilere ve araştırma yoluyla üretilebilecek ve yayım yoluyla aktarılacak bilgiye erişime sahip olmaları gerekir. Şüphesiz bunu sağlayacak olan aktör, ziraat mühendisidir.

Burada Tarımsal Yayım anabilim dalının da ne derece önemli olduğu açıkça ortaya çıkmaktadır. Tarımsal Yayım Bilim dalı, tüm kuram ve eyleminde insanı başköşesine yerleştirir. Buna karşın, Türkiye'de ziraat fakültelerindeki dersler incelendiğinde bu bilim dalına hak ettiği önemin verildiğini söylemek oldukça zordur.

Tarımsal Yayım ve İletişim dersi, daha önceki yıllarda tüm bölümlerde “Tarımsal Yayım ve Haberleşme” dersi olarak programlarda yer alırken, giderek bu dersi alan bölüm sayısı azalmış, sonunda neredeyse sadece ilgili bölüm olan Tarım Ekonomisi lisans öğrencilerinin aldığı bir ders durumuna gelmiştir [5]. Tarımsal Yayım ve İletişim dersi, içeriği ve uygulamaya katkısı açısından çok önemli olmasına karşın, Tarım Ekonomisi dışındaki bölümlerde hak ettiği ilgiyi görememektedir. Birçok bölüm müfredatında bu ders olmadığından bu bölümlerden mezun olup, “Ziraat Mühendisi” unvanını alan bir mezun, meslek hayatına “insan kaynağının önemini” kavrayamadan, insan davranışını algılayamadan, yetişkin eğitiminin özelliklerini anlayamadan, danışmanlık hizmetlerinde hangi yöntemleri hangi koşullar altında ve nasıl kullanacağını bilemeden ve henüz kır toplum yapısını çözümlenmeden başlamaktadır.

Bu çalışmada, Türkiye’de yükseköğretimde ziraat fakültelerinde verilen Tarımsal Yayım ve İletişim dersinin mevcut durumunu ortaya koymak, soruna yönelik öneriler geliştirmek amaçlanmıştır ve çalışmada aşağıdaki sorulara cevap aranmıştır:

- Günümüzde tarımsal yükseköğretimin durumu nedir?
- Tarımsal Yayım ve Haberleşme Bilim dalı neden önemlidir? Amacı, kapsamı nedir?
- Dersin kazanımları nelerdir?
- Ziraat Fakültelerinde Tarım Ekonomisi Bölümü tarafından verilen Tarımsal Yayım ve İletişim dersine diğer bölümlerin verdiği önem ne düzeydedir? Müfredatlarında ne kadar yer almaktadır?
- Tarımsal yükseköğretimde bu ders için ne gibi öneriler sunulabilir?

2. MATERYAL VE METOT

Türkiye’de yükseköğretimde ziraat fakültelerinde lisans düzeyinde verilen Tarımsal Yayım ve Haberleşme dersinin mevcut durumunu ortaya koymak amacıyla yapılan bu çalışmada, tüm ziraat fakültelerindeki bölümler araştırma kapsamına alındığından tam sayım örnekleme yöntemi kullanılmıştır. 2022 yılında Ziraat Fakültesi bulunan 41 üniversitenin web sitelerinden bölümlere ulaşılmış ve son iki yıla ait müfredatları incelenmiş, bu müfredatlarda özellikle Tarımsal Yayım ve İletişim dersinin mevcut olup olmadığı ve ayrıca iletişim alanı ile ilgili benzer derslerin de bulunup bulunmadığı araştırılmıştır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Çalışmada araştırma bulguları “Tarımsal Yükseköğretimin Önemi”, “Tarımsal Yayım Nedir?”, “Tarımsal Yayım ve İletişim Dersi Kapsamında Verilen Konular”, “Türkiye’de Tarımsal

Yükseköğretimde Tarımsal Yayım ve İletişim Dersinin Mevcut Durumu” olmak üzere dört başlık altında incelenmiştir.

3.1 Tarımsal Yükseköğretimin Önemi

Eğitim, tarihsel süreç içerisinde tüm toplumların gelişme süreçlerine bağlı olarak, temel ihtiyaçları karşılamayı öğrenmeden tarımsal üretimin yöntem ve tekniklerinin bilgisinin aktarılmasına doğru evrilmiş; endüstrileşme ile beraber daha geniş kitlelere ulaşabilmek için okullaşma ortaya çıkmıştır[6]. Bir bireyi, diğer bireyden daha üstün yapan en önemli kriterlerden birisi almış olduğu eğitimidir. Birey, eğitim ve öğretim faaliyetlerinin bütünü içerisinde bilgi ve beceri kazanır. Bu nitelikte insan yetiştirme, endüstri devrimi sonrasında hız kazanmaya başlamış, 19. ve 20. yüzyılda toplumların öncelikli hedefi haline gelmiş, çağımızda da yeni boyutlar ve araçlarla sürdürülmekte ve eğitimle bireyin toplumsallaşma sürecine katkı sağlanmaktadır. Bir toplumda yetişmiş nitelikli insan varlığı, hem o toplumun gelişmişliğini hem de diğer toplumlardan üstünlüğünü gösterir. Bu nedenle, bilgi toplumlarını diğer toplumlardan ayıran en karakteristik nitelik, yetiştirdiği “kaliteli birey” sayısıdır. Bilgi-iletişim toplumu, her türlü etkinliğini bilgi ve iletişim araçlarının kullanımıyla gerçekleştiren ve bu amaçla bilgi, teknoloji ve uygulama üreten toplumdur. Çünkü bilgi-iletişim toplumlarının başarılarının en temelinde kaliteli eğitim ile yetiştirilmiş nitelikli bireyler bulunmaktadır[7]. Tarımsal yükseköğretimin de tarım sektörüne hizmet sunacak nitelikli insan yetiştirmedeki payı büyüktür.

Türkiye’de de en önemli insan kaynağı, liderlik vasıflarına sahip, iyi eğitim görmüş, yaratıcı bireylerdir. Son yıllarda ortaya atılan kalkınma kuramları veya yaklaşımlarında insan, kalkınmanın temel noktası biçimine gelmiştir. Sürdürülebilir kalkınma (sustainable development) ve kapasite geliştirme (capacity building) yaklaşımları bu konuda verilebilecek en iyi örneklerdir [8,9].

1848’de İstanbul Ayamama’da “Ziraat Talimhanesi” adı ile ilk tohumu atılan tarımsal yükseköğretim, Halkalı Ziraat Mekteb-i Ali’si, Ankara Yüksek Ziraat Mektebi, Yüksek Ziraat Enstitüsü Ziraat Fakültesi, sonra da Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi olarak devam etmiştir. 1955 yılında Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesini, 1957 yılında açılan, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi takip etmiş ve değişik isimlerle bu fakültelerin sayısı bugün 39’a (1’i vakıf üniversitesi) ulaşmıştır [10].

Dünya yükseköğretimi çok hızlı bir değişim ve gelişim içindedir. Öğrenci odaklı eğitime geçiş, eğitim programlarında yeterliliklerin şeffaf bir şekilde tanımlanması, eğitim araç ve gereçlerine daha kolay ulaşabilme, müfredat çeşitliliğinin artması, gibi değişimler söz konusu olmuştur. Üniversitelerde; yeniden gözden geçirilen örgün ve yaygın eğitim sistemleri, küreselleşen dünyaya cevap olarak uluslararasılaşma çabaları ve giderek daha çok talep edilen pahalı yükseköğretim

ücretleri öne çıkan gelişmelerden bazılarıdır[11,12,13]. Türkiye’de yükseköğretimde özellikle son 15 yılda çok hızlı yatay bir büyümeyle üniversite sayısı giderek artmaya başlamıştır. Bu büyüme, aynı hızda artırılamayan akademik personel ve fiziki koşulların yetersizliği nedeniyle yükseköğretimin kalitesinde de kaçınılmaz düşüşleri de beraberinde getirmiştir. Dünyadaki gelişmelere yeterince ayak uydurulamaması, Bologna sürecin araçlarının eğitimde yeterince kullanılamaması da yükseköğretim kalitesinde sıkıntılar yaşanmasına sebep olmuştur. Bu olumsuzluklar doğal olarak tarımsal yükseköğretimi de etkilemektedir [14,15,16].

Bir işin meslek sayılabilmesi için bazı koşullar vardır.

- Meslekler, üyeleri için fedakârca davranışlar eklerler. Başka bir deyimle bir mesleğin üyelerinin ana amacı kendilerine gereksinim duyanlara hizmet etmektir (öğrenciler, hastalar).
- Mesleklerin entelektüel bir boyutu vardır ve belirli bir akademik eğitim süresini gerektirirler. Bu akademik eğitim de uzmanlaşmayı beraberinde gerektirir.
- Bir meslekte “bütün meslek üyelerinin yer aldığı organize bir meslek örgütünün varlığı” gereklidir. Bu meslek örgütü, özerk olmalıdır ve mesleki uygulamalar için kabul edilebilir standartlar geliştirme gibi sorumlulukları da taşıyabilmelidir.
- Son olarak meslekler toplumda çok özel bir ilişki içindedirler. Bu özel ilişki, belirli meslek sahiplerine bazı güç ve ayrıcalıklar verir. Toplum bazı meslekler için ek imkânlar da sunar. Bir mesleğin toplumdaki sağladığı kazanımlarla, toplumun o meslekten sağladığı kazanımlar, bir meslek ile toplum arasında bir tür sosyal sözleşmenin varlığına işaret etmektedir. Bu sözleşme, belli bir meslek ile toplum arasındaki ilişkilerde ahlaki bir altyapı oluşturmaktadır [17,18].

Birçok meslek gibi ziraat mühendisliği mesleği de hem içinde bulunduğu toplumun sosyo-kültürel değerlerinden, hem de kendi mesleki etik sorumluluğundan doğrudan etkilenir. Mesleki kimlik belirlenirken toplumsal yapı ve mesleğin tarihsel süreci, etik açıdan gelişmesi belirleyici olmaktadır.

3.2 Tarımsal Yayım Nedir?

Tarım politikalarının etkinliğinin artırılmasında ve uygulanmasında tarımsal yayım önemli bir araçtır [19]. Tarımsal yayım, tarımsal üreticilerin sorunlarını kendi kendine yardım felsefesine göre çözebilmesi için tarım danışmanları tarafından güdülenerek fikir ve cesaret yeteneği kazandırmaya yönelik faaliyetlerdir [20]. Ayrıca tarımsal yayım, hemen hemen tüm dünyada başta tarımsal üreticiler olmak üzere kırsalda yaşamını devam ettiren topluma, bilimsel araştırma bulgularını ve yeni teknolojileri aktararak kırsal toplumun sosyal, kültürel ve ekonomik açıdan gelişmesine yönelik ve gönüllülük esasına dayalı okul dışı eğitimsel bir süreç olarak da tanımlanabilir [21]. Son yıllarda yapılan tarımsal yayım, tarımda üreticilere her konuda fikir oluşturma, doğru karar vermede yönlendirici olma, enformasyon ve iletişim yöntemlerini kullanabilmeye yönelik bir eğitim sistemi

olarak tanımlanmıştır [22]. Kısaca, tarımsal üreticinin gerek içselleştirdiği toplumsal, gerekse üretim sürecine bağlı davranışını değiştirmek için güdüleyerek bir girişimci olarak tarımsal üreticinin gerekli iş, işlem ve davranışları hayata geçirmesini kolaylaştıracak faaliyetlerdir [23].

Ziraat mühendisi (tarım danışmanı), meslek yaşamı boyunca sürekli tarımsal üreticilerle yüz yüze doğrudan ilişki içerisinde. Tarımsal yayım görevini gerçekleştirirken iletişim bilgi ve becerisine gereksinme duyar. Yapılacak iletişim hatası ile aralarında kurulabilecek güvenli ilişki başlamadan bozulabilir. Bu nedenle tüm ziraat mühendisleri için iletişim konusunu yükseköğrenim sürecinde öğrenmesi büyük önem taşır. Böylelikle hem meslek hayatında hem de sosyal çevresinde güvenli ilişkiler kurabilecektir. Temel iletişim becerilerini (Empati, dinleme, beden dili, kendini ifade etme, eleştiriye açık olma vb. özellikler) geliştirebilecektir. Bu da nitelikli bir tarımsal yayım ve danışmanlık eğitimi almış olmasına bağlıdır. Bu nedenle Tarımsal Yayım Anabilimdalı'nın önemi görmezden gelinemeyecek kadar büyüktür. Tarımsal üreticinin yaşamında toplumsal-ekonomik değişimin gerçekleşmesi için üretim tekniğini, işletme ekonomisini, toplumsal-ekonomik yapıyı, doğal kaynakları ve çevre korumayı temel alan katılımcı ve etkili bir yayım çalışmasına gereksinim duyulmaktadır.

3.3 Tarımsal Yayım ve İletişim Dersi Kapsamında Verilen Konular

Tarımsal Yayım ve İletişim dersinin zengin bir ders içeriği vardır ve ders içeriğinde verilen konular şunlardır: Tarımsal yayıma giriş (Tanımı, amacı, kavramlar, ilkeleri, önemi, gelişimi, dünyada ve Avrupa Birliği'nde tarımsal danışmanlık, tarımsal yayım sistemleri ve yaklaşımları, tarımsal yeniliklerin benimsenmesi ve yayılması, yetişkin eğitimi ve tarımsal yayım, tarımsal yayımda program planlama, proje yönetimi, izleme ve değerlendirme, iletişim (iletişim öğeleri, iletişim türleri, algılama, beden dili, motivasyon (güdüleme) teknikleri, çatışma yönetimi, bireysel, grup ve kitlesel tarımsal yayım yöntemleri, gruplarla çalışma teknikleri), kırsal kalkınma, tarımsal yayımda insan ögesi, katılımcılık, kırsal alanda kadın gibi birçok konuyu ders kapsamında ele alır [24].

Bu zengin ders içeriğinden dolayı, tarımsal yayımın birçok bilim dalı ile ilişkili olduğu söylenebilir. Tarımsal Yayım, üretim tekniği yönünden Bahçe Bitkileri, Tarla Bitkileri, Bitki Koruma, Tarımsal Mekanizasyon, Toprak bilimi, Gıda Bilimi, Tarımsal Yapılar ve Sulama, Zootekni gibi ziraat fakültesinin diğer bölümleriyle de ilişki içerisinde. Tarım ekonomisi açısından ise, tarım politikası, işletme yönetimi ve planlanması, örgütlenme, pazarlama gibi konularla yoğun ilişkisi olduğu kadar davranış bilimleri, sosyoloji, kırsal sosyoloji, sosyal psikoloji, yönetim, halkla ilişkiler, eğitim, iletişim, antropoloji gibi toplumsal bilim dalları dersin ilişkili olduğu diğer alanlardır [24]. Buna karşın, Tarımsal Yayım ve İletişim dersi, Türkiye koşullarında hak ettiği önemi henüz görememektedir. Tarım Ekonomisi Bölümleri tarafından ziraat fakültesindeki diğer bölümlere “Genel Ekonomi” ve “Tarım

Ekonomisi” dersleri servis dersi olarak verilmektedir. Üçüncü bir servis dersini diğer bölümler gereksiz görmektedir. Bu nedenle, birçok bölüm müfredatında bu ders bulunmamaktadır.

Boyacı ve Yıldız [25] araştırmasında, ders programlarında köy sosyolojisi, ekonomi ve tarımsal yayım konularına daha fazla yer verilmesi gerektiğini, ziraat mühendislerinin salt teknik konularla değil, eşzamanlı olarak sosyo-ekonomik konularda da becerilerle geliştirilmesi gerektiğini dile getirmiştir. Yavuz [15] ise, çalışmasında yükseköğretimde özellikle de son sınıfa gelindiğinde öğrencilere çok sayıda seçmeli dersler verilerek, öğrencilerin, dünyadaki lisans programlarının çeşitlenmesine paralel olarak tarımsal yayım, tarım politikası, tarımsal işletmecilik ve kırsal kalkınma gibi alanlarda daha fazla ders alarak lisans öğrencilerinin ek bir uzmanlık alanı elde etmelerinin sağlanabileceğini ileri sürmektedir. Kaynakçı ve Boz [26] ise çalışmasında, diploması olan her tekniker veya mühendisin, uzmanlık alanına ve yeterliliğine bakılmaksızın, kapsayıcı ve belirleyici olmayan bir sertifika sınavı ile yasal olarak tarım danışmanı olarak kabul edildiğini ileri sürmektedir. Ayrıca danışmanların ticari ve kişisel kaygılarını bir yana bırakıp yalnızca yeterli oldukları alanlarda hizmet verebilmeleri gerektiğini, bunun için henüz öğrencilik sırasında etik, ahlak ve meslek etiğine dair derslerin öğrencilere okutulması gerektiği görüşündedir. Tüm bu görüşlerin ortak noktası ziraat fakültelerinde verilen tarımsal yükseköğrenimin niteliğinin artması ve buna bağlı olarak tarım danışmanının niteliğinin iyileştirilmesi yönündedir.

3.3.1 Dersin Kazanımları

Ders içeriklerindeki dersin kazanımları incelendiğinde ortak kazanımlar belirlenmiştir. Bu bağlamda bu dersi alan öğrenci,

- Kırsal alandaki bireylerin ihtiyaçlarını tespit edebilir ve uygun proje ve programlar hazırlayabilir ve değerlendirebilir.
- Yeni bilgi ve teknikleri yetişkin eğitimi ilkeleri çerçevesinde farklı (bireysel, grup ve kitle) yöntemler kullanarak aktarabilir.
- Yeniliklerin kırsalda tanıtılması ve yayılmasına konusunda yeni becerilerin öğrencilere kazandırılması farklı yapıdaki gruplarla birlikte çalışabilir.
- Dünyada ve ülkemizdeki uygulanmakta olan farklı tarımsal yayım ve danışmanlık yaklaşımlarını bilir ve uygulayabilir.
- İletişim becerilerini geliştirir.
- İnsan kaynağının geliştirilmesi kavramının önemini farkındadır.

Bu dersi alan öğrencinin, Tarımsal Yayım ve Danışmanlık sınavındaki benzer konulardan dolayı sınavda daha başarılı olabileceği söylenebilir.

3.4 Türkiye’de Tarımsal Yükseköğretimde Tarımsal Yayım ve İletişim Dersinin Mevcut Durumu

Türkiye’de tarımsal eğitim, Ziraat Fakültesi, Tarım Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi, Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi, adı altında alınan fakültelerde verilmektedir. Fakültelerde öğretim süresi sekiz yarıyıl olup, genellikle tarımsal öğretim veren sekiz bölümden oluşmaktadır. Bunlar; Tarım Ekonomisi, Bahçe Bitkileri, Tarla Bitkileri, Tarım Makinaları, Zootečni, Tarımsal Yapılar ve Sulama, Bitki Koruma ve Toprak Bilimi bölümleridir. Son yıllarda bazı fakültelele Biyosistem Mühendisliği ve Tarımsal Biyoteknoloji gibi bölümler de eklenmiştir. Ziraat Fakültesi yeni açılan üniversitelerde, her bölüm aktif olarak öğretim yapamamaktadır. Özellikle son yıllarda ziraat fakültelerine azalan ilgi nedeniyle bazı bölümler ne yazık ki tercih edilmemektedir. 2023-2024 Öğretim yılında üniversiteye girişlerde barajın kaldırılması nedeniyle öğrenci sayısının artacağı beklenmektedir. Çalışmada Türkiye’de yükseköğretimde ziraat fakültelerinde verilen Tarımsal Yayım ve İletişim dersinin mevcut durumunu ortaya koymak amacıyla, Ziraat Fakültesi bulunan 41 üniversitenin web sitelerinden bölümlere ulaşılmış ve son iki yıla ait müfredatları araştırma kapsamına alınmıştır.

Tarımsal Yayım dersinin zorunlu ya da seçmeli olma durumları ise Tablo 2’de verilmiştir. Ayrıca bölümlerin müfredatında iletişim vb. derslerin olup olmadığı da araştırma kapsamına alınmıştır. 24 Tarım Ekonomisi Bölümü, 33 Tarla Bitkileri Bölümü, 35 Bahçe Bitkileri Bölümü, 35 Bitki Koruma bölümü, 20 Toprak Bölümü, 27 Zootečni Bölümü, 14 Tarım Makinaları Bölümü, 13 Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, 14 Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, 14 Biyosistem Mühendisliği Bölümü eğitim öğretime aktif olarak devam etmektedir (Tablo 1).

Tablo 2’de Tarımsal Yayım ve İletişim dersini zorunlu ders olarak müfredatına ekleyen bölümlerin oransal dağılımı verilmiştir. Ders, Tarım Ekonomisi Ana Bilim Dalına ait olduğundan aktif tüm bölümlerde verilme oranı %100’dür. Sırasıyla dersin zorunlu verilme oranı, Tarla Bitkileri, Bahçe Bitkileri ve Zootečni bölümlerinde sırasıyla %45,45, %28,57 ve %14,81 olarak hesaplanmıştır. Diğer bölümlerde verilme oranı ise %10’un altında kalmıştır.

Tarımsal Yayım ve İletişim dersi, bazı bölümlerin müfredatında zorunlu yerine seçmeli olarak yer almaktadır. Seçmeli olarak en fazla oranda Zootečni %29,17, Bahçe Bitkileri ve Bitki Koruma Bölümü’nde % 28,57 müfredata girmiştir (Tablo 3). Bu dersi alma, öğrencinin seçimine bırakıldığından seçmeme olasılığı da bulunmaktadır. Oysaki Tarımsal Yayım ve İletişim dersi her ziraat mühendisi, diğer bir deyişle tarım danışmanı adayının zorunlu alması gereken dersler arasında mutlaka olmalıdır. Böylelikle öğrencinin mesleki gelişimine katkı sağlanabilir.

Tablo 1. Türkiye’de Tarımsal Yükseköğretimde Tarımsal Yayım ve İletişim Dersinin Mevcut Durumu

Tarımsal Eğitim Veren Fakülteler	Tarım Ekonomisi		Tarla Bitkileri		Bahçe Bitkileri		Bitki Koruma		Toprak		Zootečni		Tarım Mak. ve Tek.		TYS		Tarımsal Biyo-Teknoloji		Biyosistem Müh.	
	TYİ	D	TYİ	D	TYİ	D	TYİ	D	TYİ	D	TYİ	D	TYİ	D	TYİ	D	TYİ	D	TYİ	D
1 Adıyaman Üni.	Bölüm yok		Öğr. yok		Öğr. yok		-	-	Öğr. yok		Bölüm yok		Bölüm yok		Bölüm yok		Bölüm yok		Bölüm yok	
2 Adnan Men. Üni.	Z	Z	-	S	-	Z	-	Z	-	Z	-	Z	-	Z	-	Z	-	Z	-	Z
3 Akdeniz Üni.	Z	-	Z	-	Z	-	-	-	-	-	Z	-	Z	-	Z	-	-	-	-	Bölüm yok
4 Ankara Üni.	Z	-	S	-	S	-	-	-	S	-	S	-	S	-	-	-	-	-	Bölüm yok	Bölüm yok
5 Atatürk Üni.	Z	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Bölüm yok
6 Bingöl Üni.	Bölüm yok		Z	Z	-	-	S	-	-	-	-	-	Bölüm yok		Bölüm yok		Bölüm yok		Bölüm yok	-
7 Bilecik Ş. Edebali Üni.	Bölüm yok		Z	-	Z	-	-	-	Bölüm yok		Bölüm yok		Bölüm yok		Bölüm yok		Bölüm yok		Bölüm yok	Z
8 Bolu Abant Üni.	Bölüm yok		-	-	-	-	-	-	Bölüm yok		Bölüm yok		Bölüm yok		Bölüm yok		Bölüm yok		Bölüm yok	Bölüm yok
9 Ç. Onsekiz Mart Üni.	Z	Z	Z	-	-	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	Z	Bölüm yok	Bölüm yok
10 Çukurova Üni.	Z	-	-	Z	Z	Z	-	Z	-	Z	-	-	-	Z	-	-	-	-	Bölüm yok	Bölüm yok
11 Dicle Üni.	Aktif değil		Z	-	-	-	-	Z	Bölüm yok		-	-	-	Z	Öğrenci yok		Bölüm yok		Bölüm yok	Bölüm yok
12 Düzce Üni.	Bölüm yok		Z	-	Aktif değil		S	-	Bölüm yok		BölümYo		Bölüm yok		Bölüm yok		S	Z	S	Z
13 Ege Üni.	Z	S	Z	Z	S	Z	S	Z	S	Z	S	Z	S	Z	S	Z	Bölüm yok		Bölüm yok	Bölüm yok
14 Erciyes Üni.	Bölüm yok		-	Z	-	Z	-	Z	-	Z	-	Z	Bölüm yok		Bölüm yok		-	-	-	Z
15 Gaziosmanpaşa Üni.	Z	Z	-	Z	S	Z	S	Z	Z	Z	-	Z	Bölüm yok		Bölüm yok		Bölüm yok		Bölüm yok	-
16 Harran Üni.	Z	S	Z	S	-	-	Z	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Bölüm yok	Bölüm yok
17 Iğdır Üni	Z	Z	-	Z	-	Z	-	Z	Aktif değil		-	Z	Bölüm yok		Bölüm yok		Bölüm yok		Aktif değil	-
18 Isparta Uyg. Bil. Üni.	Z	Z	-	Z	-	Z	S	Z	-	Z	S	-	-	Z	-	Z	-	-	-	Z
19 Kahramanmaraş Sütçü İmam Üni.	Z	Z	S	Z	S	Z	-	Z	S	Z	S	Z	Bölüm yok		Bölüm yok		Aktif değil		Bölüm yok	-
20 Kilis Üni.	Bölüm yok		Bölüm yok		S	-	Bölüm yok		Bölüm yok		Aktif değil		Bölüm yok		Bölüm yok		Bölüm yok		Bölüm yok	Bölüm yok
21 Mustafa Kemal Üni.	Z	Z	S	Z	S	Z	S	Z	S	Z	S	Z	Bölüm yok		Bölüm yok		Bölüm yok		Bölüm yok	S
22 Namık Kemal Üni.	Z	Z	-	Z	-	Z	-	Z	-	Z	-	Z	Öğrenci yok		Öğrenci yok		-	Z	-	Z
23 Necmettin Erbakan Üni.	Bölüm yok		Aktif değil		Bölüm yok		Bölüm yok		Bölüm yok		Bölüm yok		Bölüm yok		Bölüm yok		Bölüm yok		Bölüm yok	S
24 Niğde Ömer Halisdemir Üni.	Bölüm yok		Bölüm yok		Bölüm yok		Bölüm yok		Bölüm yok		Bölüm yok		Bölüm yok		Bölüm yok		Bölüm yok		Bölüm yok	Bölüm yok
25 Ondokuz Mayıs Üni.	Z	Z	Z	Z	Z	Z	-	Z	-	Z	-	Z	-	Z	-	Z	-	Z	-	Bölüm yok
26 Recep Tayyip Erdoğan Üni.	Bölüm yok		Z	-	Z	-	Bölüm yok		Bölüm yok		Bölüm yok		Bölüm yok		Bölüm yok		Bölüm yok		Bölüm yok	Bölüm yok
27 Sakarya Üni.	Bölüm Yok		Z	Z	Z	Z	Z	Z	Bölüm yok		Bölüm yok		Bölüm yok		Bölüm yok		Bölüm yok		Bölüm yok	Bölüm yok
28 Samsun Ondokuz Mayıs Üni.	Z	S	Z	S	Z	S	-	S	-	S	-	S	-	S	-	S	-	S	-	Bölüm yok
29 Selçuk Üni.	Z	Z	-	Z	-	Z	-	Z	-	Z	-	Z	-	Z	-	Z	-	Z	-	Bölüm yok
30 Süleyman Demirel Üni.	Z	Z	-	Z	-	Z	S	Z	-	Z	S	Z	-	Z	-	Z	-	Z	-	Bölüm yok

31 Uludağ Üni.	Z	Z	-	Z	-	Z	-	Z	-	Z	-	Z	Bölüm yok	Bölüm yok	Bölüm yok	-	Z
32 Uşak Üni.	Bölüm yok		-	Z	-	Z	-	Z	Bölüm yok	-	Z	Bölüm yok	Bölüm yok	Bölüm yok	Bölüm yok		
33 Siirt Üni.	Z	Z	Z	Z	Z	Z	-	Z	Aktif değil	Z	Z	Bölüm yok	Bölüm yok	-	-	-	-
34 Ordu Üni.	Bölüm yok		Bölüm yok	S	Z	-	Z	Bölüm yok	Bölüm yok	Bölüm yok	Bölüm yok	Bölüm yok	Bölüm yok	Bölüm yok	Bölüm yok		
35 Kırşehir Üni.	Z	-	S	-	S	-	S	-	Aktif değil	S	-	Bölüm yok	Bölüm yok	S	-	Aktif değil	
36 Kocaeli Üni.	Aktif değil		Bölüm yok	S	S	S	S	Bölüm yok	Bölüm yok	Bölüm yok	Bölüm yok	Bölüm yok	Bölüm yok	Bölüm yok	Bölüm yok		
37 Osmangazi Üni.	Aktif değil		Z	-	Z	-	Aktif değil	Aktif değil	Z	-	Bölüm yok	Bölüm yok	Z	-	Aktif değil		
38 Yaşar Üni.	Aktif değil		Bölüm yok	Bölüm yok	Bölüm yok	Bölüm yok	Aktif değil	Aktif değil	Bölüm yok	Aktif değil	Bölüm yok	Bölüm yok	Bölüm yok	Bölüm yok	Bölüm yok		
39 Yozgat Üni.	Z	Z	S	Z	S	Z	-	Z	Aktif değil	Aktif değil	Aktif değil	Aktif değil	Bölüm yok	Bölüm yok	Bölüm yok		
40 Van Yüztüncü Yıl Üni.	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Aktif değil	Z	Z	Bölüm yok	Bölüm yok	Aktif değil	Aktif değil		
41 Turgut Özal Üni.	Z	Z	Aktif değil	Aktif değil	S	Z	Aktif değil	Öğrenci yok	Bölüm yok	Bölüm yok	Bölüm yok	Bölüm yok	Bölüm yok	Bölüm yok	Aktif değil		
Aktif Bölüm Toplamı	24		33		35		35	20	27	14	13	14	13	14	14		

TYİ: Tarımsal Yayım ve İletişim Dersi, D: Diğer Dersler, Z: Zorunlu ders, S: Seçmeli ders

Diğer dersler: Kariyer Planlama, girişimcilik ,iletişim ve sunum teknikleri, halkla ilişkiler, insan ilişkileri, sunuş teknikleri, iletişim, kırsal kalkınma, girişimcilik ve stratejileri, girişimcilik ve kariyer planlama, girişimcilik ve yenilikçilik, tarım ve halkla ilişkiler, girişimcilik tek., tarımsal girişimcilik, tarımsal girişimcilik ve iş planı, tarımda girişimcilik ve inovasyon, iletişim becerileri ve danışmanlık.

Tablo2. Zorunlu Tarımsal Yayım ve İletişim Dersinin Bölümlere Göre Dağılım Oranları*

		Bölümler									
		Tarım Ekonomisi	Tarla Bitkileri	Bahçe Bitkileri	Bitki Koruma	Toprak Bilimi	Zootekni	Tarım Makineleri	T. Yapılar ve Sulama	Tarımsal Biyoteknoloji	Biyosistem Müh.
Zorunlu Ders Var	Sayı %	24 100,0	15 45,4	10 28,6	3 8,57	1 5,0	4 14,8	1 7,1	1 7,7	1 7,1	1 7,1
Zorunlu Ders Yok	Sayı %	0 0,0	18 54,6	25 71,4	32 91,43	19 95,0	23 85,2	13 92,9	12 92,3	13 92,9	13 92,9
Aktif Bölüm Sayısı	Sayı %	24 100.0	33 100.0	35 100.0	35 100.0	20 100.0	27 100.0	14 100.0	13 100.0	14 100.0	14 100.0

* Oransal dağılım hesaplanırken aktif öğrencisi olan bölümlerdeki sadece zorunlu dersler dikkate alınmıştır.

Nongtdu ve ark. [27] tarafından Hindistan’da yapılan çalışmada, tarımsal yayım personeline verilecek eğitimlerin verimliliği ile ilgili olarak yapılan çalışmada korelasyon analizi sonuçlarına göre; iş performansı ve yaş arasında negatif ve anlamlı bir ilişki olduğu saptanmıştır. Dolayısıyla lisans döneminde ziraat mühendisliği öğrencilerine verilecek “tarımsal yayım dersinin” verimliliğinin yüksek olması çok muhtemel beklenen bir sonuçtur.

Tablo 3. Seçmeli Tarımsal Yayım ve İletişim Dersinin Bölümlere Göre Dağılım Oranları

		Bölümler									
		Tarım Ekonomisi	Tarla Bitkileri	Bahçe Bitkileri	Bitki Koruma	Toprak Bi. ve Bitki Besleme	Zootekni	Tarım Mak. ve tek. M.	T. Yapılar ve Sulama	Tarımsal Biyoteknoloji	Biyosistem Müh.
Seçmeli Ders Var	Sayı	-	5	10	10	4	7	2	1	3	3
	%	-	15,15	28,57	28,57	20,00	29,17	14,28	7,69	21,43	21,43
Zorunlu Ders Var	Sayı	24	15	10	3	1	4	1	1	1	1
	%	100,00	45,45	28,57	8,57	5,00	14,81	7,14	7,69	7,14	7,14
Ders Hiç Yok	Sayı	0	13	15	22	15	16	11	11	10	10
	%	0,00	39,40	42,86	62,86	75,00	59,26	78,57	84,62	71,43	71,43
Aktif Bölüm Sayısı	Sayı	24	33	35	35	20	27	14	13	14	14
	%	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Tarımsal Yayım ve İletişim dersinin hiç verilmeme oranları sırasıyla incelendiğinde en fazla Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümünde (%84,62), Tarım Makinaları Bölümünde (%78,57), Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümünde (%75,00), Tarımsal Biyoteknoloji ve Biyosistem Müh. Bölümünde (%71,43), Bitki Koruma Bölümünde (%62,86), Zootekni Bölümünde (%59,26), Bahçe Bitkileri Bölümünde (%42,86), Tarla Bitkileri Bölümünde (%39,40) verilmediği görülmektedir.

Zahrani ve ark. [28] tarafından, Suudi Arabistan'da yapılan bir çalışmada, tarımsal yayım elemanlarının sadece %7,7'sinin tarımsal yayım dersi aldıkları ve bu konuda uzmanlaştıkları tespit edilirken Suudi Arabistan'daki çiftçilerin daha fazla tarımsal yayımcıya ihtiyaçları olduğuna vurgu yapılmaktadır. Sezgin ve arkadaşlarının [29], Erzurum'da yayım elemanlarının etkinliklerinin araştırıldığı bir çalışmada tarımsal yayım eğitimi almış olmanın etkinlik üzerinde pozitif bir etki yaptığını vurgu yapılmıştır. Antalya ilinde yapılan bir çalışmada tarım danışmanlığı hizmeti verenlerin %76,4 gibi önemli bir kısmının, 2000 yılından sonra Bahçe Bitkileri, Bitki Koruma ve Tarla Bitkileri Bölümü mezunu olduğu, bu kişilerin büyük bir oranının (%71,4) ziraat odası adına danışmanlık hizmeti verdikleri saptanmıştır [19]. Dolayısıyla tarım ekonomisi bölümü dışındaki diğer bölüm mezunlarının çiftçiye danışmanlık yaparken, bilgiyi aktarma, iletişim becerisini artırmayı hedefleyen tarımsal yayım dersini almalarının diğer bölüm öğrencileri açısından büyük bir kazanım olacağı düşünülmektedir.

Bazı bölümlerde Tarımsal Yayım ve İletişim dersi bulunmamasına karşın, sınırlı da olsa iletişim içerikli vb. dersler seçmeli olarak bulunmaktadır (Tablo 1). Ancak dersi alma öğrencinin seçimine bırakıldığından seçmeme olasılığı da mevcuttur. Bu derslere örnek olarak; Kariyer Planlama, Girişimcilik, İletişim ve Sunum Teknikleri, Halkla İlişkiler, İnsan İlişkileri, Sunuş Teknikleri, İnsan İlişkileri ve İletişim, Kırsal Kalkınma, Girişimcilik ve Stratejileri, Girişimcilik ve Kariyer Planlama, Girişimcilik ve Yenilikçilik, Tarım ve Halkla İlişkiler, Girişimcilik Teknikleri, Tarımsal Girişimcilik,

Tarımsal Girişimcilik ve İş Planı, Tarımda Girişimcilik ve İnovasyon, İletişim Becerileri ve Danışmanlık verilebilir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma sonuçlarına göre, Tarımsal Yayım ve İletişim dersinin, Tarım Ekonomisi Ana Bilim Dalı dışında diğer bölümlerde zorunlu olarak verilme oranı, Tarla Bitkileri Bölümü'nde %45, Bahçe Bitkileri Bölümü'nde %28, Zootekni Bölümü'nde %14, oranındadır. Diğer bölümlerde verilme oranı ise, %10'un altındadır. Elde edilen bulgulara göre, Tarımsal Yayım ve İletişim dersinin, içeriği ve uygulamaya katkısı açısından çok önemli olmasına karşın, birçok bölüm müfredatında bu ders olmadığından Tarım Ekonomisi dışındaki bölümlerde hak ettiği ilgiyi göremediği söylenebilir. “Ziraat Mühendisi” unvanı alan bir mezun, meslek hayatına “insan kaynağının önemini” kavrayamadan, insan davranışını algılayamadan, yetişkin eğitiminin özelliklerini anlayamadan, danışmanlık hizmetlerinde hangi yöntemleri hangi koşullar altında ve nasıl kullanacağını bilemeden, henüz kır toplum yapısını çözümleyemeden başlamaktadır. Bu koşullarda yürütülecek tarımsal yayım çalışmasında nitelikli bir danışman-üretici ilişkisinin oluşmasından söz edilemez. Öz farkındalığı düşük olan tarım danışmanı, danışmanlık sürecini sürdürmede başarısızlık yaşayabilir. Nitelikli bir tarım danışmanı güçlü ve zayıf yönlerini, gereksinimlerini, beklentilerini ve amaçlarını bilmelidir. Bu nedenle dersin tüm bölümlerde verilmesi önkoşul olmalıdır. Ayrıca, bu dersi alan öğrencinin, Tarımsal Yayım ve Danışmanlık sınavındaki benzer konulardan dolayı sınavda daha başarılı olabileceği söylenebilir.

İnsanın nasıl davrandığı, davranış kuralları ve davranış değişim koşulları tarımsal yayım çalışmasında çok önemli olduğundan tüm bölümlerin ziraat fakültelerinde okutulan Tarımsal Yayım ve İletişim dersinin diğer birçok servis dersi gibi tüm bölümlerde zorunlu olarak okutulması önkoşul olmalıdır. Çünkü ziraat fakültelerinde bölüm sayısı fazla olmakla birlikte tüm bu bölümlerden mezun olanlar, ziraat mühendisi unvanı ile çiftçilerle yüz yüze doğrudan ilişki içerisinde olup danışmanlık yapabilmektedir. Bu nedenle bilgiyi aktarma, iletişim becerisini artırmayı hedefleyen tarımsal yayım dersini, tüm ziraat fakültesi öğrencilerinin zorunlu olarak almasının ziraat mühendisleri açısından faydalı olacağı düşünülmektedir.

Tüm bölümlerde verilmesi gereken bu dersin salt teori biçiminde olmayıp, temel tarımsal bilgiler ile birlikte öğrenilip tarımsal yayım ve danışmanlık çalışmalarında kullanabilecek biçimde verilmesi beklenmektedir. Yani, tüm bilgilerin gündelik hayatta karşılaşılan sorunlarla bağlantı kurularak verilmesinin daha uygun olacağı söylenebilir. Ziraat mühendisi adaylarının temel tarımsal yayım bilgilerini alırken teorinin yanında uygulamalı bir öğrenme yöntemiyle dersi daha iyi özümsemeleri daha da kolaylaşacaktır. Ders, uygulamadaki sorunların çözümüne yönelik olarak yeniden yapılandırılmalı, dersin alanında uzman kişilerce verilmesi önkoşul olmalıdır. Üniversitelerin

özel, kamu ve yerel aktörlerle eşgüdüm ile beklentiler ve gerçek yaşam ders programlarına ve akademik çalışmalara dâhil edilerek, nitelikli mühendisler yetiştirilmelidir.

Son yıllarda dijital teknolojilerin bütünleşmesiyle birlikte eğitimde eğitimcilerin rolleri yeni öğrenme ortamlarının oluşmasıyla birlikte değişim göstermiştir. Eğitimcilerin öğretimden ve öğrenme sürecinin planlanmasının dışında gelişen teknolojiler ve iletişim ağları sonucunda yeni roller ve sorumlulukları olduğu görülmüştür. Öğretim elemanlarından beklenen yeni roller; ölçme değerlendirme yaklaşımlarının teknolojik gelişmeler doğrultusunda güncellenmesi, kurumun teknoloji entegrasyonu felsefesinin benimsenmesi ve yeni sorumluluklar için hazırlıklı olması, öğretim sürecinin tasarlanması, öğretim sürecinin planlanması dışında iyi bir araştırmacı olması, teknolojik dönüşümün yönetsel süreçlerinin farkında olması ve tüm bunların gerçekleşmesi aşamalarında iş birliğine dayalı bir çalışma anlayışına sahip olması biçiminde sıralanabilir [30]. Tarımsal yükseköğretimde de öğretim elemanlarına büyük görevler düşmektedir. Öğrenme sürecindeki en önemli unsurlardan biri de öğrenci katılımıdır. Öğrenciye deneyimlerini paylaşma fırsatı verilmelidir. Ülkenin her bir köşesinden gelen ya da üniversitenin bulunduğu ilden, özellikle kırsal alandan katılan öğrencilerin deneyimleri dersin içeriğini daha da zenginleştirecektir.

Bir ziraat mühendisinin kendisini algılaması, tanınması ve anlaması için eleştirel düşünebilme yeteneğinin olması gerekmektedir. Tarımsal yayım ve danışmanlık hizmetinin başarılı ve sürdürülebilir olması, sürecin her aşamasında tarım danışmanının kaliteyi taşımasıyla mümkündür. Üreticiyi anlayabilmesi, tarımsal yayım hizmeti süresince üreticiye verdiği anlaksal destek için iletişim becerilerinin kullanılması kritik önem taşımaktadır. Üretici ile sürekli yüz yüze ilişki sürdüreceği bir ziraat mühendisi ya da danışman bu eleştirel bakış açısıyla davranış geliştirebilecek başarılı yayım çalışmaları yürütmesi mümkün olabilecek ve mesleki kimliğinin gelişimine olumlu katkılar sağlayabilecektir. Bu beceri salt üretim tekniğine dayalı derslerle kazanmak mümkün olmayabilir. Bu noktada tarımsal yayım ve iletişim dersinin önemi ortaya çıkmaktadır. Bir ziraat mühendisi olarak; “Ben kimim?” “Nasıl bir tarım danışmanı olmak istiyorum?”, “Gelecekte mesleğimde kendimi nerede görüyorum?”, “Mesleki etik kurallara ne ölçüde uyuyorum?” vb. sorularını kendisine soracak farkındalığın oluşmuş olması gerekmektedir. Tarımsal yayım çalışmasında başarı, öncelikle sorunun doğru tanımlanabilmesine bağlıdır. Ayrıca danışman sorunla ilgili yeterli düzeyde bilgi sahibi olmalı, üreticiye davranış seçenekleri sunmalıdır. Ziraat mühendisliği mesleği, birçok meslekte olduğu gibi, kazanılan deneyimlerle, pekiştirilip yeniden biçimlenebilen bir yapıdır. Kısaca yaşam boyu öğrenme meslek süresince devam etmektedir. Tarımsal yükseköğretim, bilim ve teknolojinin yarattığı değişim karşısında kendini yenileyerek bir evrimden geçtikçe, ziraat mühendisleri de içinde bulunduğu topluma gittikçe artan daha güçlü bir mesleki güven duygusunu yayabilecektir.

Sonuç olarak, tüm paydaşların içinde bulunduğu çoğulcu yayım sisteminin ülke ve bölge şartlarına uygun olarak nitelikli biçimde sürdürülebilmesi ve dolaylı olarak da kırsalın kalkınması için ilk olarak bu işi meslek olarak yapacak tarım danışmanlarının yetiştirildiği ziraat fakültelerine büyük görev düşmektedir [24]. Tarım danışmanlığında paydaşların tümü topluma (kırsal/kentsel), doğaya ve çevreye, işverene ve çiftçiye karşı büyük sorumluluklar taşımaktadır. Burada etik olmayan davranışlara maruz kalan ve çalışmanın öznesi olan tarım danışmanları etik çelişkilerle karşılaştıklarında her şeyden önce kendilerine karşı ve aynı sorunları paylaştıkları meslektaşlarına karşı etik davranmalıdır [26]. Bu nedenle, uygulamaya yönelik ve nitelikli tarımsal yükseköğretimle kazanılan mesleki kimliğe sahip, insan davranışı konusunda yeterli bilgisi olan, yaşam boyu öğrenme farkındalığı ve iletişim becerisi yüksek olan, insan kaynağını geliştirmeyi önemseyen, kendisini ve çevresini güdüleyebilen, kırsal toplumsal yapısını iyi bir biçimde analiz edebilen, yaratıcı düşünme ve sorun çözme becerisine sahip, mesleğini etik kurallar çerçevesinde yerine getirebilme erdemine sahip, sosyal sorumluluk bilinci taşıyan, toplumun tüm bireylere saygı duyan, yenilikçi vb. niteliklerle donatılmış ziraat mühendislerine gereksinim büyüktür. Böylelikle mesleğin algısı değişerek, verimli ve toplumsal açıdan daha işlevsel bir konuma yerleşmesi sağlanabilir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını bildirmektedir.

ETİK BEYANI

Bu çalışmada, yazarlar “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamındaki tüm kurallara uydıklarını, ilgili yönergenin “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler” olarak belirtilen başlığı altındaki eylemlerden hiçbirini gerçekleştirmediklerini taahhüt ederler.

YAZARLARIN KATKILARI

Fatma ÖCAL KARA: Yazma-orijinal taslak hazırlama, yazma-gözden geçirme ve düzenleme, verinin düzenlenmesi, kavramsallaştırma, Gözetim ve liderlik sorumluluğu. Songül AKIN: Yazma-gözden geçirme ve düzenleme, verinin düzenlenmesi. Gülsüm ÖDEMİŞ: Veri toplama, veri analizi.

KAYNAKLAR

- [1] F. Yavuz, “Türkiye Tarımına Yeniden Bakış”, Siyaset, Ekonomi ve Toplum Araştırmaları Vakfı, İstanbul, 2019.
- [2] Y. Aktaş, “Tarımsal Yayım ve Haberleşme’ye Giriş”. Dilara Yayınevi, Trabzon, 2005.

- [3] C. K. Eicher, “Mozambique: An analysis of the implementation of the extension master plan”, Staff paper, Department of Agricultural Economics, Michigan State University, 2002.
- [4] B. N. Swanson, “Agricultural Extension” a reference manual, Food and Agriculture Organization, Rome, 1984.
- [5] E. Rehber, “Türkçede 'Yayım' Sözcüğünün Yanlış Kullanımı”. *Tarım Ekonomisi Dergisi*, vol. 27, no.1, pp.49-53, 2021.
- [6] Z. D. Y. Üsküplü, “Eğitim Sosyolojisi Açısından 21. Yüzyıl Becerileri Türkiye’de Çocuk Üniversiteleri Modeli”, Doktora Tezi, İstanbul Üni. Sosyal Bilimler Ens., İstanbul, 2019.
- [7] N. Ç. Akçetin, S. Çevikbaş, E. Akçetin, “Bazı Türk ve Anglosakson Üniversitelerinde Felsefe Programları Ders İsimleri ve İçerikleri Arasında Bir Karşılaştırma”. *Kuramsal Eğitimbilim Dergisi*, vol. 12, no.2, pp. 601-634, 2019.
- [8] D. B. Budak ve M. Kantar. “Cumhuriyetten Günümüze Kırsal Kesimde Örgün ve Yaygın Eğitim”. *6. Ulusal Sosyal Bilimler Kongresi*, Ankara. 1999.
- [9] M. R. Sevinç, M. K. Davran ve G. Sevinç, “Osmanlı İmparatorluğu’ndan Günümüze Kırsal Alanda Uygulanan Eğitim Politikaları”. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, vol.15,no.56,ss. 253-272, 2016.
- [10] C. Y. Çiftçi, “Türkiye Tarımsal Yüksek Öğretiminin ve Tarla Bitkileri Bölümünün Durumu”. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Ens. Dergisi*, vol. 25, no.1, pp.255-279, 2016.
- [11] B. T. Yalçın, “Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dekanı ile Tarım Yükseköğretimi Üzerine Söyleşi”, *Tarım ve Mühendislik Dergisi*, TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası, Ankara, 2015.
- [12] F. Yavuz, “Türkiye Tarım Yükseköğretimi ve Lisans Programlarının Yapılanması Raporu”, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü, Erzurum, 2017.
- [13] C. Taluğ, “Yeniden Yapılanmayı Yeniden Tartışmak”, *Tarım ve Mühendislik Dergisi*, TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası, pp.8-15, Ankara, 2015.
- [14] ECTS Users’ Guide, European Commission, Erişim Tarihi: 27 Eylül 2018.[Online]. Available: http://ec.europa.eu/education/ects/users-guide/docs/ects-users-guide_en.pdf.
- [15] F. Yavuz, “Dünya ve Türkiye’deki Gelişmeler Işığında Tarım Ekonomisi Yükseköğretimine Yeniden Bir Bakış”, *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi*, vol. 21, pp.215-220, 2018.
- [16] YÖK, “Yüksek Öğretim’de Yeniden Yapılanma: 66 Soruda Bologna Süreci Uygulamaları”, Yükseköğretim Kurulu, Ankara, Erişim Tarihi: 14.08.2018.[Online]. Available: https://uluslararası.yok.gov.tr/Documents/yay%C4%B1nlar/yuksekogretimde_yeniden_yapilanma_66_soruda_bologna_2010.pdf.
- [17] Y. Yılmaz, “Siyasal Sistem ve Medya Kuramları Bağlamında Türkiye’de Gazeteciliğin Mesleki Kimlik Sorunu ve Bir Alan Araştırması”, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İletişim Bilimleri Ana Bilim Dalı, Genel Gazetecilik Bilim Dalı İstanbul, 2011.
- [18] M. Arslan, “İş ve Meslek Ahlakı”, 2. Baskı, Ankara: Siyasal Kitabevi, 2005.
- [19] N. Cengiz, “Tarımsal Yayım ve Danışmanlık Hizmetlerinin Etkililiği Üzerine Bir Araştırma: Antalya İli Örneği”. Doktora Tezi, Namık Kemal Üni., Fen Bil. Ens., Tarım Ekonomisi Anabilim Dalı, Tekirdağ, 2018.
- [20] H. Albrecht, H. Bergmann, G. Diederich, E. Großer, V. Hoffmann, Keller, “Agricultural Extension”: Examples and Background Material; Rural Development Series. GTZ, 1990.
- [21] Z. Yurttaş, T. Atsan, A. Keskin, “*Tarımsal Yayım ve İletişim Teknikleri*”, Erzurum, 2007.

- [22] A. W. Van den Ban, and H. S. Hawkins, “Agricultural Extension”, 2. Edition Oxford, London, Edinburgh, Malden, Paris, 1996.
- [23] Y. Aktaş, “Tarımsal Yayım Önemli Midir?” *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, vol.9, no.2, pp.69-79,2005.
- [24] F. Öcal Kara, “Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Öğrencilerinin Tarımsal Yayım ve Danışmanlık Konusunda Farkındalıklarının Belirlenmesi”. *Journal Of Social, Humanities and Administrative Sciences*, vol. 8, no. 50, pp.363-369, 2022.
- [25] M. Boyacı, Ö. Yıldız, “Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Mezunlarının Eğitimlerinin Yeterliliği Hakkındaki Görüşleri”. *Ege Üni, Ziraat Fak. Dergisi*, vol. 48, no.2, pp.105-111, 2011.
- [26] C. Kaynakçı ve İ. Boz, “Türkiye’de Tarım Danışmanlığı Modelinin İş ve Meslek Etiği Açısından Değerlendirilmesi”. *Türkiye Biyoetik Dergisi*, vol. 7, no. 3, pp.99-113, 2020.
- [27] G. Nongtdu, R. Bordoloi, R. Saravanan, R. Singh, N. U. Singh, “Training Needs of Agricultural Extension Personnel in Meghalaya”. *Indian Journal of Hil lFarming*, vol. 25, no. 1, pp.1-8, 2012.
- [28] K. H. Zahrani, F. O. Aldosari, M. B. Baigl, M. Y. Shalaby, G. S. Straquadine, “Assessing the Competencies and Training Needs of Agricultural Extension Workers in Saudi”. *Journal of Agriculture Science Technology*, vol. 19, pp. 33-46, 2017.
- [29] A. Sezgin, T. E. Kaya, T. Atsan, H. Kumbasarolu, “Factors influencing agricultural extension staff effectiveness in public institutions in Erzurum”, *African Journal of Business Management*, vol. 4, no. 18, pp. 4106-4109, 2010.
- [30] Ş. Kır, “Dijital Dönüşüm Sürecinde Yükseköğretim Kurumları ve Öğretim Elemanlarının Gelişen Rollerini”, *AUAD*, vol. 6, no. 3, pp.143-163, 2020.



Araştırma Makalesi / Research Article


Yetiştirme Sistemlerinin Kurak Şartlarda Buğdayın Verim ve Kalite Özelliklerine Etkisi

The Impact of Cultivation Systems on Yield and Quality Characteristics of Wheat in Drought Conditions

Seval ELİŞ^{1,*} , Behiye Tuba BİÇER² 

¹ Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, 21280, Diyarbakır, Türkiye

² Dicle Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, 21280, Diyarbakır, Türkiye

 <https://doi.org/10.55007/dufed.1196925>

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihi

Alınış, 31 Ekim 2022

Revize, 13 Kasım 2022

Kabul, 14 Kasım 2022

Online Yayınlama, 22 Aralık 2022

Anahtar Kelimeler

Yetiştirme sistemleri, Buğday, Sırt ekim, Düz ekim, Tane verimi

ARTICLE INFO

Article History

Received, 31 October 2022

Revised, 13 November 2022

Accepted, 14 November 2022

Available Online, 22 December 2022

Keywords

Cultivation systems, Wheat, Bed sowing, Flat sowing, Yield

ÖZ

Bu çalışma toprak ve ürün sürdürülebilirliğinin önemi ve gerekliliği göz önünde bulundurularak, en uygun ekim sistemini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Deneme, tesadüf blokları deneme desenine göre 4 tekrarlı olarak kurulmuştur. Araştırmada; bitki boyu, biyolojik verim, tane verim, hasat indeksi, m²'deki başak sayısı, başak uzunluğu, başakçık sayısı, başakta tane ağırlığı, başakta tane sayısı, bin tane ağırlığı, CM1000, YAI ve nem parametreleri bakımından ekim yöntemleri arasında farklılıklar istatistiksel olarak önemli, NDVI, bitki sıcaklığı, protein, karbonhidrat, yağ, nem ve gluten içeriği parametreleri bakımından önemsiz bulunmuştur. Tane veriminin ekim yöntemlerinden etkilendiği ve tane veriminin sırta ekimde 226 kg/da, düz ekimde ise 158,5 kg/da olduğu saptanmıştır. Sırtta ekim sisteminde bitkilerin kuraklığa bağlı olarak azalan hava nemini daha iyi kullandığı ve bunu bitki boyu değerlerine yansıttığı gözlemlenmiştir.

ABSTRACT

This study was conducted to determine the best method of sowing wheat by measuring yield and quality parameters, while also considering how important it is for the soil and product to be sustainable. The experiment was set up in randomized complete block design with 4 replications. In the study, the differences between the two sowing methods were significant for plant height, biological yield, yield, harvest index, number of spikes m², spike length, spikelet number, grain weight spike⁻¹, number of grains spike⁻¹, thousand seed weight, CM1000, LAI and seed moisture NDVI, plant temperature, protein, carbohydrate, fat, moisture, and gluten content parameters of differences were no significant. The grain yield was determined to be affected by the sowing methods, and the grain yield ranged from 1585 kg/ha in flat sowing method to 2260 kg/ha at bed sowing method. The bed planting method, it has been observed, produces better use

*Sorumlu Yazar

E-posta Adresleri: elis_sseval@hotmail.com (Seval ELİŞ), tbicer@dicle.edu.tr (Behiye Tuba BİÇER)

of the dwindling air humidity brought on by precipitation, and the plant height values reflect this.

1. GİRİŞ

Besleyici ürün grubu olan tahıllar; vitaminler, mineraller, diğer besin öğeleri ve özellikle de karbonhidratlar bakımından zengindir. Dünyanın birçok yerinde günlük alınan kaloringin önemli bir kısmı (Mısır ve Türkiye’de %40-50 ve İngiltere’de %20’si) tahıllar tarafından karşılanır [1]. Karbonhidratça zengin bir tahıl grubu olan ekmeklik buğday ülkemizde en fazla tüketilen tahıl grubudur [2].

Buğday (*Triticum aestivum* L.), dünyada geniş ekim alanına (224 milyon hektar) ve üretim (789 milyon ton) miktarına sahip olmasına rağmen günümüzün ve geleceğin en büyük sorunu olan artan nüfusu beslemede yetersiz kalmayla karşı karşıyadır. Bu bağlamda hem toprağı yormadan ekim yapılabilecek hem de verimde artış sağlayabilecek sürdürülebilir tarım uygulamalarına geçilmesi gerekmektedir [3].

Üreticiler buğday verimini artırmada kuraklık ve düşük toprak kalitesi nedeniyle sürdürülebilir tarım uygulamaları geliştirme zorluğuyla karşı karşıya bulunmaktadır [4]. Yetiştirme sistemi buğday verimini etkileyen önemli faktörlerden biridir. Sürdürülebilir tarım uygulamalarından olan sırta ekim sistemi, gelişmiş ülkelerde ürün verimliliğini artırmak için kullanılan sistemdir.

Uygun toprak işleme yönetimi, toprak verimliliğini ve kalitesini iyileştirebilir ve toprak karbon tutulumunu artırarak sera gazı emisyonlarını etkin bir şekilde azaltabilir. Sırta ekim sistemi düz ekim sistemine göre, daha iyi yabancı ot kontrolü, tohum tasarrufu, bir sonraki üretim sezonunda minimum toprak işleme ile yeniden kullanma, çıkış riskini ve yatma kaybını minimuma indirmeye, toprakta su ve gübre muhafazasıyla hem toprak kalitesini iyileştirme hem de sulama için daha az iş gücü ve daha da önemlisi ürüne koruma (yüksek rüzgarlardan ve şiddetli yağmurdan) imkanı oluşturarak daha kaliteli ve verimli ürün yetiştirmeyi sağlar [5,6,7].

Bu çalışma toprak ve ürün sürdürülebilirliğinin önemi ve gerekliliği göz önünde bulundurularak, buğdayda düz ve sırta ekimde verim ve kalite parametreleri incelenerek en uygun yetiştirme sistemi belirlemek amacıyla yürütülmüştür.

2. MATERYAL VE METOT

Bu araştırma 2021 yılı üretim sezonunda Dicle Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü uygulama alanında yürütülmüştür.

Çalışmada materyal olarak Teknobiltar firmasından temin edilen Empire Plus ekmeçlik buğday çeşidi kullanılmıştır. Empire Plus buğday çeşidi; Güneydoğu Anadolu bölgesi yetişme koşullarına uygun yazlık bir çeşit olup başak tipi beyaz ve kılçıklı, başaklanma süresi orta erkenci, kalın saplı ve yatmaya dayanıklıdır.

Deneme alanına ait toprak analiz sonuçları dikkate alındığında pH (7.47) nötr ve hafif alkali, toprak organik madde (%1.05) ve N (%0.11) oranı düşük, kireç oranı (%9.8) orta seviyede ve hafif bünyeli killi yapıdadır.

Denemenin yürütüldüğü aylara ve uzun yıllara ait iklim verileri Tablo 1’de verilmiştir. İklim verileri incelendiğinde; 2021 yetiştirme döneminde ortalama sıcaklık, toplam yağış ve nispi nem oranı sırasıyla 15.58 °C, 90.6 mm ve % 51.23 olarak görülmüştür (Tablo 1). Başaklanma öncesi ve tane dolumdönemlerini kapsayan Nisan-Mayıs aylarında 2021 yılı bir önceki yıla oranla % 95,2 uzun yıllara oranla %91,7 daha az toplam yağış miktarı düştüğü gözlemlenmiştir.

Tablo 1. Deneme alanının 2021 yılı ve uzun yıllarına ait iklim verileri

Aylar	Ortalama Sıcaklık (°C)		Toplam Yağış (mm)		Nem (%)	
	2021	Uzun Yıllar	2021	Uzun Yıllar	2021	Uzun Yıllar
Ocak	5.5	2.0	10.8	65.4	68.2	76.2
Şubat	9.1	4.2	29.8	64.3	68.4	72.3
Mart	8.4	8.3	41.6	63.4	62.5	66.0
Nisan	17.2	14.1	5.6	63.7	52.1	62.8
Mayıs	24.7	19.8	2.8	40.4	30.7	54.3
Haziran	28.6	26.2	0	8.0	25.5	35.4
Toplam/Ort	15.6	12.4	90.6	305.2	51.2	61.2

Araştırma alanı ön bitkisi mercimek olup, toprak sonbaharda pullukla derin sürülmüş, kültüvator ve taban çekilerek düz ekim parselleri ekime hazır hale getirilmiştir. Sırtta ekim sisteminde ise; toprak hazırlığından sonra sırtta ekim yapan makine ile hatlar oluşturulmuş ve ardından tapan çekilerek sırt hatları belirginleştirilmiştir.

Deneme, tesadüf blokları deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Düz ekimde parsel boyutları 5 m uzunluğunda ve 3 m genişliğinde (5x3=15 m²), sırtta ekimde parsel boyutları 5 m uzunluğunda, 1.4 m eninde ve iki sırttan oluşmuştur. Metrekareye atılacak tohum miktarı düz ekimde 550 adet/m², sırtta ekim yetiştirme sisteminde ise 175 adet/m² olarak belirlenmiştir. Tohum ekimi 21.11.2020 tarihinde düz ekimde parsel ekim makinası ile sırtta ekimde elle yapılmıştır. Gübreleme uygulamasında 12 kg/da azot (N) ve 6 kg/da fosfor (P) olarak belirlenmiş, taban gübresi olarak 20.20.0 (NPK) ve üst gübre olarak üre (%46 N) formları kullanılmıştır. Azotun yarısı ekimle birlikte diğer yarısı kardeşlenme başlangıcında uygulanmıştır. Deneme yılının aşırı kurak geçmesi nedeniyle (Tablo 1) Zadoks skalasına göre başakların ¼ oranın çıktığı GS52 döneminde yağmurlama sulama sistemiyle

günde 4 saat olmak üzere 2 gün sulama yapılmıştır [8]. Hasat işlemi orakla 27.05.2021 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Araştırmada her parselde rastgele seçilen 10 adet bitkide bitki boyu, başak uzunluğu, başakçık sayısı, başakta tane ağırlığı, başakta tane sayısı belirlenmiş ortalamaları alınmıştır. Hasat sonrası parselden elde edilen kök hariç tüm bitki tartılarak biyolojik verim, harman sonrası elde edilen tohumların tartılarak tane verimi kg/da olarak hesaplanmıştır. Bin tane ağırlığı her parselde 4 defa 100 buğday tanesi sayılıp, tartılması sonucu çıkan değerlerin ortalaması alınarak 10 ile çarpımı sonucu elde edilmiştir Tanede protein (%), nem (%), karbonhidrat (%), yağ (%) ve Glüten miktarı (%) Grain Sense kalite cihazıyla belirlenmiştir. Bitki sıcaklığını belirlemek amacıyla Termal kamera kullanılmış ve °C cinsinden ölçülmüştür. Parsel üzerinde klorofil miktarını tahmin etmek için FieldScout CM1000 klorofil metre cihazı kullanılmıştır. Yaprak alan indeksi (YAI) parseldeki bitkilerin kapladığı alan üzerinden LAI-2000 (LI-COR, Lincoln, NE) cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Normalleştirilmiş vejetasyon farklılık indeksi (NDVI) 0.00-0.99 değerleri aralığında başaklanma döneminde Trimble Greenseeker ile ölçülmüştür. CM1000, YAI ve NDVI açık havada rüzgarın olmadığı 11.00-14.00 saatleri arasında yapılmıştır.

Elde edilen veriler JUMP Pro 13 istatistik paket programında varyans ve biplot analizlerine tabi tutulmuş, ortalamalar LSD (%5) testi ile gruplandırılmıştır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Buğdayda düz ve sırta ekim sisteminde verim ve kalite özelliklerinin araştırıldığı bu çalışmada incelenen özelliklere ait varyans analiz ve ortalama değerler Tablo 2 ve 3'te verilmiştir.

Bitki boyu, biyolojik verim, verim, hasat indeksi, m²'deki başak sayısı, başak uzunluğu, başakçık sayısı, başakta tane ağırlığı, başakta tane sayısı, bin tane ağırlığı, CM1000, YAI ve nem parametreleri bakımından ekim yöntemleri arasında farklılıklar istatistiki olarak P <0.01-0.05 düzeyinde önemli, NDVI, bitki sıcaklığı (termal kamera), protein, karbonhidrat, yağ, nem ve gluten içeriği parametreleri bakımından önemsiz bulunmuştur.

Ekim yöntemleri biyolojik verim değerinde farklılık oluşturmuştur. Biyolojik verim değeri düz ekimde 1031.8 kg/da, sırta ekimde 1124.7 kg/da olarak saptanmıştır (Şekil 1). Bulgularımız Yıldırım ve ark. [9]'nın sulu koşullarda sırta ekimde en yüksek biyolojik verim değerinden (963.5 kg/da) yüksek, Aykanat ve ark. [10]'nın düz ekim değerinden düşük sırta ekim değerinden yüksek değer verdiği belirlenmiştir.

Bitki boyu değerleri 67,25 cm ile 84,77 cm arasında değişmiştir. Sırta ekim sisteminin yağışa bağlı olarak azalan hava nemini daha iyi kullandığı ve bunu bitki boyu değerlerine yansıttığı gözlenmiştir. Nitekim sırta ekim sisteminin düz ekime göre % 26,1 oranda daha fazla bitki boyuna

sahip olduğu belirlenmiştir. Ancak bulgularımızın aksine Ismail ve ark. [11] düz ekimin (102,80 cm) diğer sırt genişliği tekniklerine göre en yüksek bitki boyunu oluşturduğunu, bunun nedenini ise sırt genişliği arttıkça suyun yanal hareketinin azalmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Tablo 2. Farklı ekim sisteminde yetiştirilen buğdayın verim özelliklerine ait varyans analizi ve ortalama değerler

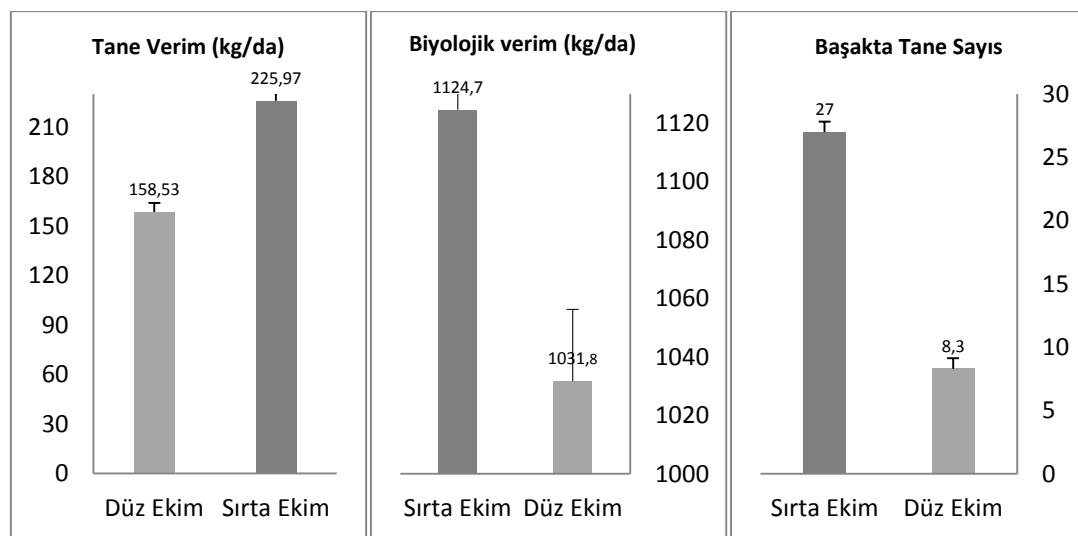
Uygulama	Bitki Boyu (cm)	Biyolojik Verim (kg/da)	Tane Verimi (kg/da)	Hasat İndeksi (%)	m ² 'deki Başak Sayısı	Başak Uzunluğu (cm)	Başakçık Sayısı (adet)	Başakta Tane Ağırlığı (g)	Başakta Tane Sayısı (adet)	Bin Tane Ağırlığı (g)
Düz Ekim	67.25 b	1031.8 b	158.5 b	15.4 b	399.9 a	7.8 b	11.0 b	0.31 b	8.3 b	36.2 a
Sırta Ekim	84.77 a	1124.7 a	226 a	20.1 a	307.1 b	9.3 a	14.4 a	0.84 a	27.0 a	32.3 b
LSD 0,05	1.75	34.63	7.88	0.51	14.41	0.42	0.76	0.032	1.18	1.24
	K.O	K.O	K.O	K.O	K.O	K.O	K.O	K.O	K.O	K.O
Tekerrür	185.7	10078	410.7	0.605	10241	1.35	3.26	0.021	7.53	9.1
Yetiştirme Sistemi	1842**	51833*	27289**	134.81**	51632**	12.63**	66.73**	1.71**	2095**	89.57**
Hata	18.5	7197	372.8	1.57	1245	1.05	3.48	0.0061	8.38	9.18
Genel	119.6	9513	1548.1	7.24	4609	1.59	6.20	0.082	99.02	12.66
VK (%)	5.65	7.87	10.04	7.06	9.98	11.94	14.65	13.61	16.37	8.84

* %5 seviyesinde önemli, ** % 1 seviyesinde önemlidir.

Tablo 3. Farklı ekim sisteminde yetiştirilen buğdayın fizyolojik ve kalite özelliklerine ait varyans analizi ve ortalama değerler

	NDVI	CM1000	Termal Kamera	YAI	Protein (%)	Nem (%)	Karbonhidrat (%)	Yağ (%)	Glüten (%)
Düz Ekim	0.67	325.4 b	21.99	1.88 b	17.7	10.9 b	80.30	1.97	39.65
Sırta Ekim	0.71	436.5 a	21.39	4.38 a	17.04	11.7 a	80.97	2.02	39.09
LSD	0,021	11.17**	0.49	0.269**	0.64	0.137**	0.69	0.038	1.44
	K.O	K.O	K.O	K.O	K.O	K.O	K.O	K.O	K.O
Tekerrür	0.00084	15259	23.80	0.27	1.55	0.12	0.85	0.0052	4.52
Yetiştirme Sistemi	0.0026	73981***	2.19	37.76**	2.65	3.94***	2.7	0.0204	1.9
Hata	0.0008	748	1.45	0.433	2.49	0.113	2.85	0.0086	12.4
Genel	0.00109	5825	4.39	2.03	2.37	0.280	2.58	1.22	10.92
VK (%)	4.2	7.18	5.56	21.04	9.08	2.97	2.09	4.66	8.95

* %5 seviyesinde önemli, ** % 1 seviyesinde önemlidir.



Şekil 1. Ekim yöntemlerine ait biyolojik verim, verim ve başakta tane sayısı değerlerine ait ortalamalar

Tane veriminin ekim yöntemlerinden etkilendiği ve tane veriminin sırta ekimde 226 kg/da ile yüksek, düz ekimde ise 158.5 kg/da olduğu saptanmıştır (Şekil 1). Buğdayda sulu koşullarda sırta ekimde Yorulmaz ve Akıncı [12] ortalama tane verimini 227.97 kg/da, Yıldırım ve ark. [9] kuru koşullarda denemelerinin birinci yılında 188.5 kg/da ve ikinci yılında 348.1 kg/da, Süzer ve Demir [13] sulu koşullarda (100 tohum/m²) 466,4 kg/da olarak bildirmişlerdir, Aykanat ve ark. [10] düz ekimin sırt ekimden yüksek verim verdiğini bildirmişlerdir. Düz ekimde elde ettiğimiz bulgular Akan ve ark. [14]'nın bildirdikleri (düz ekim) tane verim (133.50-198.75 kg/da) değerleri ile benzer bulunmuştur. Verimin kantitatif bir karakter olduğu, birden fazla gen ile idare edildiği ve dolayısıyla çevresel etmenlerden çok fazla etkilenip aşırı değişimler gösterdiği bilinen bir gerçektir [15]. Dolayısıyla sırta ekim için iyi bir çevre standarttı oluşturarak, daha düşük tohum oranlarıyla iyi bir bitki popülasyonu ve yüksek verim elde edilebileceği çeşitli araştırmalar göstermektedir [16]. Deneme yılı olan 2021 yılı kurak geçtiğinden (Tablo 1) düz ekimlere oranla sırt ekimlerde toprak neminin daha iyi muhafaza edildiği belirlenmiştir. Kurak yıllarda sırta ekimin birçok kültür bitkisinde nem muhafazası yönünden olumlu bir çevre oluşturduğu bildirilmektedir [17].

Metrekaredeki başak sayısı değerleri 307.1 başak/m² ile 399.9 başak/m² arasında değişmiştir. Düz ekim sisteminin (399.9 başak/m²) sırt ekim sistemine (307.1 başak/m²) göre yüksek değer verdiği belirlenmiştir. Bulgularımız sırt ekim sisteminde Yorulmaz ve Akıncı [12]'nin 290.8 başak/m², Ertekin [18]'in 172.3 başak/m² ve Süzer ve Demir [13]'in (100 tohum/m²) 270.1 başak/m² bildirdikleri değerlerden yüksek, Süzer ve Demir [13]'in (200 tohum/m²) 312.3 başak/m² ve Aykanat ve ark. [10] hem sırt (390.50 başak/m²) hem de düz ekimde (517 başak/m²) bildirdikleri değerlerden düşük bulunmuştur.

Düz-sırt ekimde sırasıyla başak uzunluğu 7,8-9,3 cm, başakçık sayısı 11,0-14,4 adet, başakta tane ağırlığı 0,31-0,84 g ve başakta tane sayısı 8,3-27,0 adet belirlenmiştir. Başak uzunluğu, başakçık sayısı, başakta tane ağırlığı ve başakta tane sayısında sırt ekim sistemi düz ekim sistemine kıyasla en yüksek değerleri almıştır. Başak uzunluğu bakımından bulgularımız sırt ve düz ekimde bazı araştırmacılar farklı bulunmuştur [13, 18, 19]. Başakta başakçık sayısı ve başakta tane ağırlığı değerlerimiz denemenin yürütüldüğü üretim sezonu kuraklık nedeniyle çok düşük bulunmuştur. Fakat buna rağmen sırt ekim uygulaması düz ekim uygulamasına nazaran daha iyi sonuç verdiğini ve çoğu araştırmacının ortalama değerlerine yakın değer aldığı görülmüştür [14,19]. Başakta tane sayısı bakımından sırt ekimin düz ekime oranla (%69,3) olumlu etkilendiği saptanmıştır. Başakta tane sayısına ait bulgularımız Kekeçdil [19]'in bulgularıyla benzer bulunmuştur. Özellikle kurak yıllarda sırta ekim sisteminin su muhafazası açısından önemini ortaya koymaktadır.

Bin tane ağırlığı bakımından düz ekim (36,2 g) sırt ekim sistemine (32,3) göre yüksek değerler almıştır. Bulgularımız Leilah ve Al-Khateed [20]'in 21-58 g, Aykanat ve ark. [10]'nin 36.9-35.7 g,

Hossain ve ark. [21]'nin 39,5-50,3 g bildirdiklerine benzer bulunmuştur. Bin tane ağırlığı çevreden etkilenen bir özelliktir. Kurak yılda topraktaki nem seviyesinin çok düşük olması bitkinin özellikle başaklanma döneminde yeterli metabolik aktiviteyi istenilen şekilde yapamaması hem düz hem sırt ekim sisteminde düşük değerlerin elde edilmesine sebep olmuştur.

Hasat indeksi bakımından biyolojik verim ve verim parametreleriyle doğru orantılı olarak farklılık saptanmıştır. Sırt ekim %23,4 oranla düz ekimden daha fazla hasat indeksi oluşturmuştur. Hasat indeksindeki oranın artması, biyolojik veriminde sabit kalarak, bitki boyundaki azalma bitkinin genetik olarak verim de kazanç oluşturabileceği belirtilmiştir [22].

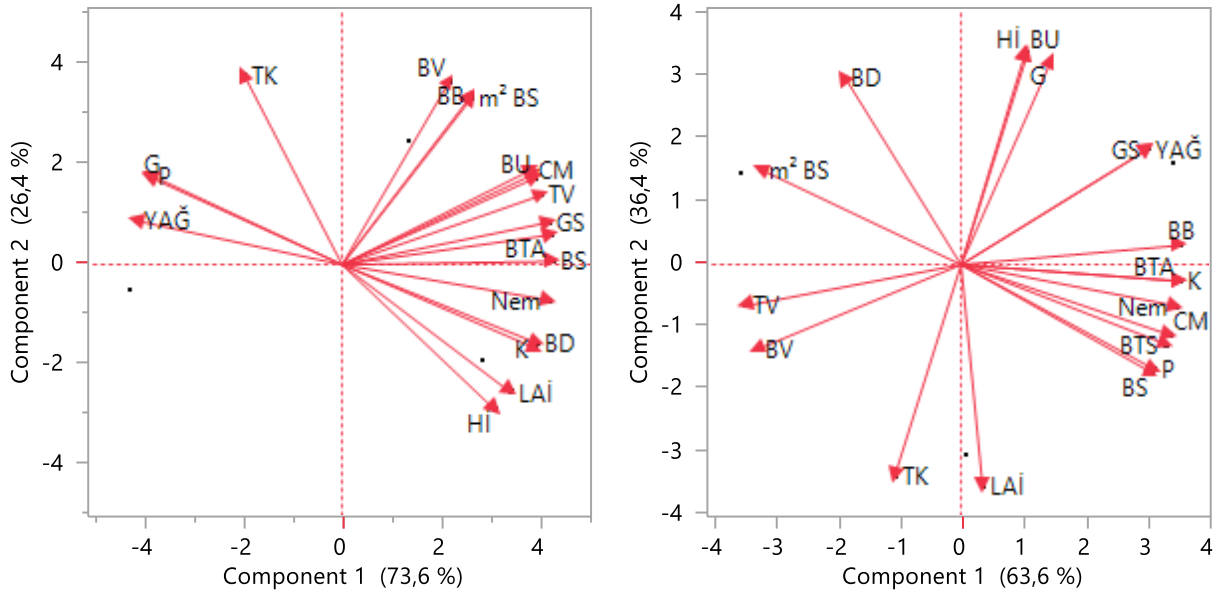
Normalleştirilmiş vejetasyon farklılık indeksi (NDVI) bakımından sırta ekim sistemi 69,87 değerle yüksek, düz ekim sistemi 66,83 değerle düşük bulunmuştur. Birçok araştırmacı, NDVI'nin fotosentetik aktivite, bitki sağlığı, bitki verimliliğini belirlemek için başarıyla kullanıldığını ve ayrıca, yaprak açısı ve dikliğini belirlemede kullanılabilir bir parametre olduğunu belirtmişlerdir [23, 24, 25].

YAI ve klorofil içeriğini temsil eden CM1000 değerleri düz ekim koşullarında azalma göstermiştir. Bulgularımız Kızılgöçü ve Yıldırım [26]'ın yağışlı koşullar altında belirttiği ortalama CM1000 değerinin düz ekimle benzer, sırt ekimden düşük olduğu belirlenmiştir. Sırta ekimde yüksek yaprak alanına rağmen klorofil değerinin yüksek olması bitkilerin sırt üstünde bir arada bulunmalarının olumlu yönde sinerji oluşturduğunu ve daha sağlıklı olduğunu göstermektedir. Düz ekim ve sırta ekime göre bitki sıcaklıklarının değişmediği görülmektedir.

Ekim yöntemlerinin protein, karbonhidrat, yağ ve gluten içerikleri üzerine etkisi önemsiz, nem içeriği önemli bulunmuştur. Protein oranı %17,7-11,7, karbonhidrat oranı %80,30-80,97, yağ oranı %1,97-2,02 ve gluten %39,65-39,05 arasında değişmiştir. Protein oranını Akan ve ark. [14] %15,85-19,40, Öz [27] %11,90-16,92, Yorulmaz ve Akıncı [12] 13,3-19,37 aralığında bulduğu değerlerle bizim bulduğumuz değerler örtüşmektedir.

Ekim yöntemleri ile verim ve kalite özellikleri arasındaki ilişkiyi saptamak açısından temel bileşen analizi (PCA) yapılmıştır (Şekil 2). Yapılan biplot analizine göre; düz ekimde PC1(1. temel bileşen) % 73,6 ve PC2 (2. temel bileşen) %26,4 ve sırt ekimde PC1(1. temel bileşen) % 63,6 ve PC2 (2. temel bileşen) %36,4 varyasyonun toplam %100'nü oluşturmaktadır. Yan ve ark. [28], iki temel bileşenin toplam değerinin %100'e yaklaşması incelenen özelliklerin katsayılarının yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Biplot analizine göre bitki sıcaklığının verimle ilişkisi sırta ekimde düz ekime göre daha yüksektir. CM1000 değeri düz ekimde verimle sıkı ilişkili bulunurken sırta ekimde ilişkisiz çıkmıştır (Şekil 2). Gluten değeri her iki ekim sisteminde de en az etkilenen özellik olmuştur. Düz ekimde tane verimi başak uzunluğu, başakta tane ağırlığı, başakta tane sayısı, klorofil miktarı ve

NDVI gibi özelliklerle ilişkili bulunurken, sırta ekimde biyolojik verimle çok yüksek ilişkili bulunmuştur. Sırta ekimde bitki sıcaklığı ve başak sayısı tane verimiyle önemli ilişki göstermiştir.



Düz Ekim Sistemi

Sırt Ekim Sistemi

Şekil 2. Buğdayda verim ve kalite özelliklerine ait düz ve sırta ekim yöntemleri arasındaki ilişkiyi gösteren biplot grafiği (BB:Bitki Boyu, BV:Biyojik Verim, TV:Tane Verim, Hİ:Hasat İndeksi, m²BS:m²'deki Başak Sayısı, BU:Başak Uzunluğu, BS:Başakçık Sayısı, BTA:Başakta Tane Ağırlığı, BTS:Başakta Tane Sayısı, BD:Bin tane Ağırlığı, GS:NDVI, CM:CM1000, TK:Termal Kamera, LAI:YAI, P:Protein, Nem:Nem, K:Karbonhidrat, YAĞ:Yağ, G:Glüten

4. SONUÇLAR

Deneme sonuçlarına göre iki farklı ekim sisteminde yetiştirilmiş olan ekmeklik buğday, sırt ekim sisteminde en iyi verim ve kalite parametrelerini elde etmiştir. Özellikle aşırı kurak geçen bir yıl olması ekim yöntemleri arasında sırt ekimin toprak nemini muhafaza edebilme özelliğini ön plana çıkarmış ve buda aşırı kurak bölgelerde sırt ekimin avantaj sağlayabileceğini ortaya koymuştur. Aynı zamanda buğdayda sırt ekim sistemi bir sonraki II. ürün yazlık direk ekimde toprak işleme esnasında harcanan yakıt ve zaman tüketiminden tasarruf sağlayacağı dikkate alınır ise hem toprak hem de ürün sürdürülebilirliği açısından en uygun ekim sistemi olarak düşünülmektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını bildirmektedirler.

ETİK BEYANI

Bu çalışmada, yazarlar "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamındaki tüm kurallara uydıklarını, ilgili yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın

Etğine Aykırı Eylemler” olarak belirtilen başlığı altındaki eylemlerden hiçbirini gerçekleştirmediklerini taahhüt ederler.

YAZARLARIN KATKILARI

Seval ELİŞ: İnceleme, metodoloji, veri toplama, yazma-orijinal, verinin düzenlenmesi, analiz, görselleştirme, taslak hazırlama. Behiye Tuba BİÇER: İnceleme ve düzenleme.

KAYNAKLAR

- [1] A. A. Levy and M. Feldman, “Evolution and origin of bread wheat ” . *The Plant Cell*, Pages 2549–2567, 2022.
- [2] Temel Beslenme. (2017). Erişim tarihi: 25.10.2022. [Online]. <https://www.tbv.com.tr/>
- [3] Tarım Ürünleri Piyasaları. (2021). Erişim tarihi: 25.10.2022. [Online]. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/>.
- [4] Z. Ma, J. Chen, X. Lyu, L. Liu and K. H. M. Siddiquee, “ Distribution of soil carbon and grain yield of spring wheat under a permanent raised bed planting system in an arid area of northwest China ”. *Soil & Tillage Research*, vol. 163, pp. 274–281, 2016.
- [5] X. Zhang, L. Ma, F. S. Gilliam, Q. Wang and C. Li, “Effects of raised-bed planting for enhanced summer maize yield on rhizosphere soil microbial functional groups and enzyme activity in Henan Province, China”. *Field Crops Research*, vol. 130, pp. 28-37, 2012.
- [6] F. Wang, Z. He, K. Sayre, S. Li, J. Si, B. Feng, L. Kong, “Wheat cropping systems and technologies in China ”. *F. Crop. Res.*, vol. 111, pp. 181–188, 2009.
- [7] B. Govaerts, K. D. Sayre, J. M. Ceballos-Ramirez, M. L. Luna-Guido, A. Limon-Ortega, J. Deckers, L. Dendooven, “Conventionally tilled and permanent raised beds with different crop residue management: effects on soil c and n dynamics”. *Plant Soil*, vol. 280, pp. 143–155, 2006.
- [8] J. C. Zadoks, T. T. Chang and C. F. Konzak. “A decimal code for the growth stages of cereals”. *Weed Research*, vol. 14, no. 6, pp. 415-421, 1974.
- [9] M. Yıldırım, C. Akıncı, ve Ö. Albayrak, “Sırta ekim sisteminde bazı makarnalık buğday genotiplerinin verim ve verim bileşenleri yönünden değerlendirilmesi”. Türkiye 10. Tarla Bitkileri Kongresi, 8-14 Eylül 2013, Konya, Türkiye, Cilt I., s. 776-781.
- [10] S. Aykanat, H. A. Karaağaç, H. Barut, ve U. Sevilmiş, “Farklı toprak işleme ve ekim yöntemlerinin buğdayda bazı agronomik özellikler üzerine etkisi”. *International Journal of Eastern Mediterranean Agricultural Research*, vol. 2, no. 2, s. 136-144, 2019.
- [11] S. Ismail, A. Thabet, A. El-Al, and A. I. Omara, “Comparative effects of raised bed and traditional flat basin on wheat yield and water productivity under Egyptian conditions”. *Misr Journal Of Agricultural Engineering*, vol.38, no. 4, pp. 293-308, 2021.
- [12] L. Yorulmaz ve C. Akıncı, “Bazı ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L.) genotiplerinin sırta ekim sisteminde morfolojik, fizyolojik, verim ve kalite yönünden incelenmesi”. *MAS Journal of Applied Sciences*, vol. 7, no. 2, s. 326-336, 2022.
- [13] S. Süzer ve L. Demir, “Sırta ekim sisteminde buğdayda (*Triticum aestivum* L.) en uygun ekim normunun belirlenmesi”. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, vol. 8, no. 4, s. 387-392, 2012.

- [14] E. Akan, N. E. Ünsal ve A. S. Ünsal, “Kuru koşullarda durum buğday çeşitlerinin verim ve kalitelerini etkileyen önemli parametrelerin belirlenmesi”. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, vol. 5, no. 1, s. 246-256, 2021.
- [15] Y. Cauderon and M. Bernard, “Yield improvement from (8x X 6x) crosses, and genetic and cytoplasmic diversification in triticale”. *Hodowla Roslin, Aklimatyzacja i Nasiennictwo*, vol. 24, no. 4, s. 329-338, 1980.
- [16] P. Aquino, “The adoption of bed planting of wheat in the Yaqui Valley, Sonora, Mexico”. CIMMYT, 1998.
- [17] A. Razaq, M. J. Khan, T. Sarwar and M. J. Khan, “Influence of deficit irrigation, sowing methods and mulching on yield components and yield of wheat in semiarid environment”. *Pakistan J. Bot.*, vol. 51, pp. 553-560, 2019.
- [18] M. C. Ertekin, “Sırta ekim yönteminde farklı tohum sıklıklarının makarnalık buğdayın (*Triticum durum* L.) verim ve verim unsurlarına etkisinin belirlenmesi”. Yüksek Lisans Tezi, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, 2011.
- [19] E. Kekeçdil, “Bazı makarnalık buğday ve aegilops tauschii melezlerinden elde edilmiş sentetik buğdayların tarımsal özelliklerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, 2017.
- [20] A. A. Leilah and S. A. Al-Khateeb, “Statistical analysis of wheat yield under drought conditions”. *Journal of Arid environments*, vol. 61, no. 3, pp. 483-496, 2005.
- [21] M. M. Hossain, A. Hossain, M. A. Alam, A. E. L. Sabagh, K. F. I. Murad, M. M. Haque and S. Das, “Evaluation of fifty irrigated spring wheat genotypes grown under late sown heat stress condition in multiple environments of Bangladesh”. *Fresen. Environ. Bull.*, vol. 27, pp. 5993-6004, 2018.
- [22] R. B. Austin, J. Bingham, R. D. Blackwell, L. T. Evans, M. A. Ford, C. L. Morgan, and M. Taylor, “Genetic improvements in winter wheat yields since 1900 and associated physiological changes”. *The journal of agricultural science*, vol. 94, no. 3, pp. 675-689, 1980.
- [23] C. L. Wiegand, A. J. Richardson, D. E. Escobar and A. H. Gerbermann, “Vegetation indices in crop assessments”. *Remote sensing of Environment*, vol. 35, no. 2-3, pp. 105-119, 1991.
- [24] M. P. Reynolds, S. Rajaram and K. D. Sayre, “Physiological and genetic changes of irrigated wheat in the post green revolution period and approaches for meeting projected global demand”. *Crop Science*, vol. 39, pp. 1611-1621, 1999.
- [25] M. Yıldırım and C. Barutçular, “Heat stress adaptation in wheat through phenotyping”. *Theoretical And Practical New Approaches In Cereal Science And Technology*, 25, 2021.
- [26] F. Kızılgöçü and M. Yıldırım, “The possibility to use three portable chlorophyll meters to estimate grain yield in rain-fed conditions”. 3. International African Conference on Current Studies, 2021
- [27] S. Öz, “Balıkesir ili Bandırma yöresinde ekilen ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L.) çeşitlerinin bazı kalite özelliklerinin belirlenmesi”. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Anabilim Dalı, Bursa Uludağ Üniversitesi, 2022.
- [28] W. Yan, L. A. Hunt, Q. Sheng, and Z. Szlavnic, “Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on GGE biplot”. *Crop Science*, vol. 40, pp. 597– 605, 2000.



Araştırma Makalesi / Research Article

Muş İli Ekolojik Koşulları İçin Uygun Macar Fiği (*Vicia pannonica* Crantz) Çeşitlerinin Belirlenmesi

*Determination of Suitable Hungarian Vetch Cultivars (*Vicia pannonica* Crantz) for Ecological Conditions of Muş Province*

Suat DAĞOĞLU¹ , Erdal ÇAÇAN^{2,*}

¹ Bingöl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, 12000, Bingöl, Türkiye

² Bingöl Üniversitesi, Gıda, Tarım ve Hayvancılık Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, 12000, Bingöl, Türkiye

<https://doi.org/10.55007/dufed.1185523>

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihi

Alınış, 07 Ekim 2022

Revize, 11 Kasım 2022

Kabul, 14 Kasım 2022

Online Yayınlama, 22 Aralık 2022

Anahtar Kelimeler

Ot verimi, Ham protein, Makro elementler, Mikro elementler

ARTICLE INFO

Article History

Received, 07 October 2022

Revised, 11 November 2022

Accepted, 14 November 2022

Available Online, 22 December 2022

Keywords

Forage yield, Crude protein, Macro elements, Micro elements

ÖZ

Bu çalışma, Muş ili ekolojik koşulları için uygun Macar fiği çeşit veya çeşitlerinin belirlenmesi amacıyla yürütülmüştür. Araştırmada 10 adet Macar fiği (Aygün, Enes, Sarıefe, Kansur, Oğuz-2002, Akçalar, Anadolu Pembesi 2002, Doğu Beyazı, Tarm Beyazı-98 ve Budak) çeşidi bitkisel materyal olarak kullanılmıştır. Araştırmada; bitki boyu 62,2-114,5 cm, yeşil ot verimi 1747-3547 kg/da, kuru ot verimi 585-1225 kg/da, ham protein oranı %18,0-20,2, ADF (asit deterjan lif) oranı %31,6-37,3, NDF (nötr deterjan lif) oranı %36,9-41,7,P (fosfor) oranı %0,35-0,37, K (potasyum) oranı %3,27-3,47, Ca (kalsiyum) oranı %1,37-1,45, Mg (magnezyum) oranı %0,25-0,28, Mn (mangan) içeriği 34,8-49,1 ppm, Fe (demir) içeriği 304,4-467,7 ppm, Cu (bakır) içeriği 63,7-95,6 ppm ve Zn (çinko) içeriği 21,2-42,8 ppm arasında bulunmuştur. İstatistiksel olarak çeşitler arasında ham protein, NDF, P, K, Ca, Mg ve Mn oranları açısından herhangi bir farklılık görülmemiştir. En yüksek bitki boyu, yeşil ve kuru ot verimleri Anadolu Pembesi 2002 ve Oğuz-2002 dışında kalan diğer çeşitlerden elde edilmiştir. Dolayısıyla Muş ili ekolojik koşullarında Anadolu Pembesi 2002 ve Oğuz-2002 dışında kalan çeşitlerin yetiştirilmesinin avantajlı olduğu sonucuna varılmıştır.

ABSTRACT

This study was carried out to determine the suitable Hungarian vetch cultivar/cultivars for the ecological conditions of Muş province. In the research, 10 Hungarian vetch (Aygün, Enes, Sarıefe, Kansur, Oğuz-2002, Akçalar, Anadolu Pembesi 2002, Doğu beyazı, Tarm beyazı-98 and Budak) cultivars were used as plant material. In the study; plant height 62.2-114.5 cm, forage yield 1747-3547 kg/da, dry matter yield 585-1225 kg/da, crude protein ratio 18.0-20.2%, ADF (acid detergent fiber) ratio 31.6-37.3%,

*Sorumlu Yazar

E-posta Adresleri: suatdagoglu23@gmail.com (Suat DAĞOĞLU), ecacan@bingol.edu.tr (Erdal ÇAÇAN)

NDF (neutral detergent fiber) ratio 36.9-41.7%, P (phosphorus) ratio 0.35-0.37%, K (potassium) ratios 3.27-3.47%, Ca (calcium) ratio 1.37-1.45%, Mg (magnesium) ratio 0.25-0.28%, Mn (manganese) content 34.8-49.1 ppm, Fe (iron) content 304.4-467.7 ppm, Cu (copper) content 63.7-95.6 ppm and Zn (zinc) content were found to be 21.2-42.8 ppm. Statistically, there was no difference between the cultivars in terms of crude protein, NDF, P, K, Ca, Mg and Mn ratios. The highest plant height, forage and dry matter yields were obtained from other cultivars except Anadolu Pembesi 2002 and Oğuz-2002. Therefore, it was concluded that cultivars other than Anadolu Pembesi 2002 and Oğuz-2002 are advantageous to cultivate in Muş ecological conditions.

1. GİRİŞ

lkemiz hayvancılığı hak ettiği seviyelerde değildir. Ülkemiz hayvancılığının yeteri seviyelere gelememesinin ana sebeplerinden bir tanesi, belki de en önemlisi, ihtiyaç duyulan kaba yemin yeterli, kaliteli ve ucuz bir Şekilde retilmemesidir. Ülkemiz, yaklaşık 22.8 milyon HB (hayvan birimi) varlığına sahiptir. Bu hayvan varlığının kaliteli kaba yem gereksinimi yılda 62.7-75.0 milyon tondur [1]. Ülkemiz, kaba yem üretimi ihtiyacımızın yaklaşık olarak %50'sini karşılayabilmektedir [2].

Kaba yem ihtiyacımız genel olarak ayır ve meralar ile yem bitkileri ekim alanlarından tedarik edilmektedir. Ancak bu kaynaklardan ayır ve mera alanları, aşırı ve zamansız otlatılma nedeniyle çok zayıflamış ve kaliteli kaba yem ihtiyacını karşılamada yetersiz kalmaktadır. Uygun toprak ve iklim çeşitliliğine sahip olan ülkemiz birçok yem bitkisi türünün yetiştirilmesine elverişli olmasına rağmen, tarla tarımı içerisinde yem bitkileri ekim alanı, istenilen düzeyde değildir. Gelişmiş ülkelerde kaba yem üretim alanı, tarla tarımı içerisinde ortalama %25-30 arasında yer alırken ülkemizde bu oran yıllara göre değişmekle birlikte %7.0-11.3 gibi [3] çok düşük oranlarda kalmaktadır.

Dünyada yetiştiriciliği yapılan ortalama 150 kadar fiğ türü bulunmaktadır. Ülkemizde doğal olarak bulunan birçok fiğ türü vardır [4]. Soğuğa dayanıklılığı ile ön plana çıkan Macar fiği, kışın sert geçen bölgelerde kışlık olarak ekilebilecek yüksek ot verimine sahip bir fiğ türüdür [5,6]. Ayrıca besleme değeri de yüksek olan Macar fiğinin otunda yaklaşık %15-17 oranında ham protein bulunmaktadır[7]. Macar fiği ekim nöbeti sistemlerinde toprak verimliliğinin artmasını sağlar, taban taşı oluşumunu önler, tarlayı yormaz ve suyu ekonomik kullanır. Bu sebeple nadasa bırakılacak arazilerde başarılı bir Şekilde kullanılabilir [8].

Macar fiği tarımı, ülkemizde yaygınlık kazanmaya başlamıştır. 2021 yılı istatistiki verilerine göre 810.911 dekar alanda 1.097.255 ton yeşil ot Macar fiği üretimi yapılmakta ve dekar başına 1.354 kg yeşil ot verimi alınmaktadır [9]. Macar fiği ile ilgili yapılan bilimsel çalışmalar da her geçen gün artmaktadır. Son yıllarda Macar fiği ile ilgili yapılan çalışmalara bakıldığında; Eskişehir ekolojik Şartlarında ekimi yapılan bazı Macar fiği çeşitlerinin yem ve tohum verimlerini belirlemek amacıyla

yürütölen iki yıllık çalışma sonucuna göre; birinci yıl yeşil ot verimi 1386 kg/da, kuru ot verimi 446 kg/da, tane verimi 56 kg/da, ikinci yıl yeşil ot verimi 1763 kg/da, kuru ot verimi 432 kg/da ve tane verimi 162 kg/da olarak tespit edilmiştir [10].

Macar fiğinde farklı zamanlarda yapılan hasatların, ot verimi ve bazı kalite özelliklerine etkisinin incelendiği çalışmada; alt baklaların oluşum döneminde yapılan hasatta ortalama yeşil ot verimi 1928 kg/da, kuru ot verimi 485 kg/da, HP (ham protein) oranı %24.3, ham protein verimi 118.5 kg/da, ADF oranı %36.5, NDF oranı %42.8 ve nispi yem değeri 133.7 olarak tespit edilmiştir [11].Macar fiğinin yem değerini ve rumende parçalanabilirlik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan çalışmada; ham protein oranı %13.12, ADF oranı %29.19 ve NDF oranı %45.37 olarak tespit edilmiştir [12].Macar fiği genotiplerinde farklı biçim zamanlarının verim ve kaliteye olan etkisinin incelendiği iki yıllık çalışmada; ilk yıl tam çiçeklenme döneminde bitki boyu 46.23 cm, yeşil ot verimi 1515.20 kg/da, kuru ot verimi 356.22 kg/da, HP oranı %16.11, NDF oranı %45.81, ADF oranı %26.84, ikinci yılda ise bitki boyu 44.51 cm, yeşil ot verimi 1638.22 kg/da, kuru ot verimi 370 kg/da, HP oranı %17.00, NDF oranı %45.84 ve ADF oranı %38.81 olarak tespit edilmiştir [13].

Macar fiğinin farklı ekim zamanlarının verim, kalite ve besin elementi içeriğine etkisinin incelendiği çalışmada; sonbaharda erken yapılan ekimin verim ve kalite açısından en yüksek değerleri verdiği, besin elementleri açısından ise Ca, Mg ve K açısından zamanlar arasında bir fark olmadığı ve neticede Macar fiği ekiminin erken yapılmasının avantajlı olduğu bildirilmiştir [14].Bazı baklagil yem bitkilerinin nispi yem değeri ve sindirim dereceleri açısından karşılaştırıldığı bir çalışmada; Macar fiğinin ham protein oranı %24.96, ADF oranı %30.47, NDF oranı %41.49, kuru madde sindirimi %65.13 ve nispi yem değeri 146 olarak tespit edildiği ve Macar fiğinin ham protein açısından en yüksek değerini veren bitkilerden olduğu bildirilmiştir [15].

Yukarıda belirtildiği üzere ülkemizin farklı bölgelerinde Macar fiğinin ekim zamanları, hasat zamanları, çeşit adaptasyon yetenekleri, verimleri, kaliteleri gibi birçok konuda bilimsel çalışmalar yapılmıştır/yapılmaktadır. Ancak Muş ili ekolojik koşulları için uygun Macar fiği çeşidinin tespitine yönelik herhangi bir çalışma yrtlmemiştir. Bu nedenle, Doğu Anadolu Bölgesinin karasal iklimine sahip olan Muş ilinde, üstün verim ve kalite özelliklerine sahip olan Macar fiği çeşit veya çeşitlerinin tespit edilmesi amacıyla bu çalışma yrtlmştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1 Materyal

Araştırmada, 10 adet Macar fiği eşidi (Aygün, Doğu Beyazı, Sariefe, Kansur, Oğuz-2002, Anadolu Pembesi 2002, Tarm Beyazı-98, Enes, Akçalar ve Budak) bitkisel materyal olarak

kullanılmıştır. Araştırma, Muş ili Yıldız Alparslan Tarım İşletmesi Araştırma ve Uygulama Alanında 2019-2020 yılı yetiştirme sezonunda yürütülmüştür.

Muş iline ait iklim verilerine bakıldığında, denemenin yürütüldüğü 2019-2020 yıllarında ortalama sıcaklığın 10.3 °C, toplam yağışın 682.1 mm ve nispi nem değerinin de %62.9 olduğu görülmektedir. Yetiştirme döneminin uzun yıllara göre daha sıcak ve daha az yağışlı olduğu görülmektedir (Tablo 1).

Tablo 1. Araştırmanın yürütüldüğü dönemlere (2019-2020) ve uzun yıllara (1975-2018) ait iklim verileri

Aylar (2019-2020)	Ortalama Sıcaklık (°C)		Toplam Yağış (mm)		Nispi Nem (%)	
	Uzun Yıllar	2019-2020	Uzun Yıllar	2019-2020	Uzun Yıllar	2019-2020
Ekim	12.8	13.4	64.2	33.4	59.4	60.2
Kasım	4.7	4.9	88.7	33.1	73.4	73.7
Aralık	-2.7	-2.4	89.4	47.3	80.4	79.8
Ocak	-7.2	-6.5	89.5	67.0	80.5	80.8
Şubat	-5.7	-4.9	98.2	86.3	79.6	79.0
Mart	1.1	2.1	105.8	161.9	75.4	76.1
Nisan	9.1	9.8	104.9	114.3	66.5	66.9
Mayıs	14.7	15.1	69.9	99.2	60.0	60.3
Ortalama	9.7	10.3	767.5	682.1	61.8	62.9

Deneme alanından alınan toprak örneklerinin analizi, Bingöl Üniversitesi Ziraat Fakültesi'nde yapılmıştır. Analiz sonucu neticesinde; deneme alanının toprak yapısının killi, siltli ve kumlu yapıda olduğu, pH değeri 8.15, tuzluluk miktarı 804 ms/cm, organik madde miktarı %1.38, kireç miktarı %0.25, fosfor 3.7 kg/da ve potasyum 144.4 kg/da olarak tespit edilmiştir. Araştırma alanının toprağı killi yapıda, orta alkali, organik madde bakımından orta, kireçsiz, fosfor oranı düşük ve potasyum oranı yüksek bir yapıya sahiptir (Tablo 2).

Tablo 2. Araştırma alanına ait toprak analizi sonuçları

Kil	Tekstür (%)			pH	EC (ms/cm)	OM (%)	Kireç (%)	P ₂ O ₅ (kg/da)	K ₂ O (kg/da)
	Silt	Kum	Sınıf						
45.0	35.0	20.0	Killi, Siltli Tınlı	8.15	804	1.38	0.25	3.7	144.4

2.2 Metot

Deneme alanında 2019 yılı sonbaharında ekim öncesinde önce pulluk, sonra kültivatör ile sürüm yapılarak toprak hazırlığı yapılmıştır. Denemenin parsel boyları 5 m, sıra arası 20 cm ve her parselde 6 sıra olacak şekilde ekim yapılmıştır. Araştırmada dekara 12 kg tohum kullanılmış olup, ekim ile birlikte saf madde üzerinden 4 kg/da azot (N), 10 kg/da fosfor (P₂O₅) olacak şekilde deneme alanına gübre verilmiştir. Denemede Macar fiğı çeşitlerinin ekimi 24 Ekim 2019, hasadı ise 18 Haziran 2020 tarihinde, çeşitlerde alt baklaların oluşması aşamasında yapılmıştır [16].

Araştırmada her parselden rastgele 10 bitki seçilmiştir. Seçilen bu bitkilerin toprak yüzeyinden en st noktasına kadarki mesafe cm olarak llp bitki boyu elde edilmiştir. Parsellerden kenar tesiri alındıktan sonra geriye kalan kısmı hasat edilip tartılmıştır. Tartılan bu parsellerin yeşil ot verimleri bulunmuş ve dekara verimleri hesaplanmıştır. Kuru ot verimini bulmak için her parselden alınan 500 gram bitki numunesi alınarak, 70 C’de 48 saat kurutulduktan sonra tartılmıştır. Elde edilen değer ile yeşil ot verimi çarpılarak kuru ot verimi elde edilmiştir [16].

Kuru madde verimi belirlenen ve 1 mm’lik elekten geçirilecek şekilde öğütülmüş olan örneklerin ham protein analizi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Laboratuvarında NIRS cihazı ile yapılmıştır. NIRS cihazı ile Macar fiği otlarının ham protein, ADF, NDF, Ca, Mg, P ve K içerikleri belirlenmiştir. Mikro elementlerden Mn, Fe, Cu ve Zn içeriklerine ait analizler, Bingl Üniversitesi Merkezi Laboratuvar Uygulama ve Araştırma Merkezinde ICP-MS cihazı yardımıyla yapılmıştır.

2.3 Verilerin İstatistiksel Değerlendirilmesi

Deneme, tesadüf blokları deneme desenine göre 3 tekerrürlü olacak şekilde kurulmuştur. Elde edilen veriler JMP istatistik paket programı yardımıyla analizi yapılmıştır. Gruplar arasındaki farklılıklar ve benzerlikler Tukey testi ile karşılaştırılmıştır[17].

3. ARAşTIRMA BULGULARI

3.1 Macar Fiği eşitlerinin Bitki Boyu İle Yeşil Ot ve Kuru Ot Verimleri

Macar fiği eşitleri arasında bitki boyu, yeşil ot verimi ve kuru ot verimi açısından görülen farklılığın istatistiksel olarak önemli olduğu ve çeşitlerinin ortalama bitki boyunun 101.5 cm, yeşil ot veriminin 2778 kg/da ve kuru ot verimi 909 kg/da olduğu tespit edilmiştir. Bitki boyu, yeşil ot verimi ve kuru ot verimi açısından Anadolu Pembesi 2002 ve Oğuz-2002 dışında kalan diğer tüm çeşitlerin istatistiksel olarak en yüksek değeri veren grupta yer aldıkları görülmektedir (Tablo 3).

Bu alışmada Macar fiği çeşitlerinin bitki boyları 62.2-114.5 cm, yeşil ot verimleri 1747-3547 kg/da ve kuru ot verimleri de 585-1225 kg/da arasında tespit edilmiştir (Tablo 3). Son yıllarda yapılan çalışmalara bakıldığında; Tenikecier ve ark. [13], Macar fiğinde bitki boyunu 76.65-99.01 cm, yeşil ot verimini 1515-1638 kg/da ve kuru ot verimini 323-356 kg/da arasında belirlediklerini ve iki yıllık çalışma neticesinde Kırklareli koşullarında Sariefe eşidinin tercih edilmesini gerektiğini bildirmişlerdir. Bu çalışmada da Sariefe eşidinin ot verimi açısından yüksek değerleri veren grup içerisinde yer aldığı görülmektedir. lker ve Yüksel [18], Macar fiği çeşitlerinde yeşil ot verimini ortalama 2252 kg/da ve kuru ot verimini 513 kg/da olarak tespit ettiklerini ve bu çalışmada da yüksek

değerler veren Sarıefe ve Tarm Beyazı-98 eşitlerinin en yüksek değerler veren çeşitler olduğunu bildirmişlerdir. Genel olarak araştırmacıların elde etmiş olduğu bulguların, bu çalışmadan elde edilen bulgulardan daha düşük olduğu görülmektedir.

Tablo 3. Macar fiği çeşitlerinin bitki boyu, yeşil ot verimi ve kuru ot verimi

Çeşitler	Bitki boyu (cm)	Yeşil Ot Verimi (kg/da)	Kuru Ot Verimi (kg/da)
Akçalar	110.8 a**	2953 ab**	927 abc
Anadolu Pembesi 2002	82.9 b	2400 bc	791 bc
Aygün	114.5 a	2720 abc	876 abc
Budak	107.3 a	3220 ab	1051 ab
Doğu Beyazı	108.8 a	3547 a	1225 a
Enes	103.8 a	2793 abc	926 abc
Kansur	107.4 a	2693 abc	885 abc
Oğuz-2002	62.2 c	1747 c	585 c
Sarıefe	104.8 a	3240 ab	1042 ab
Tarm Beyazı-98	112.1 a	2467 abc	789 bc
Ortalama	101.5	2778	909
CV (%)	6.85	13.70	13.60

** $P \leq 0.01$

Farklı iklim ve toprak koşullarında bitkilerin boyları, yeşil ot ve kuru ot verimleri arasında önemli farklılıklar görülebildiği gibi farklı zamanlarda yapılan ekimler veya farklı zamanlarda yapılan hasatlarda da bitkilerin boyları, yeşil ot ve kuru ot verimleri büyük miktarda farklılıklar gösterebilmektedir. Nitekim, Macar fiğinde yeşil ot veriminin 1142-2624 kg/da ve kuru ot veriminin 365-652 kg/da aralığında tespit edildiği bir çalışmada, farklı dönemlerde hasat edilen Macar fiğinin yeşil ot ve kuru ot verimi üzerindeki etkisinin önemli olduğu [11], yine başka bir çalışmada Macar fiğinde bitki boyunun 50.8-93.3 cm, yeşil ot veriminin 512-1514 kg/da ve kuru ot veriminin 138-446 kg/da arasında tespit edildiği ve ekim zamanlarının Macar fiğinde verim özellikleri üzerinde önemli etkisinin olduğu bildirilmiştir [14].

3.2 Macar Fiği eşitlerinin Ham Protein, ADF ve NDF Oranları

Macar fiği eşitleri arasında ham protein ve NDF oranlarının istatistiksel olarak nemsiz, ADF oranının ise istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. Çeşitlerin ortalama ham protein oranı %18.9, ADF oranı %35.5 ve NDF oranı %39.7 olarak belirlenmiştir. En düşük ADF oranı %31.6 ile Oğuz-2002 çeşidinden, en yüksek değer ise geriye kalan tüm çeşitlerden elde edilmiştir (Tablo 4).

Macar fiği çeşitlerinde tespit edilen ortalama ham protein (%18.9), ADF (%35.5) ve NDF oranları (%39.7); Bayar ve aan [11] tarafından elde edilen %35.5 ADF oranı ve %42.8 NDF oranı, Tenikecier ve ark. [13] tarafından elde edilen %31.68-33.93 ADF oranı, aan ve ark. [14] tarafından ekim ayı sonunda yapılan ekim zamanından elde edilen %20.1 ham protein oranı, %31.9 ADF oranı ve

%38.5 NDF oranı, Ülker ve Yüksel [18] tarafından Macar fiği çeşitlerinde elde edilen %17.30 ham protein oranı ile benzerlik göstermektedir.

Tablo 4.Macar fiği çeşitlerinin ham protein, ADF ve NDF oranları

Çeşitler	Ham Protein (%)	ADF (%)	NDF (%)
Akçalar	18.1 ^{öd}	37.3 a**	41.3 ^{öd}
Anadolu Pembesi 2002	19.0	34.6 ab	39.2
Aygün	18.8	37.0 a	41.0
Budak	18.8	35.1 ab	39.4
Doğu Beyazı	19.0	35.3 a	38.9
Enes	18.6	36.5 a	40.0
Kansur	19.5	35.7 a	39.4
Oğuz-2002	20.2	31.6 b	36.9
Sarıefe	18.7	35.0 ab	38.7
Tarm Beyazı-98	18.0	37.3 a	41.7
Ortalama	18.9	35.5	39.7
CV (%)	5.17	3.50	3.40

** : P<0.01, öd: istatistiksel olarak çeşitler arasındaki fark önemli değil

3.3 Macar Fiği Çeşitlerinin Fosfor, Potasyum, Kalsiyum ve Magnezyum Oranları

Macar fiği çeşitleri arasında P, K, Ca ve Mg açısından görülen farklılığın istatistiksel olarak önemsiz olduğu görülmektedir. Çeşitlerin P oranları %0.35-0.37, K oranları %3.27-3.47, Ca oranları 1.37-1.45 ve Mg oranları 0.25-0.28 arasında değişim göstermiştir (Tablo 5).

Tablo 5.Macar fiği çeşitlerinin P, K, Ca ve Mg oranları

Çeşitler	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
Akçalar	0.35 ^{öd}	3.45 ^{öd}	1.39 ^{öd}	0.27 ^{öd}
Anadolu Pembesi 2002	0.36	3.47	1.45	0.26
Aygün	0.36	3.37	1.39	0.27
Budak	0.35	3.27	1.42	0.26
Doğu Beyazı	0.36	3.46	1.43	0.27
Enes	0.35	3.30	1.43	0.27
Kansur	0.36	3.45	1.42	0.28
Oğuz-2002	0.37	3.35	1.45	0.27
Sarıefe	0.35	3.47	1.40	0.25
Tarm Beyazı-98	0.35	3.35	1.37	0.25
Ortalama	0.36	3.39	1.42	0.26
CV (%)	4.15	3.00	3.60	5.90

öd: istatistiksel olarak çeşitler arasındaki fark önemli değil

Macar fiği çeşitlerinde tespit edilen ortalama P (%0.36), K (%3.39), Ca (%1.42) ve Mg (%0.26) oranları; Macar fiğinde Çaçan ve Yılmaz [19] tarafından tespit edilen %0.31 P, %1.87 K, %1.55 Ca ve %0.29 Mg oranları, Gülümser ve Acar [20] tarafından tespit edilen %0.38 P, %3.09 K,

%1.31 Ca ve %0.27 Mg oranları ve Çaçan ve ark. [14] tarafından tespit edilen %0.37 P, %2.09 K, %1.58 Ca ve %0.33 Mg oranları ile benzerlik göstermektedir.

3.4 Macar Fiği Çeşitlerinin Mangana, Demir, Bakır ve Çinko Oranları

Macar fiği çeşitleri arasında Fe, Cu ve Zn açısından görülen farklılığın istatistiksel olarak önemli, Mn açısından görülen farklılığın ise önemsiz olduğu görülmüştür. Çeşitlerin Mn içerikleri 34.8-49.1 ppm arasında değişim göstermiştir. En düşük Fe içeriği Sarıefe çeşidinde, en yüksek Fe içeriği geriye kalan tüm çeşitlerde elde edilmiştir. Cu içeriği ortalama 84.3 ppm olup en düşük Aygün, en yüksek geriye kalan diğer tüm çeşitlerde belirlenmiştir. Zn içeriği Akçalar, Oğuz-2002, Sarıefe ve Tarm Beyazı-98 çeşitlerinde en yüksek olurken, geriye kalan diğer çeşitlerde en düşük oranda bulunmuştur (Tablo 6).

Tablo 6. Macar fiği çeşitlerinin Mn, Fe, Cu ve Zn içerikleri

Çeşitler	Mn (ppm)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)
Akçalar	45.6 ^{öd}	366.6 ab*	94.1 a*	30.3 ab**
Anadolu Pembesi 2002	39.3	312.0 ab	81.3 ab	22.0 b
Aygün	34.8	316.6 ab	63.7 b	22.3 b
Budak	49.1	467.7 a	85.2 ab	21.2 b
Doğu Beyazı	45.1	365.0 ab	91.9 ab	25.0 b
Enes	42.9	351.8 ab	82.5 ab	25.0 b
Kansur	47.4	422.8 ab	91.5 ab	22.3 b
Oğuz-2002	42.6	342.0 ab	95.6 a	29.1 ab
Sarıefe	35.0	304.4 b	75.2 ab	35.2 ab
Tarm Beyazı-98	41.0	422.6 ab	81.7 ab	42.8 a
Ortalama	42.3	367.1	84.3	27.5
CV (%)	13.90	15.09	12.00	19.82

*: $P \leq 0.05$, **: $P \leq 0.01$, öd: istatistiksel olarak çeşitler arasındaki fark önemli değil

Motsara ve Roy [21] bitkilerin Mn içeriğinin 20-300 ppm, Fe içeriğinin 50-250 ppm, Cu içeriğinin 5-20 ppm ve Zn içeriğinin 20-100 ppm arasında olması gerektiğini bildirmiştir. Bu açıdan bakıldığında Macar fiği çeşitlerinde tespit edilen Fe ve Cu içeriğinin Motsara ve Roy [21] tarafından belirlenen sınır değerlerin üzerinde, Mn ve Zn içeriğinin ise sınır değerler içerisinde olduğu anlaşılmaktadır.

Daha önce yapılan çalışmalarda Hashalıcı [22], Macar fiğinde Mn içeriğini 44.5-73.2 ppm, Fe içeriğini 133.3-206.4 ppm, Cu içeriğini 6.47-8.17 ppm ve Zn içeriğini 44.7-66.1 ppm arasında tespit ettiğini bildirmiştir. Akbalık [23] bazı fiğ türlerinde Mn içeriğini 7.81-21.90 µg/g, Cu içeriğini 0.93-15.85 µg/g ve Zn içeriğini 4.90-56.94 µg/g arasında tespit etmiştir. Mevcut çalışmadan elde edilen Fe ve Cu içeriğinin hem Motsara ve Roy [21] tarafından verilen sınır değerler, hem de araştırmacıların

rapor ettikleri değerlerden daha yüksek çıkmaktadır. Bu ykseklilik muhtemelen Bingl il topraklarının Fe ve Cu içeriklerinin fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

4. SONUÇ

Çalışma sonucunda en yüksek bitki boyu, yeşil ot verimi ve kuru ot veriminin Anadolu Pembesi 2002 ve Oğuz 2002 dışında kalan diğer tüm çeşitlerden elde edildiği belirlenmiştir. Ham protein, NDF, P, K, Ca, Mg ve Mn açısından çeşitler arasında istatistiksel olarak herhangi bir farklılık görülmemiştir. En yüksek Fe içeriğinin Sarıefe dışında kalan tüm çeşitlerden, en yüksek Cu içeriğinin Aygün dışında kalan tüm çeşitlerden ve en yüksek Zn içeriğinin de istatistiki açıdan aynı grupta yer alan Akçalar, Oğuz-2002, Sarıefe ve Tarm Beyazı-98 çeşitlerinden elde edildiği belirlenmiştir. Muş ili ekolojik koşulları için Anadolu Pembesi 2002 ve Oğuz-2002 dışında kalan diğer çeşitlerin ot amaçlı yetiştiriciliğinin yapılmasının avantajlı olduğu sonucuna varılmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu alışma, Suat DAĞOĞLU'nun yüksek lisans tezinin özetidir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar çıkar atışması olmadığını bildirmektedirler.

ETİK BEYANI

Bu çalışmada, yazarlar “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamındaki tüm kurallara uyduklarını, ilgili yönergenin “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler” olarak belirtilen başlığı altındaki eylemlerden hiçbirini gerçekleştirmediklerini taahhüt ederler.

YAZARLARIN KATKILARI

Suat DAĞOĞLU: Arazi çalışmalarını yürütme, veri toplama ve yazım konusunda katkı sağlamıştır. Erdal AAN: Yazma-orijinal taslak hazırlama, veri toplama, verinin düzenlenmesini aşamalarında katkı sağlamıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Z. Acar, C. Sabancı, M. Tan, C. Sancak, M. Kızılışımşek, U. Bilgili, İ. Ayan, A. Karagöz, H. Mut, Ö.Ö. Aşçı, U. Başaran, B. Kır, S. Temel, G.B. Yavuzer, R. Kırbaş ve M.A. Pelen, “Yem bitkileri üretiminde değişimler ve yeni arayışlar,” Türkiye Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi, 12-16 Ocak, Ankara,2015.
- [2] A. Alçıçek, A. Kılıç, V. Ayhan, ve M. Özdoğan, “Türkiye’de kaba yem üretimi ve sorunları,”Türkiye Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi, 11-15 Ocak, Ankara, 2010.
- [3] TUİK, *Türkiye İstatistik Kurumu, Bitkisel Üretim İstatistikleri*. (2018). Erişim Tarihi: 10.03.2021. [Online]. <http://www.tuik.gov.tr>.
- [4] R. Avcıoğlu, R. Hatipoğlu ve Y. Karadağ, *Yem Bitkileri Baklagil Yem Bitkileri Cilt II*, Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Tarımsal Üretim ve Geliştirme Genel Müdürlüğü Yayınları, İzmir, 2009.
- [5] M. S. Sayar, H. Karahan, Y. Han, S. Tekdal ve M. Başbağ, “Kızıltepe ekolojik koşullarında bazı Macar fiğ (*Vicia pannonica* Crantz.) genotiplerinin ot verimi, ot verimini etkileyen özellikler ile özellikler arası ilişkilerin belirlenmesi,” *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi-Research Journal of Agricultural Sciences (TABAD)*, vol. 5, no. 2, pp. 126-130, 2012.
- [6] M. S. Sayar, A.E. Anlarsal ve M. Başbağ, “Macar fiğ (*Vicia pannonica* Crantz) genotiplerinde biyolojik verim özelliği bakımından çevreler üzerinden eklemeli ana etkiler ve çarpımsal interaksiyonlar AMMI Analizi,” *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, vol. 25, no. özel sayı 2, pp. 235-240, 2016, DOI: 10.21566/tarbitderg.282439.
- [7] C. Balabanlı, “Değişik ekim sıklığı ve ekim zamanının Macar fiği (*Vicia pannonica* Crantz)’nin verim ve verim öğelerine etkileri üzerine araştırmalar,” Doktora Tezi, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1992.
- [8] M. Tan ve Y. Serin, “Macar fiği tarımı,” in *Yem Bitkileri ve Meraya Dayalı Hayvancılık Eğitimi*, Erciyes Üniversitesi Yayın No:160, S.S Yerköy Köyü Tarımsal Kalkınma Kooperatifi Yayın No: 2, Y. Serin, Kayseri, pp. 107-117, 2008.
- [9] TUİK, *Türkiye İstatistik Kurumu, Bitkisel Üretim İstatistikleri*. (2022). Erişim Tarihi: 27.06.2022. [Online]. <http://www.tuik.gov.tr>.
- [10] İ. Erdoğdu, A. Sever ve A. Atalay, “Eskişehir koşullarında Macar fiği (*Vicia pannonica* Crantz.) hat ve çeşitlerinde yem ve tohum verimleri,” *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, vol. 25, no. 2, pp. 230–234, 2016.
- [11] M. Bayar ve E. aan, “Farklı zamanlarda hasat edilen Macar fiğinde (*Vicia pannonica* Crantz) ot verimi ve bazı kalite özelliklerinin değişimi,” *1. Uluslararası Harran Multidisipliner alışmalar Kongresi*,8-10 Mart 2019, şanlıurfa, 2019.
- [12] Y. Karadağ, N. Kılıçalp and M. Özkurt, “The effects of Hungarian vetch (*Vicia pannonica* Crantz.) and triticale (*x Triticosecale* sp. Wittmack) sown in different seed rates on feed value and ruminal degradability characteristics of nutrients,” *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Science*, vol. 30, no. 3, pp. 557-559, 2020.
- [13] H. S. Tenikecier, A. Orak, A. S. Tekeli ve B. Gültekin, “Bazı Macar fiği (*Vicia pannonica* Crantz.) genotiplerinde farklı biçim zamanlarının ot verimi ve bazı kalite özelliklerine etkisi,” *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, vol. 7, no. 4, pp. 833–847, 2020, doi:10.30910/turkjans.782231.

- [14] E. aan, H. Nursoy ve E. Şahin, “Macar fiğinin (*Vicia pannonica* Crantz) farklı ekim zamanlarına göre verim, kalite ve besin elementleri içeriklerinin değişimi,” *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, vol. 31, no. 3, pp. 729–737, 2021, doi:10.29133/yyutbd.828947.
- [15] . Kurt, A. Kamalak ve A. N. Kurt, “Bazı baklagil yem bitkilerinin nispi yem değerleri, in vitro gaz üretimi, organik madde sindirim derecesi ve metabolik enerji içeriklerinin belirlenmesi,” *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 12, no. 2, pp. 1143–1153, 2022, doi:10.21597/jist.1032208.
- [16] Anonim, *Tarımsal Değerleri lme Denemeleri Teknik Talimatı*, Tarım ve Köy İŐleri Bakanlığı Tohumluk Tescil ve Sertifikasyon Merkezi Müdürlüğü Yayınları, Ankara, 2021.
- [17] JMP, *Statistical Discovery from SAS*, USA, 2018.
- [18] E. lker ve O. Yüksel, “UŞak Şartlarında bazı Macar fiği (*Vicia pannonica* Crantz.) eŐitlerinin verim ve tarımsal özelliklerinin belirlenmesi,” *Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Ziraat Fakóltesi Dergisi*, vol. 16, no. 1, pp. 52–58, 2021.
- [19] E. aan ve H. Ő. Yılmaz, “Bingl koşullarında değişik Macar fiği (*Vicia pannonica* Crantz) + Buğday (*Triticum aestivum* L.) karışım oranlarının ot verimi ve kalitesi üzerine etkileri,” *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, vol. 2, no. 3, pp. 290-296, 2015.
- [20] E. Gölümser ve Z. Acar, “Biçim zamanı ve tohum oranlarının Macar fiği tahıl karışımlarının bazı kalite özellikleri üzerine etkisi,” *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, vol. 31, no. 2, pp. 14–21, 2017, doi:10.15316/sjafs.2017.14.
- [21] M. R. Motsara and R. N. Roy, *Guide To Laboratory Establishment for Plant Nutrient Analysis*, FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin No: 19:78, 2008.
- [22] S. Hashalıcı, “Kayseri kıraç koşullarında bazı Macar fiği çeşitlerinin ot verimleri ve kalitelerinin belirlenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Tarla Bitkileri Ana Bilim Dalı, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 2016.
- [23] H. G. Akbalık, “Diyarbakır çevresindeki farklı alanlarda doğal olarak yetiŐen bazı baklagil yem bitkilerinin besin elementi içeriklerinin incelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır, 2012.



Araştırma Makalesi / Research Article

Doğu Anadolu’da Gıda Olarak Tüketilen Bazı Türlerin Multi-element Analizi: Bu Türlerin Element İçeriklerinin Karşılaştırılması

Multi-element Analysis of Some Species Consumed as Food in Eastern Anatolia: Comparison of Element Contents of These Species


Adil UMAZ^{1,*} , Fırat AYDIN² , Mehmet FIRAT³ , Abdulselam ERTAŞ⁴ 

¹Mardin Artuklu Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, 47200, Mardin, Türkiye

²Dicle Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, 21280, Diyarbakır, Türkiye

³Van Yüzüncüyıl Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 65080, Van, Türkiye

⁴Dicle Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi, Analitik Kimya Anabilim Dalı, 21280, Diyarbakır, Türkiye

 <https://doi.org/10.55007/dufed.1205827>

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihi

Alınış, 14 Kasım 2022

Revize, 03 Aralık 2022

Kabul, 09 Aralık 2022

Online Yayınlama, 26 Aralık 2022

Anahtar Kelimeler

Multi- elementler, Tıbbi ve gıda bitkileri, ICP-MS

ÖZ

Bu çalışmada, gıda ve tıbbi amaçlar için kullanılan bazı bitki türlerinin (*Arum conophalloides*, *Arum detrunctum*, *Ornithogalum narbonense*, *Muscari comosum* ve *Lippia citrodora*) multi-element içerikleri induktif eşleşmiş plazmalı kütle spektrometresi (ICP-MS) ile tayin edilmiştir. Çalışmada kullanılan türler önce mikrodalga çözünürleştirme işleminde derişik nitrik asit ve hidrojen peroksit ilave edilerek yakma işlemi yapılmıştır. Daha sonra elde edilen çözelti son hacim 100 mL olacak şekilde seyreltilmiş ve ICP-MS ile analiz edilmiştir. Aynı cinsin farklı türlerinin element içerikleri birbiriyle karşılaştırılmıştır. Bu cinslere ait türlerin element içerikleri birbirinden farklı olduğu ve bu farklılık ise bitkinin genetik yapısı, coğrafî konum, iklim ve çevre koşullarına bağlı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, bu çalışmada metod validasyon çalışması yapılmıştır.

ARTICLE INFO

Article History

Received, 14 November 2022

Revised, 03 December 2022

Accepted, 09 December 2022

Available Online, 26 December 2022

Keywords

Multi- elements, Medicinal and food plants, ICP-MS

ABSTRACT

In this study, the multi-element contents of some plant species (*Arum conophalloides*, *Arum detrunctum*, *Ornithogalum narbonense*, *Muscari comosum* and *Lippia citrodora*) used for food and medicinal purposes were determined by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). The species used in the study have first incinerated by adding concentrated nitric acid and hydrogen peroxide in the microwave solubilization process. Later, the obtained solution was diluted to a final volume of 100 mL and analyzed by ICP-MS. Element contents of different species of the same genus have compared with each other. It has been determined that the element contents of the species belonging to these genera are different from each other and this difference depends on the genetic structure of the plant,

*Sorumlu Yazar

E-posta Adresleri: adilumaz@artuklu.edu.tr (Adil UMAZ), faydin@dicle.edu.tr (Fırat AYDIN), kuyucak65@yahoo.com (Mehmet FIRAT), abdulselamertas@hotmail.com (Abdulselam ERTAŞ)

geographical location, climate and environmental conditions. In addition, method validation studies were carried out in this study.

1. GİRİŞ

Dünya genelinde yaklaşık 1.000.000 bitki türü olduğu tahmin edilmektedir. Bu türlerin yaklaşık 500.000'i tanımlanmış olup sistematik olarak adlandırılmıştır. Bu türlerden 20.000'i Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından yapılan araştırma sonucunda terapötik amaçlar için kullanıldığı bildirilmiştir. Türkiye florasında yaklaşık 11.000 bitki türü bulunmaktadır ve bu türlerden 3708'i endemiktir [1].

Araceae familyası, 118 cins ve 3800 tür ile temsil edilen ve deniz seviyesinden 3000 m yüksekliğe kadar çok çeşitli ekolojik habitatlara yayılmıştır [2]. Bu ailenin çiçekli bitki cinsi olarak bilinen *Arum* L., Asya, Avrupa, Kuzey Afrika ve Akdeniz bölgesine dağılan 26 türle temsil edilmektedir [2,3]. *Arum conophalloides* Kotschy Ex Schott (*A. conophalloides*), yerel olarak Kardeh olarak bilinen, İran, Irak, Suriye ve Türkiye'nin bazı bölgelerinde güveçte ve pirinç-sebzede pişirilerek yaygın olarak kullanılan mevsimlik (ilkbahar) ve yenilebilir narın bir bitkidir. Tanınmış aromatik ve tıbbi bir bitkidir ve yaprakları geleneksel tıpta ağrı kesici, kan temizleyici, mide ve bağırsak toniği olarak ve hayvan mastitisini tedavi etmek için kullanılmaktadır [3].

Asparagaceae, yaklaşık 2900 tür ve 114 cins ile temsil edilen monokotların Asparagales dizisinde yerleştirilen çiçekli bir bitki ailesidir. Bu ailenin en bilinen üyesi bahçe kuşkonmaz olarak bilinen *Asparagus officinalis*'tir [4].Asparagaceae familyasına ait *Muscari* Miller cinsi, Akdeniz bölgesi ve ılıman Avrupa'dan Orta Asya'ya kadar doğal bir dağılıma sahiptir ve dünya çapında 72 tür (75 takson) ile temsil edilmektedir. Zengin topografik ve ekolojik heterojenliği nedeniyle Anadolu, *Muscari* için önemli bir çeşitlendirme merkezidir. Nitekim dünya çapında kabul gören taksonların yarısından fazlasının anavatanı Anadolu'dur. Türkiye'de yapılan son araştırmalara göre *Muscari* cinsi 29'u Türkiye endemik olmak üzere 44 tür ile temsil edilmektedir [5]. Ekonomik ve farmasötik güce sahip *Muscari* cinsi hakkında çok sayıda floristik çalışma yapılmıştır. *Leopoldia comosa* (Syn.: *M. comosum*) 1.1-difenil-2-pikrilhidrazil (DPPH) aktivite yönteminde güçlü antioksidan etki gösterdiği belirlenmiştir. *Muscari* cinsinin kimyasal bileşenleri antimutajenik etkilere sahip homoizoflavonoidler, suda çözünür polisakkaritler ve glikozitlerdir [6].*Ornithogalum* L. cinsi, Asparagaceae familyasının ana grubunda yer almaktadır. *Ornithogalum* çok yıllık bir bitkidir ve Asya, Afrika, Madagaskar ve Avrupa'da yaygın olarak yayılış göstermektedir. Ornithogaleae (Caurel) kabilesindeki *Ornithogalum* cinsi Güney Avrupa'ya özgü yaklaşık 200 tür soğanlı bitkiden oluşur. Batı Akdeniz Bölgesi, Türkiye'nin en zengin yerlerinden biridir. Son araştırmalara göre bilinen 54 *Ornithogalum* türlerinden 17'si Türkiye'ye endemiktir. Batı Akdeniz Bölgesi 18 *Ornithogalum* türüne sahiptir ve bunlardan 5

tanisi endemiktir. *Ornithogalum* türleri süs bitkisi veya tıbbi bitki olarak kullanılır ve ayrıca sebze olarak tüketilmektedir. *Ornithogalum* türleri Türkiye'de 0 ila 2600 m arasında ve Akdeniz, Avrupa Sibirya ve İran Turan fitocoğrafik bölgesinde dağılım göstermektedir [7].

Verbena veya vervain ailesi olarak bilinen Verbenaceae familyası yaklaşık 1200 tür ve 35 cinsten oluşur. Verbenaceae bazı hastalıkları tedavi etmek için yüzyıllardır tıbbi bitki olarak kullanılmıştır [8]. Şifalı bitkilerden biri olan limon otu (*Lippia citrodora*) Güney Amerika'da kendiliğinden yetişmekte olup Kuzey Afrika ve Güney Avrupa'da yetiştiriciliği yapılmaktadır. Eski çağlardan beri limon aromasıyla ilişkilendirilen ferahlatıcı etkisi nedeniyle tercih edilmektedir. Taze yapraklar ağırlıklı olarak balık ve kümes hayvanları yemeklerinde, sebze soslarında, salata soslarında, reçellerde, pudinglerde ve içeceklerde aroma maddesi olarak kullanılırken, kurutulmuş yapraklar daha çok bitki çayları ve şerbetlerde kullanılmaktadır. Genel olarak bu bitkinin yapraklarının sindirim, spazm önleyici, ateş düşürücü, antioksidan, analjezik, iltihap önleyici, yatıştırıcı ve midevi özelliklere sahip olduğu bildirilmektedir. Ayrıca astım, soğuk algınlığı, ateş, şişkinlik, kolik, ishal ve hazımsızlık tedavisinde infüzyon şeklinde kullanılmıştır. Limon otu üzerine yapılan önceki çalışmalar esas olarak kimyasal karakterizasyonuna odaklanmıştır. Türün iridoidler, flavonoidler, fenolik asitler ve fenilpropanoidler, özellikle de verbascoside gibi çeşitli fenolik bileşiklerin içerdiği bilinmektedir [9].

Bitki örneklerindeki multi-element içeriklerinin belirlenmesinde çeşitli yöntemler kullanılır. Bu yöntemlerden en çok kullanılanlar şunlardır; ICP-MS, İndüktif Eşleşmiş Plazmalı Atomik Emisyon Spektrometresi (ICP-AES), İndüktif Eşleşmiş Plazmalı Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES), Alevli Atomik Absorpsiyon Spektrometresi (FAAS), Grafit Fırınlı Atomik Absorpsiyon Spektrometresi (GF-AAS), Atomik Absorpsiyon Spektrometresi (AAS) ve X-ışını Floresans Spektrometresi (XRF)'dir [10].

Bu çalışmada, Doğu Anadolu'da tıbbi ve gıda olarak kullanılan beş türün multi-element içerikleri ICP-MS cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Aynı ailelere ait türlerin element içerikleri kendi içerisinde karşılaştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1 Bitkisel Materyaller

Beş farklı türe ait örnekler Mehmet FIRAT tarafından toplanmış ve teşhisi yapılmıştır. Bitkilerin güncel isimleri IPNI (International Plant Name Index) kontrol edilerek yazılmıştır. Türlerle ait örnekler uygun kurutma yöntemleri ile kurutulmuş ve Mehmet FIRAT kişisel herbayumunda saklanmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Çalışmada kullanılan türlere ilişkin bilgiler

Türler	Toplanma Yeri	Toplanma Zamanı	Herbaryum No
Araceae familyası			
<i>Arum conophalloides</i> Kotschy ex Schott var. <i>conophalloides</i>	Gaziantep	Mayıs 2015	Mehmet FIRAT32435
<i>Arum detrunctatum</i> C.A. Meyervar. <i>detrunctatum</i>	Van	Mayıs 2015	Mehmet FIRAT32440
Asparagaceae familyası			
<i>Muscari comosum</i> (L.) Miller	Van	Mayıs 2015	Mehmet FIRAT 32441
<i>Ornithogalum narbonense</i> L.	Van	Mayıs 2015	Mehmet FIRAT32442
Verbenaceae familyası			
<i>Lippia citrodora</i> (Paláu) Kunth	Diyarbakır	Mayıs 2015	Mehmet FIRAT32449

2.2 Cihaz, Reaktif ve Çözeltiler

Örneklerdeki multi-element içerikleri Agilent 7700s model ICP-MS cihazı kullanılarak belirlendi. Cihazın analitik çalışma koşulları daha önce yaptığımız çalışmadaki koşullar referans alınarak ayarlandı [10,11]. Mikrodalga çözünürleştirme işleminde analitik saflıkta HNO₃ (% 70) ve H₂O₂ (% 34.5-36.5) (Sigma Aldrich, Germany) kullanıldı. Ayrıca, tüm çözeltilerin hazırlanmasında ve seyreltme işlemlerinde ultra saf su (18.2 MΩ) kullanılarak yapıldı [12]. Yöntemin doğruluğu ve kesinliği için sertifikalı referans maddesi NIST 1515 Elma Yaprağı (Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü, NIST, Gaithersburg, MD, ABD) kullanılarak değerlendirildi. ICP-MS ölçümlerinde 30'lu mix standart (Ag, Al, As, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Sr, Ti, Tl, V ve Zn) (VHG Labs PN.: VHG-ZLGC1813, 100 mg/L) kullanılmıştır. Kalibrasyon standart çözeltileri daha önceki çalışmalarımızda olduğu gibi hazırlandı [11]. Tespit sınırı (LOD) ve nicelik sınırı (LOQ) değerleri 3s/m ve 10s/m'den hesaplandı. S, boşluğun standart sapması ve m, kalibrasyon grafiğinin eğimidir. Doğrusal kalibrasyon grafiği, 10-4000 µg/L aralığında oluşturulmuştur. Korelasyon katsayıları (r²) 0.9990-0.9999 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Kalibrasyon denklemi, LOD ve LOQ değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Yöntemde belirlenen elementlere ait analitik parametreler

Element	Kalibrasyon Aralığı (µg/L)	Kalibrasyon Denklemi	r ²	LOD (µg/L)	LOQ (µg/L)
Na	500-4000	y = 5142.84 x + 357838	0.9997	48.500	161.680
K	500-4000	y = 2308.80 x + 315707	0.9997	17.030	56.780
Mg	100-4000	y = 2226.27 x + 12319	0.9994	4.240	14.130
Fe	1000-4000	y = 34007.92 x + 701914	0.9990	5.120	17.080
Al	100-4000	y = 1121.76 x + 1922	0.9995	2.730	9.080
Se	100-4000	y = 829.63 x + 75232	0.9991	0.061	0.202
Li	50-4000	y = 189.10 x + 213	0.9997	0.591	1.970
Ba	10-4000	y = 198949.48 x + 11780	0.9998	0.088	0.290
Be	10-4000	y = 22829.54 x + 709	0.9999	0.730	2.430
Cu	10-4000	y = 31809.14 x + 16409	0.9994	0.330	1.100
Co	10-4000	y = 55754.88 x + 1543	0.9997	0.150	0.490
Cd	10-4000	y = 42086.25 x + 885	0.9996	0.400	1.330

Cr	10-4000	$y = 29985.59 x + 4895$	0.9994	0.210	0.690
Mn	10-4000	$y = 18139.19 x + 5333$	0.9995	0.280	0.920
Ni	10-4000	$y = 28319.45 x + 6335$	0.9995	1.080	3.580
Zn	10-4000	$y = 9123.21 x + 7916$	0.9994	0.580	1.920
Pb	10-4000	$y = 126261.36 x + 6134$	0.9996	0.110	0.360
B	10-4000	$y = 5768.54 x + 33073$	0.9994	0.011	0.035
Mo	10-4000	$y = 4155.44x + 196$	0.9998	0.078	0.259
Ti	10-4000	$y = 260.23 x + 36$	0.9994	0.058	0.193

2.3 Tür Örneklerinin Analize Hazırlanması

Türlerdeki multi-element analizlerinin yapılması için gölgede kurutulmuş örnekler havanda homojen hale getirilerek öğütüldü. Örnekler 0.1 g tartıldı ve mikrodalga teflon tüplerine konuldu. Teflon tüplerin üzerine 6 mL HNO₃ ve 2 mL H₂O₂ eklendi ve karıştırıldı. Karışım 10 dk. bekletilerek ön yakma işlemi yapıldı. Örnekler, mikrodalga cihazında başlangıçta 500 W enerjide 15 dk. boyunca 300 °C'ye kadar ısıtıldı. Daha sonra 1500 W enerjide 15 dk. boyunca 300 °C'de tutuldu. Son olarak örnekler 500 W enerjide 10 dk. boyunca 300 °C'den 90 °C'ye kadar kademeli olarak sıcaklık düşürüldü ve mikrodalga kapalı sistemde çözünürleştirme işlemi 40 dk. sürede tamamlandı [11]. Çözünürleştirme işleminden sonra teflon tüplerdeki karışım süzüldü. Elde edilen süzüntü 100 mL bolon joje alınarak son hacim 100 mL olacak şekilde ultra saf su ile seyreltildi. Seyreltilmiş olan örnekler ağzı vida kapaklı analiz tüplerine konularak analize hazır hale getirilmiştir.

2.4 Yöntemin Doğrulama Çalışması

Bu çalışmada, NIST 1515 Elma Yaprağı referans maddesi kullanılarak elementlerin % geri kazanım değerleri elde edilmiştir. Geri kazanım değerleri % 91-110 arasında değiştiği tespit edilmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Yöntemin doğrulama çalışması (n=3)

Element	Bilinen Sertifika Değeri (mg/kg)	Ölçülen Değer (mg/kg)	% Geri Kazanım
Na	24.40±2.10	22.15±0.29	91
Mg	2710±120	2467±4	91
Al	285±6	314±2	110
K	16080±210	14478±91	90
Mn	54.10±1.10	50.85±0.19	94
Fe	82.70±2.60	80.77±0.27	98
Ni	0.936±0.094	0.950±0.010	101
Cu	5.69±0.13	5.86±0.10	103
Zn	12.45±0.43	13.70±0.46	110
Ba	48.80±2.30	48.20±0.30	99
Pb	0.470±0.024	0.490±0.002	104
Mo	0.095±0.011	0.089±0.007	94
B	27.60±2.80	28.20±1.57	102

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Türlerdeki Multi-Element Sonuçları

Arum conophalloides var. *conophalloides* taksonunun multi-element içeriği Na; 2465, K: 26421, Mg; 2645, Fe; 1208, Al; 1989, B; 216, Ti; 54.19, Mo; 1.90, Li; 2.69, Cu; 8.92, Be; 0.18, Cr; 3.38, Mn; 49.91, Ni; 7.87, Co; 0.69, Zn; 66.77, Cd; 2.30, Ba; 11.05 ve Pb; 0.96 mg/kg olarak tespit edildi. Ayrıca, bu türde Se element içeriği tespit edilemedi (Tablo 4).

Arum detrunctatum var. *detrunctatum* taksonunun multi-element içeriği Na; 2604, K: 41317, Mg; 5423, Fe; 3674, Al; 4072, B; 175, Ti; 110, Mo; 1.61, Li; 4.03, Cu; 15.05, Be; 0.16, Cr; 34.28, Mn; 126, Ni; 36.55, Co; 2.24, Zn; 54.46, Cd; 1.03, Ba; 17.71 ve Pb; 1.58 mg/kg olarak tespit edildi. Ayrıca, bu türde Se element içeriği tespit edilemedi. Aynı cinsin farklı türlerinin element içerikleri karşılaştırıldığında, *A. detrunctatum* var. *detrunctatum* taksonunun Na, K, Mg, Fe, Al, Ti, Li, Cu, Cr, Mn, Ni, Co, Ba ve Pb içerikleri *A. conophalloides* var. *conophalloides* taksonundan daha yüksek olduğu belirlendi. *A. conophalloides* var. *conophalloides* B, Mo, Be, Zn ve Cd içerikleri *A. detrunctatum* var. *detrunctatum* taksonunun daha yüksek olduğu belirlendi (Tablo 4). Bu farklılık türün genetik özelliklerine, coğrafi olarak yetiştiği yer, iklim koşulları, bitki örtüsü dönemi, hava kirliliği ve çevresel faktörlere bağlı olarak değiştiği söylenebilir.

Literatürde, *A. detrunctatum* var. *detrunctatum* ve *A. conophalloides* var. *conophalloides* taksonları ilgili multi-element analizi bulunmamaktadır. Ancak, *A. dioscoridis* SM. var. *dioscoridis* türünün mineral ve eser elementlerinin belirlenmesi çalışmasında; bu türün element içerik konsantrasyonları ICP-MS cihazıyla saptanmıştır. Element konsantrasyonları Na; 636.0, Mg; 1301.4, Al; 331.1, P; 218.9, K; 4142.0, Ca; 14406.6, Cr; 0.3, Mn; 16.9, Fe; 370.6, Co; 0.7, Ni; 9.1, Cu; 38.9, Zn; 83.2, Cd; 0.004, Sn; 0.68, Ba; 14.2 ve Pb; 0.61 mg/kg olarak tespit edilmiştir [2].

M. comosum türünün multi-element içeriği Na; 4185, K: 41559, Mg; 4323, Fe; 1683, Al; 2754, B; 221, Ti; 108, Mo; 1.16, Li; 2.28, Cu; 8.99, Be; 0.05, Cr; 6.96, Mn; 80.95, Ni; 12.86, Co; 1.03, Zn; 48.02, Se; 51.47, Cd; 0.55, Ba; 13.10 ve Pb; 0.90 mg/kg olarak tespit edildi (Tablo 4).

O. narbonense türünün multi-element içeriği Na; 4095, K: 49161, Mg; 2993, Fe; 915, Al; 1721, B; 218, Ti; 76.62, Mo; 0.64, Li; 1.61, Cu; 6.38, Be; 0.03, Cr; 4.80, Mn; 47.78, Ni; 8.02, Co; 0.57, Zn; 57.10, Se; 52.58, Cd; 0.38, Ba; 22.14 ve Pb; 0.62 mg/kg olarak tespit edildi (Tablo 4).

L. citrodora türünün multi-element içeriği Na; 2515, K: 32529, Mg; 8432, Fe; 219, Al; 256, B; 216, Ti; 17.72, Mo; 8.36, Cu; 33.33, Cr; 1.41, Mn; 108, Ni; 2.85, Co; 0.83, Zn; 45.83, Se; 0.67, Cd; 4.17, Ba; 57.33 ve Pb; 1.26 mg/kg olarak tespit edildi. Ayrıca bu türde Li, Be içeriği tespit edilemedi (Tablo 4).

Tablo 4. Türlerin multi-element sonuçları (n=3)

Türler	Elementler									
	Na	K	Mg	Fe	Al	B	Ti	Mo	Li	Cu
A.c.	2465±13	26421±158	2645±29	1208±7	1989±30	216±8	54.19±0.68	1.90±0.09	2.69±0.80	8.92±0.12
	0.18±0.00	3.38±0.01	49.91±0.21	7.87±0.02	0.69±0.01	66.77±0.25	T.E.	2.30±0.02	11.05±0.09	0.96±0.02
A.d.	2604±14	41317±99	5423±36	3674±5	4072±30	175±3	110±2	1.61±0.04	4.03±0.33	15.05±0.08
	0.16±0.00	34.28±2.68	126±1	36.55±2.65	2.24±0.04	54.46±0.25	T.E.	1.03±0.02	17.71±0.22	1.58±0.02
M.c.	4185±31	41559±43	4323±20	1683±5	2754±34	221±3	108±1	1.16±0.03	2.28±0.43	8.99±0.05
	0.05±0.00	6.96±0.00	80.95±0.53	12.86±0.01	1.03±0.02	48.02±0.51	51.47±0.02	0.55±0.01	13.10±0.10	0.90±0.00
O.n.	4095±27	49161±298	2993±31	915±3	1721±18	218±3	76.62±1.96	0.64±0.06	1.61±0.16	6.38±0.04
	0.03±0.00	4.80±0.02	47.78±0.16	8.02±0.03	0.57±0.01	57.10±0.25	52.58±0.44	0.38±0.04	22.14±0.35	0.62±0.01
L.c.	2515±30	32529±190	8432±47	219±1	256±1	216±7	17.72±0.37	8.36±0.17	T.E.	33.33±0.30
	T.E.	1.41±0.00	108±1	2.85±0.02	0.83±0.02	45.83±0.34	0.67±0.15	4.17±0.01	57.33±0.34	1.26±0.02

A.c.: *Arum conophalloides* var. *conophalloides* **A.d.:** *Arum detrunctum* var. *detrunctum* **M.c.:** *Muscari comosum* **O.n.:** *Ornithogalum narbonense* **L.c.:** *Lippia citrodora* **T.E.:** Tespit edilemedi.

Ölçülen değer = ortalama konsantrasyon değeri ± standart sapma şeklinde hesaplanmıştır. Sonuçlar mg/kg şeklinde verilmiştir.

Literatürdeki *L. citrodora* türünün ağır metal ve besin maddeleri içeriğinin belirlenmesi çalışmasında; Türkiye'nin 10 farklı lokasyonundan alınan *L. citrodora* bitkisinin ağır metal (Fe, Co, Mn, Zn, Al, Cd) ve bazı besin (Na, K, Ca, Mg) elementlerinin konsantrasyonları ICP-OES cihazıyla saptanmıştır. Ağır metal (Al, Fe, Mn) konsantrasyonları sırasıyla 608.61, 303.45 ve 20.83 µg/gr olarak tespit edilmiştir. Zn, Co ve Cd ağır metallerinin konsantrasyonları bu bitkide saptanmamıştır. Bazı besin (Mg, Ca, K, Na) elementlerinin konsantrasyonları sırasıyla 4737.71, 23950.28, 10485.44 ve 321.0 µg/g olarak tespit edilmiştir [13].

WHO ham bitki materyallerinde izin verilen maksimum konsantrasyon miktarını kadmiyum (Cd) için 0.3 mg/kg ve kurşun (Pb) için ise 10 mg/kg olduğunu belirtmektedir [1]. Çalışmada kullanılan türlerdeki Cd ve Pb metal içerikleri WHO'nun ham bitki materyallerinde izin verilen maksimum konsantrasyon miktarıyla karşılaştırıldığında; bütün türdeki Cd içeriği WHO belirlediği değerden daha yüksek olduğu tespit edildi. Ayrıca, bütün türdeki Pb içeriği WHO belirlediği değerden dahadüşük olduğu tespit edildi.

4. SONUÇLAR

Bitkiler, topraktaki mineral, eser ve toksik elementlerikolayca yapılarına alır. Böylece, bitkilerin aldığı yararlı ve zararlı maddelerden dolayı gıda olarak tüketilmesi ve tıbbi amaçlar için kullanılması insan sağlığı açısından tehlikeli olmaktadır.

Bitkilerin yapısındaki mineral elementler sağlık açısından olumlu etkileri olmasına rağmen toksik elementler insan sağlığı açısından tehlike oluşturmaktadır. Bu yüzden bitkilerdeki toksik ve mineral element içeriklerinin belirlenmesi çok önemli olmaktadır. Bu çalışmada,beşfarklı tür örneğinin multi-element içerikleri belirlenmiştir. Aynı cinsin farklı türlerine ait örneklerin element sonuçları kendi içerisinde karşılaştırılmıştır. Ayrıca, bu türlerin Cd ve Pb gibi toksik elementlerin içerikleri WHO'nun ham bitki materyallerinde izin verilen maksimum konsantrasyon miktarıyla karşılaştırılmıştır. İncelenen bütün türlerdeki Cd içeriği WHO'nun belirlediği değerden yüksek olduğu belirlenmiştir ve eğer gıda ve tıbbi amaçlar için bu türler kullanılırsa toksik doz ilişkisinin göz önünde bulundurulması gerektiği belirlenmiştir.Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, gıda ve tıbbi amaçlar için bir bitkinin kullanımı söz konusu olarsa bitkinin mineral ve toksik element içerik değerlerine bakılarak tüketilmesinin daha faydalı olacağı kanaatindeyiz.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Bu çalışma başka bir yerde yayınlanmamış ve aynı zamanda başka bir yerde yayınlanmak üzere gönderilmemiştir. Bu çalışmaki yazarlarçikar çatışması bildirmemişlerdir.

ETİK BEYANI

Bu çalışmada, yazarlar “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamındaki tüm kurallara uyduklarını, ilgili yönergenin “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler” olarak belirtilen başlığı altındaki eylemlerden hiçbirini gerçekleştirmediklerini taahhüt ederler.

YAZAR KATKILARI

Adil UMAZ:Yazma-orjinal taslak hazırlama, metodoloji, veri toplama, verinin düzenlenmesi, görselleştirme. Fırat AYDIN:İnceleme, kavramsallaştırma,doğrulama ve gözetim. Mehmet FIRAT: Bitkisel materyallerin toplanması, teşhisi ve taksonomik kontrol. Abdulselam ERTAŞ: Analiz araçlarını sağlama, inceleme ve taslağın gözden geçirilmesi.

KAYNAKLAR

- [1] A. Umaz, F. Aydın, M. Firat, ve A. Ertas, “Bazı geofitlerin induktif eşleşmiş plazmalı kütle spektrometresi (ICP-MS) ile makro ve mikro element analizi,” *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 10, no. 1, pp. 47–58, 2021.
- [2] E. Yabalak, “Radical scavenging activity and chemical composition of methanolic extract from *Arum dioscoridis* Sm. var. *dioscoridis* and determination of its mineral and trace elements,” *Journal of the Turkish Chemical Society, Section A: Chemistry*, vol. 5, no. 1, pp. 205–218, 2018.
- [3] A. Derakhshanfar, J. Moayedi, M. Vahedi, A. Valizadeh, “*Arum conophalloides* aqueous extract induced hepatotoxicity in rat; Histopathological, Biochemical, and mir-122 Assessments,” *Microna*, vol. 9, no. 3, pp. 224-231, 2020.
- [4] Wikipedia. Asparagaceae. (2020). Accessed: Oct. 20, 2022.[Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Asparagaceae&oldid=951588727>
- [5] Y. Kiran, S. M. Pınar, G. Dogan, H. Eroğlu, “A karyomorphological study on the subgenus leopoldia of the genus *Muscari* growing in Turkey,” *Cytologia*, vol. 85, no. 1, pp.79-83, 2020.
- [6] R. Mammadov, P. Ili, O. Dusen, “Phenolic contents and antioxidant properties of *Muscari parviflorum* Desf,” *Journal of the Chemical Society of Pakistan*, vol. 34, no. 3, pp. 651-655,2012.
- [7] U. O. Karaguzel, C. F. Ozkan, “Soil and plant relations of some *Ornithogalum* (Endemic/non endemic) species,” *Applied Ecology and Environmental Research*, vol. 17, no. 2, pp.3107-3121,2019.
- [8] M. Sabti, K. Sasaki, C. Gadhi, and H. Isoda, “Elucidation of the molecular mechanism underlying *lippia citriodora* (Lim.)-induced relaxation and anti-depression,” *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 20, no. 14, 2019.
- [9] S. Suna, B. Incedayi, C. E. Tamer, G. Ozcan Sinir, Ö. U. Copur, “Lemon Verbena (*Lippia Citriodora* Kunth) beverages: Physicochemical properties, contents of total phenolics and minerals, and bioaccessibility of antioxidants,” *Italian Journal of Food Science*, vol. 31, no. 1, pp.40-53, 2019.
- [10] A. Umaz, F. Aydın, M. Firat, and A. Ertas, “Determination and comparison of element analysis in the species belonging to different families by inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS),” *International Journal of Chemistry and Technology*, vol. 6, no. 1, pp. 38–46, 2022.
- [11] A. Umaz, F. Aydın, O. Ölmez Tokul, M. Firat, M. Öztürk, A. Ertaş, İ. Alev Aydın, “Determination and comparison of metal contents in simulated body fluid medium conditions of the plant species by flame atomic absorption spectrometry (FAAS),” *Journal of Research in Pharmacy*, vol. 25, no. 6, pp. 1281–1294, 2022.
- [12] İ. Yener, “Trace element analysis in some plants species by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES),” *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 9, no. 3, pp. 1492–1502, 2019.
- [13] B. Köse, M. Uzun, and N. Saltan, “Heavy metal contents of *Melissa* which is sold in herbalists,” *Indian Journal of Pharmaceutical Education and Research*, vol. 51, no. 3, pp. S217–S220, 2017.

Copyright © 2022 Umaz, Aydın, Fırat and Ertaş. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY 4.0).



Araştırma Makalesi / Research Article


Betonarme Binalarda Rijitlik Merkezi Problemi

Rigidity Center Problem in Reinforced Concrete Buildings

Enes AKSOY¹ , Fuat KORKUT^{2,*} , Barış ERDİL³ 

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı 65090, Van, Türkiye

^{2,3} Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 65090, Van, Türkiye

 <https://doi.org/10.55007/dufed.1183321>

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihi

Alınış, 03 Ekim 2022

Revize, 08 Aralık 2022

Kabul, 10 Aralık 2022

Online Yayınlama, 26 Aralık 2022

Anahtar Kelimeler

Rijitlik merkezi, Burulma,
Betonarme bina

ÖZ

Yatay yük altındaki bir betonarme bina rijitlik merkezi etrafında burulma momentlerine maruz kaldığında düşey taşıyıcı elemanlarda ilave kesme kuvveti zorlamalarının meydana geldiği bilinmektedir. Rijitlik merkezi hesabının yaklaşımı bu kesit zorlamalarını önemli ölçüde değiştirecek farklılıklar içermekte midir? Bu sorunun cevabının arandığı bu çalışmada öncelikle 5 kattan oluşan iki adet simetrik (tamamen çerçevesel, çerçevesel ve perdeli)bina ile altı adet asimetrik bina ele alınarak halihazırda yapısal analizler için kullanılan ETABS, Sta4CAD, İdeCAD ve ProtaStructure programları ile 3B modellenmiş ve analizler yapılarak rijitlik merkezleri karşılaştırılmıştır. İlgili binaların rijitlik merkezi TBDY2018 kuralları çerçevesinde atalet momenti referans alınacak şekilde bir kez daha bulunmuş, daha sonra ise düşey taşıyıcı elemanların alanlarını referans alan bir yaklaşım ile rijitlik merkezi (alan merkezi) hesaplanmıştır. Hesaplar sonucunda bütün yaklaşımların farklı sonuçlar verdiği, rijitlik merkezi konumları arasında çok büyük farklar olduğu gözlemlendiğinden, binalar SAP2000 ile bir kez daha 3B olarak modellenmiş ve programların ön gördüğü rijitlik merkezine her iki asal yönde ayrı ayrı yatay kuvvet verilerek kat dönmesinin miktarı hesaplanmıştır. Minimum kat dönmesine sebep olan rijitlik merkezi hesabının en doğru sonuç verdiği kabul edilerek yapılan analizlerde çoğunlukla ETABS yaklaşımının daha doğru sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

ARTICLE INFO

ArticleHistory

Received, 03 October 2022

Revised, 08 December 2022

Accepted, 10 December 2022

Available Online, 26 December 2022

Keywords

Rigidity center, Torsion, Reinforced
concrete building

ABSTRACT

It is known that when a reinforced concrete building under horizontal load is subjected to torsional moments around its center of rigidity, additional shear stresses occur on vertical load-carrying elements. Does the approach to calculate the rigidity center include differences that significantly change these section stresses? The answer to this question is sought in this study. First of all, two symmetrical (fully framed, frames+shear walls) buildings and six asymmetrical buildings were handled and 3D models were created with ETABS, Sta4CAD, İdeCAD and ProtaStructure software, which are currently used for structural analysis, and after the analysis the calculated

*Sorumlu Yazar

E-posta Adresleri: mhnds.enesaksoy@gmail.com (Enes AKSOY), fuatkorkut@yyu.edu.tr (Fuat KORKUT),

bariserdil@yyu.edu.tr (Barış ERDİL)

rigidity centers were compared. Rigidity center of those buildings was found once again using the rules given in TBDY2018, and then rigidity center was found using a modified approach in which the areas of the vertical load-carrying elements were utilized. As a result of the calculations, since it was observed that all approaches gave different results and there were great differences between the rigidity centers, all the buildings were once again 3D modeled with SAP2000 and the amount of floor rotation was calculated by applying horizontal force in both principal directions to the rigidity centers predicted by the software. From the analysis by assuming that the rigidity center calculation leading the minimum floor rotation finds the most accurate result, it has been determined that the ETABS approach gives more accurate results.

1. GİRİŞ

Deprem Yönetmeliklerinde belirtilen kurallara uygun şekilde binalar tasarlanıp inşa edilmedikleri için ülkemizde yaşanan orta büyüklükte ve şiddetli depremlerde can ve mal kaybı yaşanmaktadır. Hasar çoğunlukla malzeme kalitesi ve tasarım yetersizliklerinden kaynaklanmakla beraber düşey taşıyıcı sistem elemanlarının yanlış yerleşiminin de hasarı arttırıcı bir faktör olduğu belirlenmiştir.

Depremi doğrultusu ve binaya etki etme açısı belirsiz olduğundan binaların iki asal ekseninde de yeterli deprem performansına sahip olması istenir. Bu maksatla tasarımda düşey taşıyıcı sistem elemanları binaya iki asal ekseninde de dayanım, rijitlik ve süneklik katacak şekilde yerleştirilir. Fakat bazen mimari ve ekonomik sebeplerden dolayı düşey taşıyıcı sistem elemanları asimetrik yerleştirilebilir. Eğer yerleşim iyi ayarlanmazsa bu durumda binanın rijitlik merkezi kütle merkezinden uzaklaşır. Rijitlik merkezinin kütle merkezinden uzaklaşması neticesinde, kütle merkezine etkiyen kat deprem kuvveti binayı rijitlik merkezi etrafında döndürmeye çalışır ve bundan dolayı katta burulma meydana gelir. Burulma etkisi düşey taşıyıcı sistem elemanlarına ek bir kesme kuvveti olarak aktarılır. Yatay deprem kuvveti altında kesme kuvveti ile zorlanan bir eleman ilave olarak burulma kaynaklı kesme kuvvetini de taşımak zorunda kalır. Bu sebeple binalardaki burulma etkileri doğru bir şekilde belirlendiği takdirde ilave kesme kuvvetlerinin hangi elemanı ne derecede zorlayacağı belirlenerek, deprem öncesi önlemler alınarak bina güvenliği artırılabilir. Burulma etkilerinin gerçeğe yakın olarak belirlenebilmesi için kütle merkezi ve rijitlik merkezi konumlarının doğru olarak belirlenmesi gerekir [1,2].

Betonarme binaların rijitlik merkezleri her kat için ayrı ayrı olarak belirlenebileceği gibi bina için tek bir rijitlik merkezi de hesaplanabilmektedir [2-9]. Farklı yaklaşımların önerildiği ve uygulandığı rijitlik merkezi hesaplarında genel olarak aşağıdaki metotlar önerilmektedir:

- Binaların x ve y doğrultularında bağımsız olarak ele alınarak düşey taşıyıcı sistem elemanlarının alanı ve konumu dikkate alınmaktadır [1,6,10].

- Kat rijitlik matrisleri oluşturularak x ve y doğrultularında bağımlı ve bağımsız analizler yapılarak taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan kesme kuvvetlerinin dağılımı dikkate alınmaktadır [2-5,11-13].
- Bina için globalrijitlik matrisi oluşturularak ve birim yükleme altındaki dönmelerin dağılımı dikkate alınmaktadır [14].

Rijitlik matrisleri kurularak kat rijitlik merkezi hesaplanan yöntemlerde genel olarak katın rijit diyafram özelliği gösterdiği varsayılmaktadır. Acun [15] tarafından yapılan çalışmada yatay yük altında bina döşemelerinin rijit diyafram davranışını sergileyip sergilemediği araştırılmıştır. Binalarda rijit diyafram döşeme kabulünün makul sonuçlar vermesinin tasarımcılar için yatay yük etkisi altında bütün döşemelerin rijit diyaframlar olarak modellenebileceği algısına sebep olabildiğini belirtmektedir. Fakat yeni yönetmeliklerin genelinde belirtilen düzensizliklere sahip yapılar için bu kabulün uygunluğunun doğrulanmadığı hallerde döşemeler için sonlu eleman modelleri (SEM) yapılmalıdır. Rijit diyafram kabulünün gerçek yapı davranışını temsil edip etmediği araştırılmıştır. 3 boyutlu 34 adet yapı modeli SAP2000 ve ANSYS programlarıyla modellenmiş ve analizleri yapılmıştır. Toplam 68 ayrı modelde üst kat döşemeleri üzerinde seçilen tipik noktalar için y doğrultusundaki yer değiştirme değerleri belirlenmiştir. Kat yükseklikleri arttıkça rijit diyafram modeli sonuçlarının SEM sonuçlarına yaklaştığı gözlemlenmiştir. Döşeme kalınlığının artması ile düzlem içi rijitliklerin arttığı görülmüş ve rijit diyafram modeli ile SEM sonuçlarının birbirine yaklaştığı belirlenmiştir. Döşemede boşluk miktarının artması durumunda rijit diyafram modeliyle bulunan sonuçların SEM ile bulunan sonuçlardan uzaklaştığı görülmüştür. Girintili çıkıntılı yapı için simetrik taşıyıcı sistem altında SEM sonuçları ile rijit diyafram sonuçlarının benzer olduğu görülmüştür.

Rijitlik merkezinin kütle merkezine yaklaştırılmasında düşey taşıyıcı elemanların konumları ve büyüklükleri önem taşımaktadır. Tasarımın mimari proje ile başladığı düşünüldüğünde mimari projede taslak olarak yerleştirilen düşey taşıyıcı sistem elemanlarının rijitlik merkezini kütle merkezinden çok uzaklaştırmayacak şekilde planlanması gerekmektedir. Dolayısıyla mimari proje müelliflerinin rijitlik merkezi konusunda bir farkındalığa sahip olması olası problemlerin önüne erken geçilmesi noktasında etkili olacaktır. İdemem [16] tarafından mimari tasarıma yönelik bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada mimarın taşıyıcı sistemi doğru bir biçimde yerleştirebilmesi için AutoCAD [17] programı üzerinden AutoLISP programlama dili ile kat ağırlık merkezi ve rijitlik merkezi hesabı için bir yazılım geliştirmiştir. Bu yazılımda mimari çizim bittikten sonra program aktive edilip kolon, perde duvar ve döşemenin tanımlanmasıyla projeye ait kütle ve rijitlik merkezlerinin konumu belirlenmektedir. Bu sistemde Deprem Yönetmeliği'nin $\pm\%5$ eksantrisite değeri için sınır değeri belirlenerek işlem yapılabilir. Bu sistemde Deprem Yönetmeliği'nin $\pm\%5$ eksantrisite değeri için sınır değeri belirlenerek işlem yapılabilir.

Düşey taşıyıcı sistem elemanlarının yerleşiminin problemlili olması durumunda kat düzleminde burulma momentleri meydana gelmekte ve burulma kaynaklı dönmeler sistemi ilave kesme kuvvetleri ile zorlamaktadır. Burulma düzensizliği katsayısını etkileyen faktörlerin incelendiği çalışmalarda betonarme binalar 3B olacak şekilde modellenmiş ve perde duvarlar asimetrik yerleştirilmiştir. İdeCAD ve Sta4CAD programlarının kullanıldığı çalışmalarda kat sayısının azalmasıyla burulma düzensizliği katsayısının arttığı, her model için en alt katta üst katlara göre burulma düzensizliği katsayısının fazla hesaplandığı, perde duvarların yapı ağırlık merkezine yaklaştırılmaları ile burulma momentlerinde azalmalar meydana geldiği, perde duvarların asimetrik olarak ağırlık merkezine yakın yerleştirilmesi ile x ve y doğrultusunda eşit oranda kullanılmaması durumunda burulma düzensizliği katsayısının büyüdüğü ve yüksek katlı binalarda burulma düzensizliği katsayısının büyük değerler almadığı tespit edilmiştir [18,19].

Perde duvarların büyük atalet momentlerine sahip olmaları sebebi ile rijitlik merkezinin konumunu etkilemede önemli olduğu çeşitli çalışmalar ile belirlenmiştir. Bu sebeple perde duvar yerleşiminin sistem davranışına etkisi de incelenmiştir [20,21]. ETABS programı ile analiz edilen işyeri türündeki binalarda, bina modellerinin tamamında kat yüksekliği, sayısı ve alanı aynı alınarak mod şekilleri, şekil değiştirme, yer değiştirme, burulma ve taban kesme kuvvetleri karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçlarında rijitlik merkezi ve kütle merkezinin birbirinden uzaklaştığı yapılarda görece kat ötelemelerinin arttığı gözlemlenmiştir. Aşırı rijit perde yerleşiminin taban kesme kuvvetini artırdığı gözlemlenmiştir. Perde duvarların dış akslara simetrik yerleştirilmesi burulma rijitliğini artırarak kesme kuvvetlerini azaltmıştır. Perde duvarların burulma oluşturmayacak şekilde simetrik olarak yerleştirilmesi, devrilme momentini fazla karşılamaması ve dış akslara yakın olması tavsiye edilmiştir [20]. Diğer çalışmada ise perde duvarların tek parça halinde kullanılması ile toplam perde uzunluğu aynı olacak şekilde perde duvarların bölünerek parçalı kullanılmasının sistem davranışına etkisi 3B SAP2000 [22] modelleri incelenmiş. Binada parçalı perde duvar kullanılması durumunda sistem rijitliğinin düşerek kat ötelemelerinin arttığı, perde duvarların dış akslara yakın yerleştirilmesi ile perde duvarların daha fazla moment aldıkları, perde duvarların merkeze yerleştirilmeleri neticesinde ise bu defa perde duvarların kesme kuvvetlerini daha fazla üstlendiği tespit edilmiştir[21].

Mevcut durum göz önüne alınarak öncelikle rijitlik merkezinin nasıl bulunduğu üzerine bir araştırma yapılmış ve literatürde farklı yaklaşımların olduğu görülmüştür. Bu araştırmalar sonucunda mevcut yazılımların rijitlik merkezi hesabında kullandıkları farklı yöntemlerden dolayı taşıyıcı sistemi simetrik olmayan binalarda farklı konumları rijitlik merkezi olarak hesaplama olasılıkları bulunmaktadır. İlgili yazılımlara ek olarak Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY2018)'de önerilen yöntem ve elle düşey taşıyıcı sistem elemanlarının atalet momentlerine göre hesaplanan rijitlik merkezi hesap yöntemleri de literatürde yerini almıştır. Farklı rijitlik merkezi yaklaşımlarının

birbirleri ile olan farklılıkları ve hangi yaklaşımın daha gerçekçi sonuçlar verdiğinin araştırılması gerekmektedir. Bu çalışma iki aşamadan oluşmaktadır:

- İlk aşamada tamamı çerçevelerden oluşan simetrik bir bina, çerçeve ve perdelerden oluşan diğer bir simetrik bina ve düşey taşıyıcı elemanları asimetrik yerleştirilmiş 6 adet bina ele alınmıştır. Bu binaların rijitlik merkezleri yaygın olarak kullanılan yapısal analiz programları (Sta4CAD, İdeCAD, ProtaStructure ve ETABS) ile 3B olarak modellenerek analiz edilmiş ve programlardan direkt alınmış, bunlara ilave olarak TBDY2018’de yer alan yöntem ve alan tabanlı değiştirilmiş bir versiyonun da dikkate alındığı rijitlik merkezi formülasyonları kullanılmıştır.
- İkinci aşamada ise binalar SAP2000 programında 3B olarak modellenmiş ve her yöntemin hesapladığı rijitlik merkezi konumuna yatay yükler her iki asal doğrultu için ayrı ayrı olacak şekilde etki ettirilmiş ve kat dönmesi hesaplanmıştır. Bu hesap neticesinde en düşük dönme miktarının elde edildiği rijitlik merkezi yaklaşımın gerçeğe en yakın olduğuna karar verilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Çalışma kapsamında burulma etkilerinin açık bir şekilde görülebildiği 6 adet betonarme bina seçilmiştir. Bu binalara ilave olarak burulma etkisinin hiç olmadığı simetrik iki adet betonarme bina da kontrol binaları olarak analiz edilmiştir.

2.1 Bina Özellikleri

Şekil 1’de bu çalışma kapsamında incelenen binaların normal kat planları verilmektedir. A1 ve A2 binaları simetrik plana sahip ve kontrol amaçlı kullanılan binalar olarak tasarlanmıştır. A1 binası çerçeveli bir sistem olarak planlanmış ve bütün kolonlar kare kesitli ve aks aralıkları sabit seçilmiştir. A2 binası ise A1 binasına benzer olarak oluşturulmuş fakat bina köşelerine perde duvarlar yerleştirilmiştir. Buradaki amaç simetrik bir binada programların hesapladıkları rijitlik merkezi konumlarının farklı olup olmadığını belirlemektir. A3 binası dikdörtgen planlı bir bina olmasına rağmen kısa doğrultuda kolonu bulunmayan ve perde duvarların binanın batı tarafında yoğun olarak kullanıldığı bir binadır. A4 binasında perde duvarlar binanın batı kenarı ile kuzey kenarında konumlandırılmıştır. A5, A6 ve A7 binalarında perdeler grup şeklinde planlanmış ve binanın bir kenarına doğru yerleştirilmiştir (Şekil 1e,f,g). Bütün binalar 5 katlı olacak şekilde planlanmıştır. Binaların kat plan alanları 284 m^2 ile 700 m^2 arasında değişmektedir (Tablo 1). Tabloda A_g zemin kat alanını, L_x binanın x doğrultusundaki uzunluğunu (planda yatay uzunluğu), L_y binanın y doğrultusundaki uzunluğunu, A_{cx} x doğrultusunda uzanan kolonların toplam alanını, A_{cy} y

Binalar modellenirken aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır [23]:

- Kat yükseklikleri 3 m'dir ve bütün binalar 5 katlı olacak şekilde tasarlanmıştır.
- Beton sınıfı C25 alınmıştır.
- Donatı sınıfı S420 alınmıştır.
- Dış kiriş yükü 0,32 t/m², iç kiriş yükü 0,25 t/m² alınmıştır.
- Döşeme kaplama yükü 0,21 t/m² alınmıştır.
- Deprem yükü için bütün binalarda aynı konum kullanılmıştır.

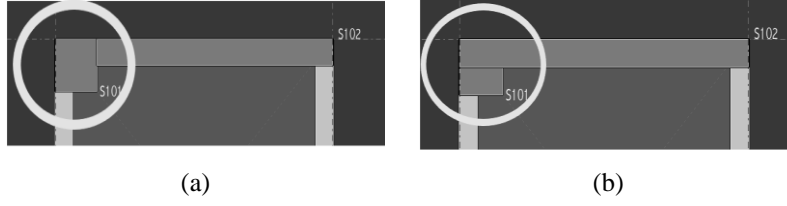
Tablo 1. Binaların genel özellikleri

Bina Adı	A _g , m ²	L _x , m	L _y , m	A _{cx} , m ²	A _{cy} , m ²	A _{swx} , m ²	A _{swy} , m ²
A1	655	25,6	25,6	12,96	12,96	0,00	0,00
A2	655	25,6	25,6	8,64	8,64	6,00	6,00
A3	446	33,0	13,5	4,97	0,00	2,34	1,08
A4	552	27,6	20,0	2,24	0,00	1,84	1,60
A5	284	20,5	15,0	1,32	2,04	0,92	1,00
A6	487	29,5	16,5	2,53	4,43	1,81	4,19
A7	323	22,0	14,7	1,35	1,70	1,73	1,40
A8	700	25,0	28,0	4,40	3,92	3,60	4,50

Yukarıda verilen binalar Sta4CAD (S), İdeCAD (I), ProtaStructure (P) ve ETABS (E) programlarında modellenerek analizleri yapılmıştır. Yapısal analiz programlarının hesapladığı rijitlik merkezleri, düşey taşıyıcı sistem elemanlarına ait atalet momentlerine göre elde edilen rijitlik merkezleri (EH(I)) ve düşey taşıyıcı sistem elemanlarına ait alan momentlerine göre elde edilen rijitlik merkezlerine (EH(A)) her binaya ait kat planında yer verilmiştir.

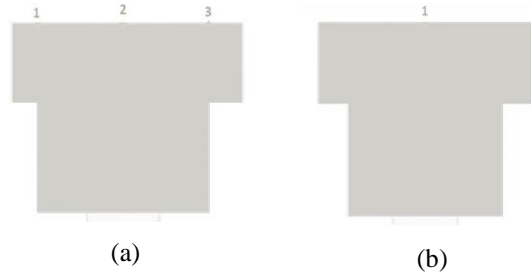
Modelleme yapılırken aşağıda hususlar göz önüne alınmıştır:

- Sonlu eleman modelleme prensibi gereği kolon ve kirişler çubuk eleman, perde duvarlar ve döşemeler alan eleman olarak modellenmektedir.
- Rijitlik merkezi hesabında döşemelerde rijit diyafram yaklaşımı kabul edilmiştir.
- Şekil 2a'da verilen modelde perde duvar ve kolon yüzeyden kesiştirilmektedir. Sta4CAD'te poligon kolon (perde duvar) modellenirken bir aks kesişimi seçilerek modele başlanır ve koordinatlar belirlenerek poligon kolon modeli tamamlanır. Kolon çubuk eleman olarak, perde duvar alan eleman olarak analiz edileceği için Şekil 2a'daki perde duvarın sol ucundaki düğüm noktası ile kolon ve aksların kesiştiği noktadaki kolona ait düğüm noktası arası boş kalmaktadır. Bu şekilde modellenen birden fazla perde duvarlı binaya ait düşey taşıyıcı sistemi Sta4CAD programı kirişsiz döşeme olarak algılayıp analiz edebilmektedir. Bu durumun oluşmaması için Şekil 2b'deki gibi düğüm noktaları baz alınarak akslar arası modelleme yapmak gerekmektedir. Bütün programlarda eşlenik modelleme yapabilmek için bu çalışmadaki binalar Şekil 2b'deki gibi modellenmiştir.



Şekil 2. Sta4CAD programında modelleme teknikleri

- İdeCAD'te Şekil 3a'da ve Şekil 3b'de bir kolon ve iki kirişin modellenme şekillerine yer verilmiştir. Şekil 3a'da modelleme yapılırken İdeCAD programının gelişmiş yakalama seçeneği kullanılmıştır. Gelişmiş yakalama seçeneğinde kiriş uçları (1 ve 3 düğüm noktaları) kolonu yüzeyden tutar. Programda tamamen simetrik çerçevelerden oluşan bir bina Şekil 3a'daki gibi gelişmiş yakalama seçeneğiyle rastgele seçilen düğüm noktalarından geçecek şekilde modellendiğinde rijitlik merkezinin tam merkezde bulunmadığı belirlenmiştir. Aynı model daha sonra Şekil 3b'deki gibi modellendiğinde ise rijitlik merkezinin tam merkezde olduğu görülmüştür. Şekil 3a'da yapılan modelleme bazı durumlarda iç kuvvet hesabı okunmasında avantaj sağlayabilirken mod değerlerini ve rijitlik merkezi hesabını etkileyebilmektedir. Bütün programlarda eşlenik modelleme yapabilmek için bu çalışmadaki binalar İdeCAD programında Şekil 3b'deki model tekniğine göre yapılmıştır.



Şekil 3. İdeCAD programında modelleme teknikleri

Şekil 4'te binaların bu çalışmada göz önüne alınan programlar ile yapılmış 3B model görüntüleri verilmektedir.

Binalar	Sta4CAD Modeli	İdeCAD Modeli	ProtaStructure Modeli	ETABS Modeli
A1				
A2				
A3				
A4				
A5				
A6				
A7				
A8				

Şekil 4. Binaların 3B model görüntüleri

2.2 Metot

Bu bölümde Sta4CAD, İdeCAD, ProtaStructure, ETABS programlarının ve TBDY2018'in rijitlik merkezi yaklaşımı ile, düşey taşıyıcı sistem elemanlarının atalet ve alan momentlerinin nasıl hesaplandığı ile ilgili bilgiler verilecektir.

- Sta4CAD Frame3d (Rijit Diyafram Kabulü Yapılabilen Lineer Analiz) çözümü ile rijitlik merkezi hesaplanmaktadır. Kat dönmeleri sıfır olacak şekilde kat matrisleri kurularak rijitlik merkezi hesaplanmaktadır.
- İdeCADrijit diyafram ve yarı rijit diyafram metotları ile rijitlik merkezini hesaplanmaktadır. Düşey taşıyıcı sistemde sıfır eksantirisite oluşan kesme kuvvetlerinin global eksene göre momentini alarak bulunduğu noktayı (Denk. 1) rijitlik merkezi olarak kabul etmektedir.

$$x_r = \frac{\sum V y_i * x_i}{\sum V y_i}, y_r = \frac{\sum V x_i * y_i}{\sum V x_i} \quad (1)$$

- ProtaStructure diyafram oluşturan ve diyafram oluşturmayan binalarda rijitlik merkezini hesaplanmaktadır. Düşey taşıyıcı sisteme ait elemanların atalet momentlerini dikkate alarak rijitlik merkezini Denk. 2 ile hesaplanmaktadır.

$$\bar{x} = \frac{\sum(I_{xi} * x_i)}{\sum(I_{xi})}, \bar{y} = \frac{\sum(I_{yi} * y_i)}{\sum(I_{yi})} \quad (2)$$

- ETABS rijit diyafram kabulü yapılan binalarda kattaki herhangi bir noktaya x ve y doğrultularında bir birimlik yatay yük, z doğrultusunda ise bir birimlik moment yüklemektedir. Bir birimlik yatay yük (x ve y doğrultusu) altında oluşan dönme bir birimlik moment altında oluşan dönmeye bölünerek x ve y doğrultusu için rijitlik merkezi konumu hesaplanmaktadır.
- TBDY2018 Bölüm 17'de ise rijitlik merkezi hesabında Denk. 3 kullanılmaktadır. TBDY2018'in basitleştirilmiş yaklaşımında rijitlik merkezi hesabı yapılırken sadece perde duvarlar dikkate alınmaktadır.

$$\bar{x} = \frac{\sum(k_{yi} * x_i)}{\sum(k_{yi})}, \bar{y} = \frac{\sum(k_{xi} * y_i)}{\sum(k_{xi})} \quad (3)$$

- Elle düşey taşıyıcı sistem elemanlarının atalet momenti kullanılarak rijitlik merkezi hesabı yapılırken Denk. 4 kullanılmıştır.

$$\bar{x} = \frac{\sum(I_{yi} * x_i)}{\sum(I_{yi})}, \bar{y} = \frac{\sum(I_{xi} * y_i)}{\sum(I_{xi})} \quad (4)$$

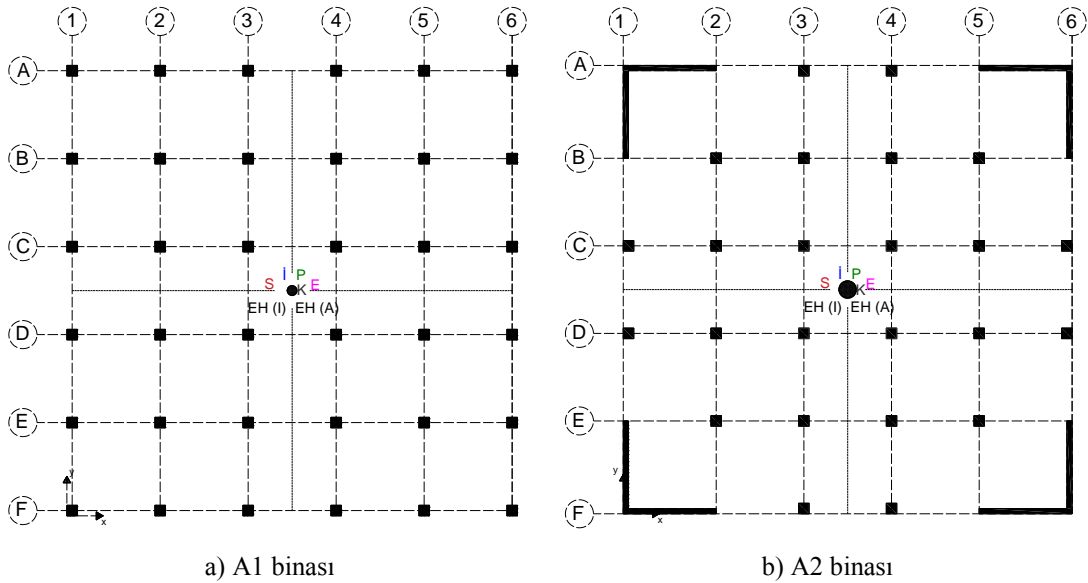
- Elle düşey taşıyıcı sistem elemanlarının alan momentleri ile rijitlik merkezi hesaplanırken Denk. 5 kullanılmıştır.

$$\bar{x} = \frac{\sum(A * x_i)}{\sum(A)}, \bar{y} = \frac{\sum(A * y_i)}{\sum(A)} \quad (5)$$

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Yapısal Analiz Programlarının Sonuçları

Simetrik A1 ve A2 binaları kontrol binaları olarak seçildiğinden öncelikle bu binalar bahsi edilen dört farklı yapısal analiz programı (kısaca program) ile analiz edilmiştir. Buradaki amaç programların kullandıkları farklı yöntemlerin simetrik bir binada rijitlik merkezini benzer konumda hesaplayıp hesaplamayacaklarını belirlemektir. Şekil 5'te programların hesapladıkları rijitlik merkezi ile atalet momenti ve alanı referans alan el hesabı ile bulunan rijitlik merkezleri işaretlenmiştir. Bütün programlar kütle merkezini döşemenin orta noktasında hesaplamaktadır. Şekillerden görüleceği üzere simetrik bir binada (çerçevesiz, çerçevesiz ve perdeli) bütün yöntemler ile aynı sonuç alınmakta ve rijitlik merkezi bina kütle merkezinde bulunmaktadır. Simetrik bir plana ve düşey taşıyıcı sistem elemanlarına sahip bir binada kütle merkezi ile rijitlik merkezinin çakıştığı bütün programlar tarafından ifade edilmiştir.



Şekil 5. Simetrik binaların rijitlik merkezi sonuçları

Düşey taşıyıcı sistem elemanları simetrik yerleştirilmeyen binaların rijitlik merkezi sonuçları Şekil 6'da her bir binanın kat planı üzerinde işaretlenmiştir. A3 binasında perdeler kat planının batı ucunda yerleştirildiklerinden rijitlik merkezinin batı bölgesine yakın bir bölgede hesaplanacağı beklenirken bütün programlar rijitlik merkezini kütle merkezine yakın bir konumda hesaplamıştır. El hesapları ise programlardan farklı sonuçlara ulaşmış ve özellikle atalet momentinin dikkate alındığı EH (I) metodunda A2-B2 aksları arasında rijitlik merkezi konumlandırılmıştır. Taşıyıcı sistem elemanlarının alanını referans alan EH (A) ise diğer sonuçlara yaklaşılarak kütle merkezine yakın bir noktada rijitlik merkezini hesaplamıştır (Şekil 6a).

A4 binasının kat plan görüntüsü A3 binasına benzemektedir. Sadece y doğrultusunda uzanan perdeler binanın kuzey-doğu köşesine yakın yerleştirilmiştir. Perde duvarların kuzey-doğuya doğru konumlandırılması neticesinde P, E ve S'nin hesapladığı rijitlik merkezleri doğuya doğru kaymıştır. İ merkezden çok uzaklaşmamış, EH (I) A3 binasındaki konuma benzer bir konumda rijitlik merkezi hesaplamış, EH (A) ise kütle merkezine yaklaşmıştır. Buradan P, S ve E'nin yaklaşık olarak iki doğrultudaki perdelerin orta bölgesinden geçen bir aksın kesişiminde rijitlik merkezi hesapladığı söylenebilir (Şekil 6b).

A5 binasının kuzey-doğu köşesinde perde grubu yer almaktadır. Diğer bölgelere kolonlar yerleştirilmiştir. Perdelerin yoğun olduğu kuzey-doğu köşesine doğru rijitlik merkezlerinin kaydığı Şekil 6c'den görülebilir. P rijitlik merkezini D aksı üzerinde ve binanın kenarında bulmuş, EH (I), S ve E benzer noktaları işaret etmiş, İ ve EH (A) ise biraz daha merkeze yakın konumlarda rijitlik merkezi hesaplamıştır. Buradan yine görüleceği gibi perde duvarların merkezine yakın bir şekilde rijitlik merkezi yerleştirilmiştir (Şekil 6c).

A6 binasında perdeler kat planının güney-doğu bölümünde yoğun olarak kullanıldığından programların büyük çoğunluğu bu bölgede rijitlik merkezini konumlandırmıştır (Şekil 6d). E, S ve P bu bölgedeki perde grubunun yaklaşık orta bölgesinde rijitlik merkezini hesaplarken, İ kütle merkezine yakın bir konumda rijitlik merkezinin bulunduğunu belirtmiştir. EH (I) her ne kadar güney doğu bölümünde rijitlik merkezi konumunu belirtse de rijitlik merkezinin binanın köşesinde yer alan perde grubu üzerinde olduğunu belirtmiştir. EH (A) ise kütle merkezi ile güney-doğu bölümü arasında kalan bir bölgede rijitlik merkezini bulmuştur.

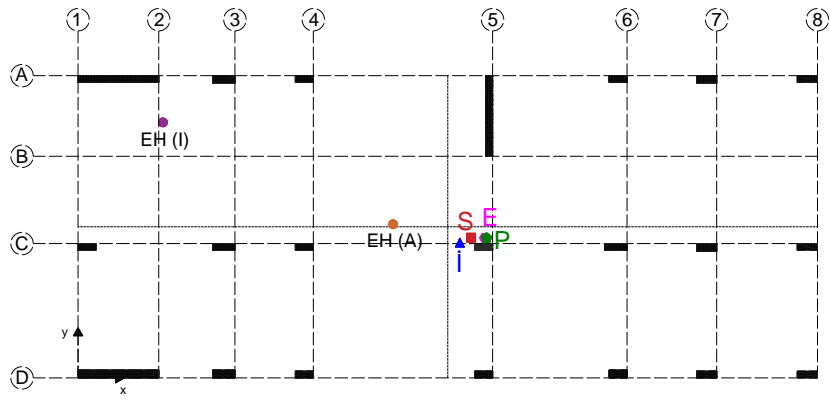
Şekil 6e'den görüleceği üzere A7 binasında x ve y doğrultularında birer adet perde kullanılmış fakat bu perdeler ters L şeklinde binanın kat planının kuzey-batı bölümüne yerleştirilmiştir. Bu durum programların hesapladıkları rijitlik merkezi konumlarının da bu bölgeye doğru kaymasına yol açmıştır. Fakat rijitlik merkezi konumları önemli farklılıklar içermektedir. Örneğin P perdelerin birleştiği A2 aksı noktasında rijitlik merkezini hesaplarken, E buraya yakın fakat y doğrultusunda uzanan perdenin sağında, S ise solunda rijitlik merkezini bulmuştur. Atalet momentini referans alan EH (I) A-B ve 1-2

akslarının orta noktasında, bir başka deyişle perdelerin ortasından çizilen çizgilerin kesişim noktasında rijitlik merkezini hesaplamış fakat EH (A) ve İ yine kütle merkezine yakın bir konumda rijitlik merkezinin olduğunu belirtmiştir.

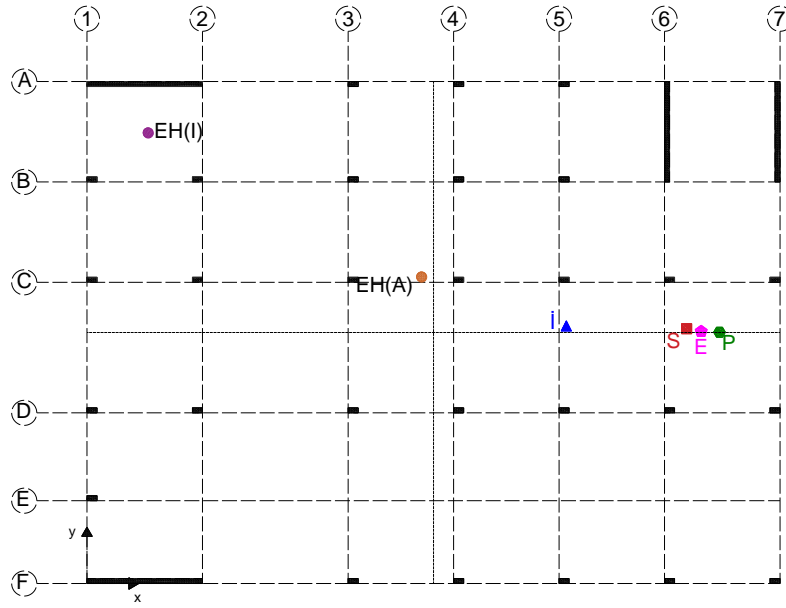
Bundan önceki binalarda bazı programların rijitlik merkezi hesabında birbirlerine benzer sonuçlar verdikleri belirlenmesine rağmen Şekil 6f'de verilen A8 binasında bütün programların çok farklı sonuçlar ürettikleri tespit edilmiştir. Bu binanın kat planında köşelerde kullanılan perdeler ilave olarak planın güney-doğu bölümünün ortasına yakın bir konumda da perdeler kullanılmıştır. Bu bölüme yerleştirilen perdeler rijitlik merkezinin bu bölümden uzaklaşmasını engellemiş ve bütün programlar 5 numaralı aks üzerinde rijitlik merkezini hesaplamıştır. P E-F aksları arasında, İ, E, S D-E aksları arasında EH (A) C-D aksları arasında ve son olarak EH (I) B-C aksları arasında rijitlik merkezini konumlandırmıştır.

Programlar kütle merkezini benzer konumlarda hesaplamıştır. Genel bir değerlendirme yapılacak olursa;

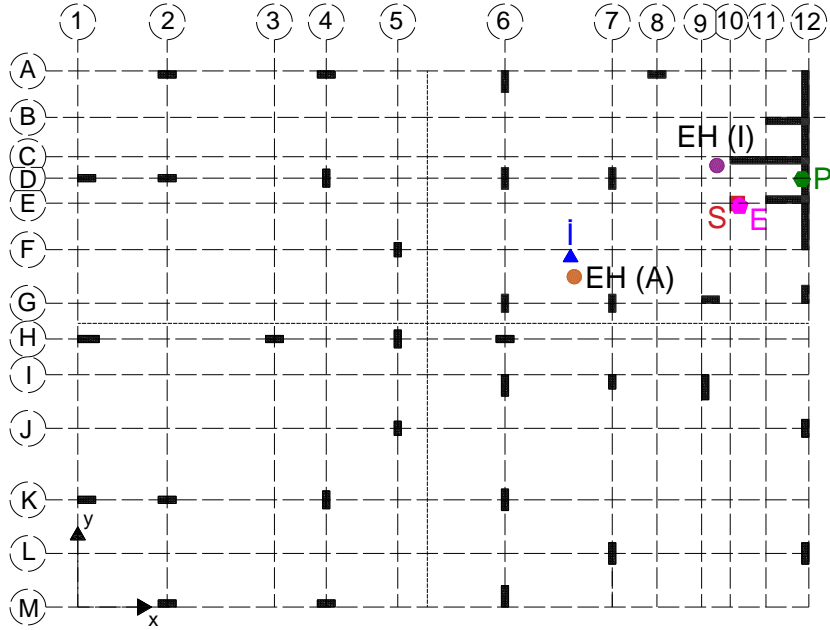
- Simetrik binalarda bütün programlar aynı noktaları rijitlik merkezi olarak belirtmesine rağmen simetrik olmayan binalarda rijitlik merkezi konumlarında önemli farklar olduğu görülmüştür.
- Rijitlik merkezi perdelerin yoğun olarak kullanıldığı bölgelere doğru kaymaktadır. P, E ve S birbirine yakın denilebilecek konumları rijitlik merkezi olarak belirtmesine rağmen İ çoğunlukla kütle merkezine yakın bölgelerde kalmaktadır.
- EH (A) düşey taşıyıcı elemanların alanlarını dikkate aldığından ve alan söz konusu olduğunda perdelerin kolonlardan çok farklı olmaması sebebi ile çoğunlukla kütle merkezine yakın fakat bir miktar perdelerin yoğunlaştığı bölgeye kayacak şekilde rijitlik merkezini konumlandığı belirlenmiştir.
- Atalet momentini dikkate alan EH (I)'da ise perdelerin atalet momentlerinin kolonlardan çok büyük olması sebebi ile perdelerin yoğun olarak kullanıldığı bölgelerde rijitlik merkezi hesaplanmıştır.
- Dikkate alınan 6 yaklaşımda da simetrik olmayan binalarda farklı konumlarda rijitlik merkezi hesaplandığından hangi yöntemin daha doğru sonuç verdiği sorusu cevaplanamamıştır. Bu cevabı bulabilmek adına ilave analizler yapılmış ve sonuçları aşağıdaki bölümde sunulmuştur.



(a) A3 binası

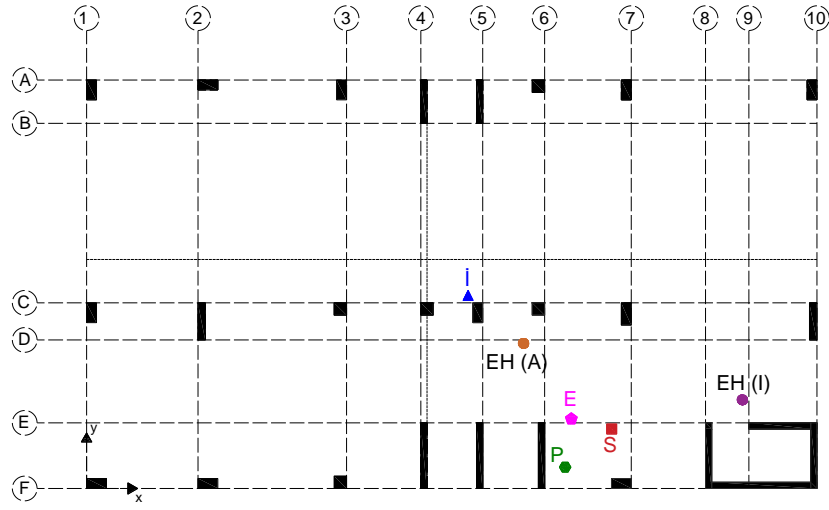


(b) A4 binası

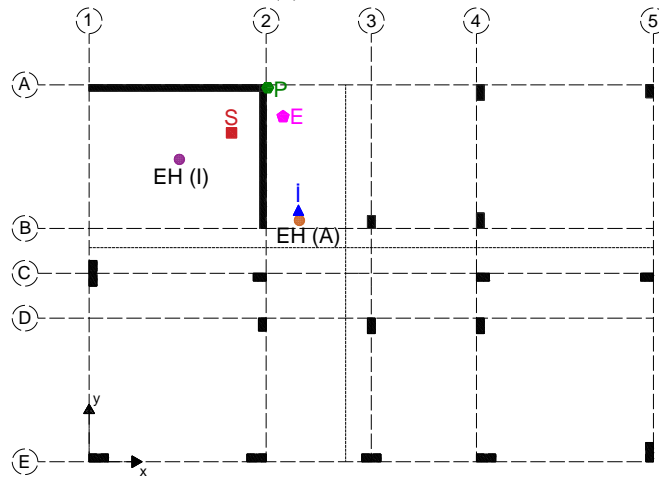


(c) A5 binası

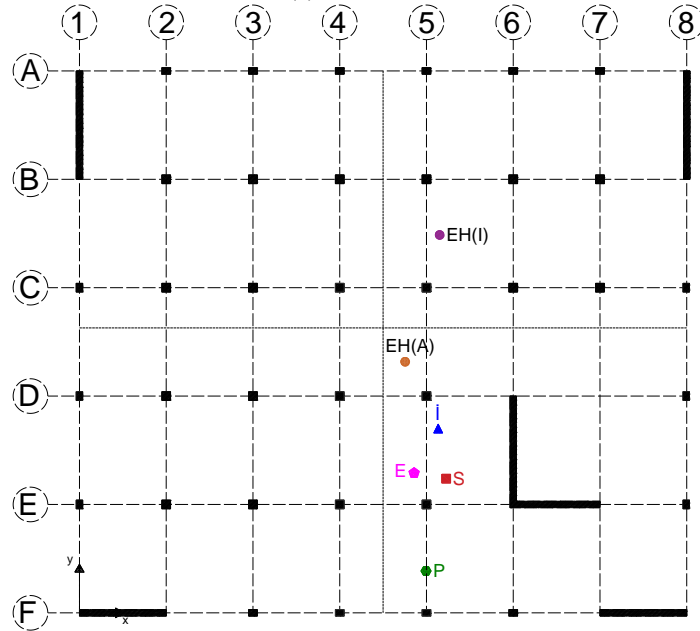
Şekil 6. Simetrik olmayan binaların rijitlik merkezi sonuçları



(d) A6 binası



(e) A7 binası

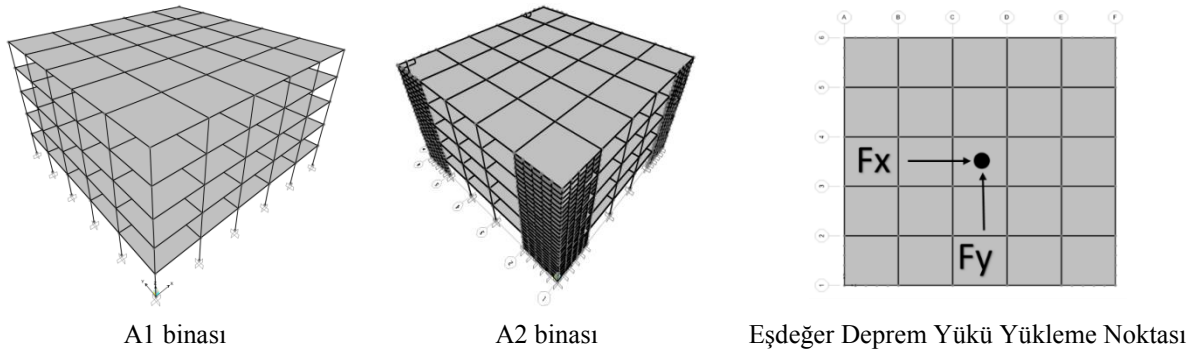


(f) A8 binası

Şekil 6. Simetrik olmayan binaların rijitlik merkezi sonuçları (devamı)

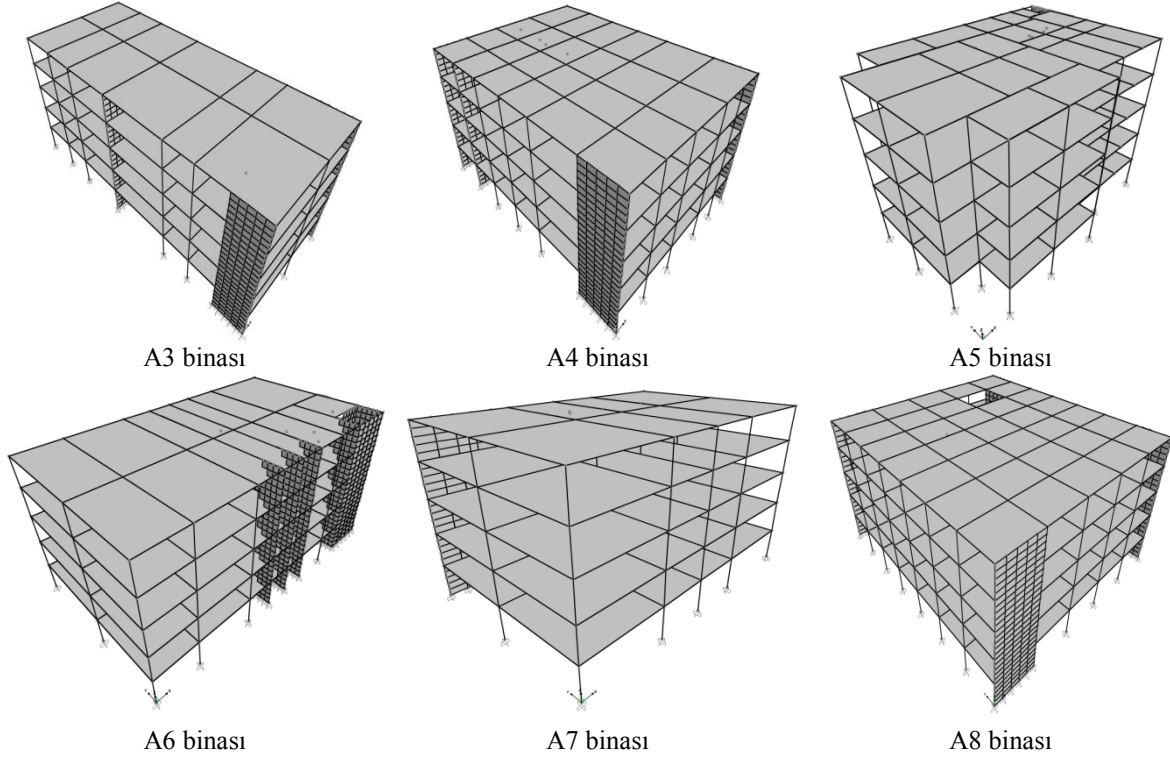
3.2 Rijitlik Merkezlerinin Test Edilmesi

Yukarıda yöntem kısmında anlatılan bilgiler sonrasında hangi hesap yaklaşımın rijitlik merkezini daha doğru hesapladığını anlamak için binalar SAP2000 v20 yardımı ile bir kez daha 3B modellenmiştir. Bu modellerde kolon ve kirişler çubuk elemanlarla, perde ve döşemeler ise alan elemanları ile tanımlanmış ve düşey taşıyıcı elemanlar zemine ankastre mesnetler ile bağlanmıştır. Döşemelere ve kirişlere yukarıdaki bölümlerde belirtilen yükler etki ettirilmiştir. Her bina için x ve y doğrultularındaki eşdeğer deprem yükü hesaplanmış ve katlara dağıtılmıştır. Bu deprem yükleri her programın belirlediği rijitlik merkezi noktasına her bir deprem doğrultusu için ayrı ayrı yatay yük olarak Şekil 7’de gösterildiği gibi verilmiştir. Normal şartlarda kütle merkezine etki ettirilen eşdeğer deprem yükünün binayı rijitlik merkezi etrafında döndürmesi sağlanırken bu çalışmadaki yüklemenin amacı dönme noktası olan rijitlik merkezine yatay yük verilerek binanın dönüp dönmediğini belirlemektir. Binanın maruz kalacağı dönme miktarının (rijitlik merkezinde okunacak dönme miktarı) sıfır olarak bulunması durumunda rijitlik merkezi konumunun doğru olduğu kabul edilecektir. Aksi halde dönme miktarı minimum olan programın rijitlik merkezi konumunu daha gerçekçi belirlediği varsayılacaktır. Şekil 8’de SAP2000 v20 programı ile oluşturulan 3B bina modelleri gösterilmektedir.



Şekil 7. Tipik 3B SAP2000 modeli ve kat planına etki ettirilen yatay deprem yükleri

Doğrusal analizler neticesinde x doğrultusunda verilen yatay kuvvetin zemin katın rijitlik merkezi noktasında elde edilen dönme değerleri (binanın z ekseni etrafındaki dönme) Tablo 2’de özetlenmiştir. Tabloda en düşük dönme değerini veren program gri ile işaretlenmiştir. Tablodan görüleceği üzere A1 ve A2 simetrik binalarında bütün programların rijitlik merkezi konumları aynı olduğundan aynı dönme değerleri elde edilmiştir. Bu binalardaki dönme değerleri çok düşük olduğundan rijitlik merkezi konumunun doğru olduğu belirlenmiştir. Simetrik olmayan binalar incelendiğinde ise A4 binasında P programının en düşük sonucu verdiği, diğer binalarda ise E’nin diğer programlara nazaran rijitlik merkezini daha doğru hesapladığı belirlenmiştir.



Şekil 8. Binaların 3B SAP2000 modelleri

Tablo 3'te x doğrultusunda verilen yatay yük sebebi ile oluşan dönme değerleri her bina için en düşük değere bölünerek dönme oranları hesaplanmıştır. Buradaki amaç dönme değerini minimum olarak bulan programın diğerlerinden ne kadar farklı olduğunu belirlemektir. Tabloda en düşük değer 1,0 olarak işaretlenmiştir. Genel olarak E'nin en düşük dönme değerlerine ulaştığı tabloda, S'nin E'ye yakın sonuçlar verdiği fakat farkın sadece iki binada 1,5 katın altında olduğu diğer binalarda en düşük 3,7 kat en yüksek 14,1 kat olduğu belirlenmiştir. P yine E'ye yakın noktada rijitlik merkezi hesaplanmış fakat burada da sadece iki binada bu defa 2 kattan daha düşük değerler elde edilmiş fakat diğer binalarda en düşük 2,9 en yüksek 14,1 fark hesaplanmıştır. Farkların bu kadar büyük olması sistemin burulma kaynaklı deformasyonlar ve gerilmelerinin fazla hesaplanması anlamına gelebilir. Fakat burulma etkilerinin doğru hesaplanması hem eleman tasarımının daha sağlıklı olmasını sağlayacak hem de gerçek davranışı temsil edebilecek modeller oluşturulmasına imkân sağlayacaktır. İ programında en düşük 2,3 en yüksek 65,7 fark bulunmuştur. El hesabı yaklaşımlarında alanı referans alan EH(A)'nın atalet momentini dikkate alan EH(I) yaklaşımından daha başarılı olduğu, dört adet binada (A3, A4, A5 ve A8) E'ye daha yakın dönme değerlerini hesapladığı belirlenmiştir. EH(I) yaklaşımı A3 binasında 190 kat, A4 binasında ise 221 kat daha farklı bir konumu rijitlik merkezi olarak hesaplamıştır.

Tablo 2. X doğrultusunda yapılan yükleme sonucunda zemin katta oluşan dönme değerleri (rad)

Yöntem	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
S	-4,11E-18	3,14E-18	-3,50E-06	-5,24E-06	3,60E-05	-14,00E-06	1,80E-05	-0,85E-05
İ	-4,11E-18	3,14E-18	5,21E-06	-2,98E-06	5,50E-05	-65,00E-06	6,00E-05	-2,10E-05
P	-4,11E-18	3,14E-18	0,98E-06	0,46E-06	-4,20E-05	14,00E-06	-2,30E-05	1,90E-05
E	-4,11E-18	3,14E-18	0,51E-06	-1,13E-06	2,40E-05	0,99E-06	0,49E-05	-0,66E-05
EH (I)	-4,11E-18	3,14E-18	-97,00E-06	-102,00E-06	-5,50E-05	-15,00E-06	2,80E-05	-5,70E-05
EH (A)	-4,11E-18	3,14E-18	-11,00E-06	-28,00E-06	5,10E-05	-40,00E-06	7,20E-05	-2,80E-05

Tablo 3. X doğrultusundaki kuvvet neticesinde oluşan dönme değerlerinin oranları

Yöntem	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
E	1,0	1,0	1,0	2,5	1,0	1,0	1,0	1,0
S	1,0	1,0	6,9	11,4	1,5	14,1	3,7	1,3
P	1,0	1,0	1,9	1,0	1,8	14,1	4,7	2,9
İ	1,0	1,0	10,2	6,5	2,3	65,7	12,2	3,2
EH (A)	1,0	1,0	21,6	60,9	2,1	40,4	14,7	4,2
EH (I)	1,0	1,0	190,2	221,7	2,3	15,2	5,7	8,6

Yatay yükün, programların hesapladığı rijitlik merkezine y doğrultusunda etki ettirilmesi neticesinde programların zemin katta bulunduğu rijitlik merkezinde meydana gelen dönme değerleri Tablo 4'te, bu tablodaki değerlerin en düşük dönme değerine oranları ise Tablo 5'te verilmiştir. Yine en düşük değer gri ile işaretlenmiştir. Tablolardan görüleceği üzere E programı y doğrultusunda da genel olarak en düşük dönme değerlerini elde ettiğinden bu programın rijitlik merkezini diğer programlardan daha doğru hesapladığı sonucuna varılmıştır. E programında rijit diyafram kabulü yapılarak binalarda kattaki herhangi bir noktaya x ve y doğrultularında bir birimlik yatay yük, z doğrultusunda ise bir birimlik moment yüklenmesi ile elde edilen dönme değerlerinin oranları dikkate alındığından gerçeğe daha yakın rijitlik merkezi konumları bulunduğu sonucuna varılmıştır. E'ye en yakın değerler P ve S'den hesaplanmıştır. Bu sonuçlar x doğrultusu ile uyumludur. İ nispeten daha farklı sonuçlar vermiş, EH(A)'nın ise yine EH(I)'dan daha iyi dönme değerlerine ulaştığı belirlenmiştir.

Tablo 4. Y doğrultusunda yapılan yükleme sonucunda zemin katta oluşan dönme değerleri (rad)

Yöntem	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
S	-2,64E-18	1,85E-18	5,83E-06	2,00E-05	-4,40E-05	-6,58E-06	-7,00E-05	-4,47E-06
İ	-2,64E-18	1,85E-18	10,00E-06	4,70E-05	-12,00E-05	-43,00E-06	1,70E-05	1,23E-06
P	-2,64E-18	1,85E-18	-1,10E-06	-1,60E-05	5,40E-05	-10,00E-06	-3,80E-05	-0,85E-06
E	-2,64E-18	1,85E-18	0,92E-06	0,94E-05	-2,70E-05	0,15E-06	1,20E-05	0,98E-06
EH (I)	-2,64E-18	1,85E-18	167,00E-06	16,20E-05	-0,67E-05	41,00E-06	-17,00E-05	-5,19E-06
EH (A)	-2,64E-18	1,85E-18	48,00E-06	7,60E-05	-10,80E-05	-23,00E-06	0,96E-05	5,75E-06

Tablo 5. Y doğrultusundaki kuvvet neticesinde oluşan dönme değerlerinin oranları

Yöntem	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
E	1,0	1,0	1,0	1,0	4,0	1,0	1,3	1,2
P	1,0	1,0	1,2	1,7	8,1	66,7	4,0	1,0
S	1,0	1,0	6,3	2,1	6,6	43,9	7,3	5,3
İ	1,0	1,0	10,9	5,0	17,9	286,7	1,8	1,4
EH (A)	1,0	1,0	52,2	8,1	16,1	153,3	1,0	6,8
EH (I)	1,0	1,0	181,5	17,2	1,0	273,3	17,7	6,1

4. SONUÇLAR

Betonarme bir binada rijitlik merkezi konumunun kolonlar ve perdeler gibi düşey taşıyıcı sistem elemanlarına etki edecek ilave kesme kuvvetlerini doğrudan etkilediği için rijitlik merkezinin gerçeğe yakın olarak hesaplanması gerekmektedir. Bu çalışmada 5 kattan oluşan 2 adet simetrik, 6 adet asimetrik betonarme binanın rijitlik merkezi konumu yapısal analizler için kullanılarak dört farklı program ile hesaplanarak farklılıklar belirlenmeye çalışılmış ve daha sonra bu binalara ait düşey taşıyıcı sistem elemanlarının alanını ve atalet momentini referans alan iki farklı yaklaşım ile kıyaslanmıştır. Analizler iki farklı aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada binalar mevcut programlar ile modellenerek rijitlik merkezleri hesaplanmış, sonrasında ise rijitlik merkezi konumlarına yatay yükler verilerek kat burulmaları (dönme değerleri) hesaplanmıştır. Yapılan analizler neticesinde aşağıdaki çıkarımlar yapılmıştır:

- Yapısal analizler için kullanılan programlar betonarme binalarda rijitlik merkezini çok farklı konumlarda hesapladığından burulma momentleri sebebi ile kat planında meydana gelen dönme değerleri arasında çok önemli farklar oluşmaktadır.
- E programı diğerlerine nazaran daha düşük dönme değerlerine ulaştığından rijitlik merkezini en doğru hesaplayan programın E olduğu sonucuna varılmıştır.
- El hesabı çoğu durumda programlardan çok farklı sonuçlar vermiştir. El hesabında atalet momentini referans alan yaklaşımın teorik olarak daha doğru olduğu bilinmesine rağmen alanı referans alan yaklaşım daha gerçekçi sonuçlar vermiştir. Bunun sebebi olarak uzun perdelerin atalet momentlerinin sistemdeki kolonların atalet momentlerini baskılaması ve rijitlik merkezini kendi çevresine doğru kaydırmaya zorlaması gösterilebilir.
- Atalet momentleri referans alınarak elle hesap yapılırken kullanılan formül ile TBDY2018 Bölüm 17'de yer alan formülü dikkate alan P programının kullandığı rijitlik merkezleri formülünde atalet momentlerindeki yön farklılığından dolayı bir uyumsuzluk gözlenmiştir. Bu uyumsuzluk sebebi ile rijitlik merkezi konumlarında EH(I) ve P yaklaşımlarında farklılık gözlenmiştir.

- Programların genelinde atalet momenti tabanlı bir yaklaşım bulunmakta, yük veya deplasman dağılımları sistem için kurulan rijitlik matrisleri ile hesaplanmakta ve bu kuvvet ve deplasmanların birbirleri olan ilişkisi neticesinde rijitlik merkezi konumu hesaplanmaktadır. Yaklaşım mantığı genel olarak aynı olmasına rağmen en ufak bir varsayım çözümü etkileyebilmektedir. Bu yaklaşımlara aşağıdaki örnekler verilebilir:
 - Modelde perdelerin bir bütün değil de parçalı olarak modellenmesi,
 - Elemanların sonlu elemanlar mantığı gereği merkezlerinden bağlanması,
 - Perdelerin bazı programlarda hızlı çözüm için kolon gibi modellenmesi ve bağlantı noktalarının gerçek noktalardan uzaklaşması,
 - Hızlı çözüm elde edebilmek için perdelerin ağlara bölünmemesi,
 - Döşemelerin analizler sırasında dikkate alınmaması

Rijitlik merkezi konumunun doğru olarak hesaplanması, gerçeğe yakın bir deprem performansı ile doğrudan ilişkili olduğundan, betonarme bina modellerinin de gerçeğe yakın olacak şekilde oluşturulması, hatalı varsayımlardan kaçınılması, eleman düğüm noktalarının gerçek konumlarına yakın noktalarda konumlandırılmasının gerekli olduğu belirlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FYL-2022-9987 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını bildirmektedir.

ETİK BEYANI

Bu çalışmada, yazarlar "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamındaki tüm kurallara uyduklarını, ilgili yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" olarak belirtilen başlığı altındaki eylemlerden hiçbirini gerçekleştirmediklerini taahhüt ederler.

YAZARLARIN KATKILARI

Enes AKSOY: Yazma-orijinal taslak hazırlama, doğrulama, analiz, yazma-inceleme ve düzenleme. Fuat KORKUT: Kavramsallaştırma, metodoloji, proje yönetimi, gözetim ve liderlik

sorumluluğu, doğrulama, analiz, yazma-gözden geçirme ve düzenleme, finansman edinimi. Barış ERDİL: Kavramsallaştırma, metodoloji, doğrulama, analiz, yazma-gözden geçirme ve düzenleme.

KAYNAKLAR

- [1] TBDY2018, “Deprem etkisi altında binaların tasarımı için esaslar”, Çevre Şehircilik Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 2018.
- [2] I. N. Doudoumis, N. I. Doudoumis, “Centres of rigidity in multi-storey asymmetric diaphragm systems for general lateral static loading”, *Engineering Structures*, vol. 150, pp. 39-51, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.06.072>
- [3] V. W. T. Cheung, W. K. Tso, “Eccentricity in irregular multistory buildings”, *Canadian Journal of Civil Engineering*, vol. 13, no. 1, pp. 46–52, 1986. <https://doi.org/10.1139/186-007>
- [4] R. Hejal, A. K. Chopra, “Earthquake response of torsionally-coupled buildings”, Report No. UCB/EERC-87/20, Berkeley, CA, USA, 1987.
- [5] M. Bosco, E. M. Marino, P. P. Rossi, “An analytical method for the evaluation of the in-plan irregularity of non-regularly asymmetric buildings”, *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 11, no. 5, pp. 1423-1445, 2013. <https://doi.org/10.1007/s10518-013-9438-3>
- [6] R. K. Goel, A. K. Chopra, “Seismic code analysis of buildings without locating centers of rigidity”, *Journal of Structural Engineering*, vol. 119, pp. 3039–3055, 1993. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1993\)119:10\(3039\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1993)119:10(3039))
- [7] E. M. Marino, P. P. Rossi, “Exact evaluation of the location of the optimum torsion axis”, *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, vol. 13, no. 4, pp. 277-290, 2004. <https://doi.org/10.1002/tal.252>
- [8] A. M. Athanatopoulou, I. N. Doudoumis, “Principal directions under lateral loading in multistorey asymmetric buildings”, *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, vol. 17, no. 4, pp. 773-794, 2008. <https://doi.org/10.1002/tal.385>
- [9] G. K. Georgoussis, “Modal rigidity center: it's use for assessing elastic torsion in asymmetric buildings”, *Earthquakes and Structures*, vol. 1, no. 2, pp. 163-175, 2010. <https://doi.org/10.12989/eas.2010.1.2.163>
- [10] ProtaStructure (Sürüm 5. 1. 290), Prota Yazılım, Ankara, Türkiye.
- [11] D. Basu, S. K. Jain, “Alternative method to locate centre of rigidity in asymmetric buildings”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, vol. 36, pp. 965–73, 2006. <https://doi.org/10.1002/eqe.658>
- [12] Sta4CAD (Sürüm v14.1), Sta Bilgisayar Mühendislik Müşavirlik Ltd. Şt., İstanbul, Türkiye.
- [13] İdeCAD (Sürüm 10.20), İde Yapı, Bursa, Türkiye.
- [14] ETABS (Sürüm v.19.1.0), Computers and Structures Inc., Kaliforniya, ABD.
- [15] B. Acun, “Yatay yük altında bina döşemeleri için rijit diyafram modelinin uygunluğunun incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ, İstanbul, 2002.
- [16] A. E. İdemen, “Bina ağırlık merkezi-rijitlik merkezi ilişkisini mimari tasarım aşamasında kuran bir uzman sistem”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ, İstanbul, 2003.
- [17] Autodesk Inc. (1982), AutoCAD (Sürüm 2022), Kaliforniya, ABD.

- [18] E. Sezer, “Yapı sistemlerinde burulma düzensizliğini etkileyen parametrelerin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak, 2006.
- [19] H. Yener Demirci, “Asimetrik betonarme yapıların deprem davranışı”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 2016.
- [20] K. E. Kınık, “Betonarme binaların taşıyıcı sistem seçiminde perde yerleşiminin davranışa etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ, İstanbul, 2019.
- [21] B. Erdil, Y. Gündüz, “Betonarme binalar için perde duvar etkinliğinin belirlenmesi”, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 10, no. 2, pp. 655-669, 2021. <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.898353>
- [22] SAP2000 (Sürüm v.20.0.0), Computers and Structures Inc., Kaliforniya, ABD.
- [23] TS 498, “Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye. 1987.

Copyright © 2022 Aksoy, Korkut and Erdil. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY 4.0).



Derleme Makalesi / Review Article


Perspectives on Computer Aided Drug Discovery

Bilgisayar Destekli İlaç Keşfi Üzerine Bakışlar

Kevser Kübra KIRBOĞA^{1,*} , Ecir Uğur KÜÇÜKSİLLE² 

¹ Bilecik Şeyh Edebali University, Engineering Faculty, Bioengineering Department, 11230, Bilecik, Türkiye

² Süleyman Demirel University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department, 32260, Isparta, Türkiye

 <https://doi.org/10.55007/dufed.1103457>

ARTICLE INFO

Article History

Received, 14 April 2022

Revised, 15 September 2022

Accepted, 15 September 2022

Available Online, 28 October 2022

Keywords

Computer-aided drug design, Structure-activity relationship, Cheminformatics, Molecular modeling, Virtual screening

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihi

Alınış, 14 Nisan 2022

Revize, 15 Eylül 2022

Kabul, 15 Eylül 2022

Online Yayınlama, 28 Ekim 2022

Anahtar Kelimeler

Bilgisayar destekli ilaç tasarımı, Yapı-aktivite ilişkisi, Keminformatik, Moleküler modelleme, Sanal tarama

ABSTRACT

The drug development and discovery process are challenging, take 15 to 20 years, and require approximately 1.5-2 billion dollars, from the critical selection of the target molecule to post-clinical market application. Several computational drug design methods identify and optimize target biologically lead compounds. Given the complexity and cost of the drug discovery process in recent years, computer-assisted drug discovery (CADD) has spread over a broad spectrum. CADD methods support the discovery of target molecules, optimization of small target molecules, analysis, and development processes faster and less costly. These methods can be classified into structure-based (SBDD) and ligand-based (LBDD). SBDD begins the development process by focusing on the knowledge of the three-dimensional structure of the biological target. Finally, this review article provides an overview of the details, purposes, uses in developing drugs, general workflows, tools used, limitations, and future of CADD methods, including the SBDD and LBDD processes that have become an integral part of pharmaceutical companies and academic research.

ÖZ

İlaç geliştirme ve keşif süreci, hedef molekülün kritik seçiminden klinik sonrası pazar uygulamasına kadar 15 ila 20 yıl süren ve yaklaşık 1,5-2 milyar dolar gerektiren zorlu bir süreçtir. Bu süreçte, biyolojik aktiviteye sahip hedef öncü bileşikler belirlemek ve optimize etmek için bir dizi hesaplamalı ilaç tasarım yöntemi kullanılır. Son yıllarda ilaç keşif sürecinin karmaşıklığı ve maliyeti göz önüne alındığında, bilgisayar destekli ilaç keşfi (CADD) geniş bir yelpazeye yayılmıştır. Bu gözden geçirme makalesi, ilaç şirketlerinin ve akademik araştırmaların ayrılmaz bir parçası haline gelen SBDD ve LBDD süreçleri de dahil olmak üzere CADD yöntemlerinin ayrıntılarına, amaçlarına, ilaç keşfindeki kullanımlarına,

*Corresponding Author

E-mail addresses: kubra.kirboga@bilecik.edu.tr (Kevser Kübra KIRBOĞA), ecirkucuksille@sdu.edu.tr (Ecir

Uğur KÜÇÜKSİLLE)

genel iş akışlarına, kullanılan araçlara, sınırlamalara ve geleceğine ilişkin bir genel bakış sunmaktadır.

1. INTRODUCTION

Drug discovery is the procedure of determining the functions of bioactive molecules to generate novel medications, and it is often one of the first phases in the drug development pipeline [1]. It is an expensive, long-term, and complex process. Many new methods and ideas have been put forward to speed up this process and perform it in a less costly way. With the developing technology, the drug discovery process has accelerated with computer support. Computer-aided drug discovery (CADD), one of the most popular segments of the multidisciplinary field, uses specialized approaches to discover, analyze and develop drugs or biologically active molecules and compounds. Potential candidates identified by CADD can participate *in vitro* and *in vivo* experiments, cell culture studies, target inhibition, in vivo model studies, etc. It can go faster to clinical trials, the final stage of the drug discovery process. CADD has gained popularity in both academic studies and industrial fields. To date, CADD has been reported in human immunodeficiency virus (HIV)-1-inhibitory drugs such as atazanavir [2], indinavir [3], ritonavir [4], and saquinavir [5], anticancer drugs like raltitrexed [6]. In addition, it has been used successfully in antibiotics (norfloxacin [7]) to develop novel drug ingredients and bring them to market. To increase the efficiency and accuracy of CADD processes, many CADD ideas have been developed and linked with machine learning (ML) techniques [8]. The discipline of CADD is continually evolving, with new approaches and procedures being developed all the time. The merging of ML and big biological data methodologies have opened up new opportunities for increasing the accuracy and efficiency of *in silico* drug development during the last several years. This review covers the general techniques and methodologies used in *in silico* drug discovery, such as target protein identification, chemical library screening, machine learning-based evaluation of toxicity, and easily obtainable prediction tools and databases. It also includes a list of FDA-approved and confirmed drug compounds created applying CADD techniques.

As a result, CADD, which provides the necessary support for selecting, optimizing and analyzing target leads, participates in many studies in the field of health and engineering. Therefore, we recommend using CADD, which is timesaving, fast, and cost-effective, in the drug development procedure. This study aims at the different tools to evaluate the CADD process and the latest developments in drug development, its contribution to drug discovery through these tools, and to interpret and discuss the latest updates.

2. COMPUTER-AIDED DRUG DISCOVERY

When taken into the body, drugs are substances that physically and psychologically alter the body's functions, used to prevent, cure, or alleviate disease. The aim of discovering a new drug is to develop compounds with minimized side effects, more potent, less toxic, and more valuable compounds. As shown in Figure 1, the drug discovery process has traditionally been based on synthesis and integrative chemistry. But creating a new drug is a long-to-develop, high-risk and competitive business that takes an average of 15-20 years and requires more than \$ 1,8-2 billion in budget [9]. Therefore, new technologies such as ultra-high-efficiency drug scanning and artificial intelligence have been used to make the production process faster and more cost-effective. Drug discovery also called smart drug design, designs a new drug molecule by considering the properties of a biological target. These molecules are small molecules that traditionally obey Lipinski's five rules. These small molecules have a significant effect on drug permeability and physicochemical properties. Although Lipinski classifies compounds quickly and simply, it does not categorize all compounds completely.

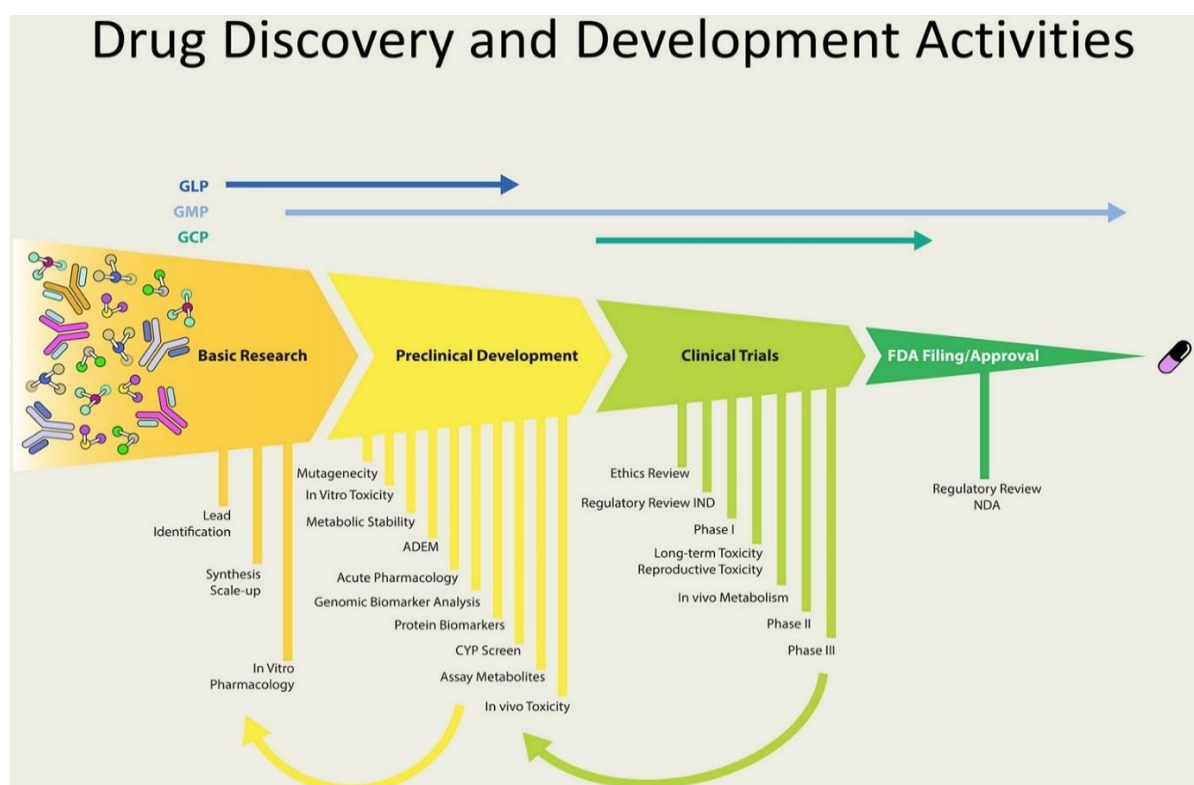


Figure 1. Drug Discovery Process*

* Small molecules (NMEs) and biological molecules (NBEs) are represented on the left as icons being examined for development. The timelines for the quality assurance guides that control the procedure are at the top; they are good laboratory practice (GLP), good manufacturing practice (GMP), and good clinical practice (GCP). Studies of absorption, distribution, metabolism, elimination and toxicity (ADMET), screening for activity at cytochrome P450 (CYP) liver enzymes, and regulatory submissions for Investigational New Drug (IND) and New Drug Application (NDA) are among the activities indicated at the bottom (NDA). NBE stands for "New Biological Entity," and NME is for "New Molecular Entity." With Permission from [10].

- No over 5 hydrogen bond contributors (the all-out number of nitrogens–hydrogen and oxygen-hydrogen bonds)
- There should be no more than 10 hydrogen bond acceptors (all nitrogen or oxygen atoms) [11-13]
- Have a molecular mass of less than 500 Daltons
- Lipophilic coefficient (Log P) should be less than [11]

During the discovery of a new drug molecule, the lipophilicity of the molecule is increased so that it can be absorbed faster through the cell membrane to improve the affinity and selectivity of the drug candidate, and the molecular weight of the molecule increases to enter the circulation faster. To maintain the optimization in the enhancement process, three congruent compound rules have been defined [13, 14]. Three congruent compound rules have been listed below;

- The log P of the octanol-water partition coefficient should be less than 3.
- Less than 300 Daltons in molecular mass
- There should be no more than three hydrogen bond donors.
- There should be no more than three hydrogen bond acceptors.
- There should be no more than three rotatable bonds.

"In silico," the name of which we have heard more recently, is defined as computer-performed experiments. In silico pharmacology is a field that creates discoveries, designs, and optimizes new, effective, and safe drug models and simulations by using and developing computer-assisted and software techniques to analyze data from existing sources, make predictions and integrate them with other data [15]. Computer-aided drug studies contribute to the process from target detection to clinical trials, as shown in Figure 2. In silico drug design uses modern techniques such as quantitative structure-activity relationship (QSAR), structure-based library designs, bioinformatics, and many biological and chemical databases, which are synergistic with each other and inspire each other. Unfortunately, many tools are still being developed.

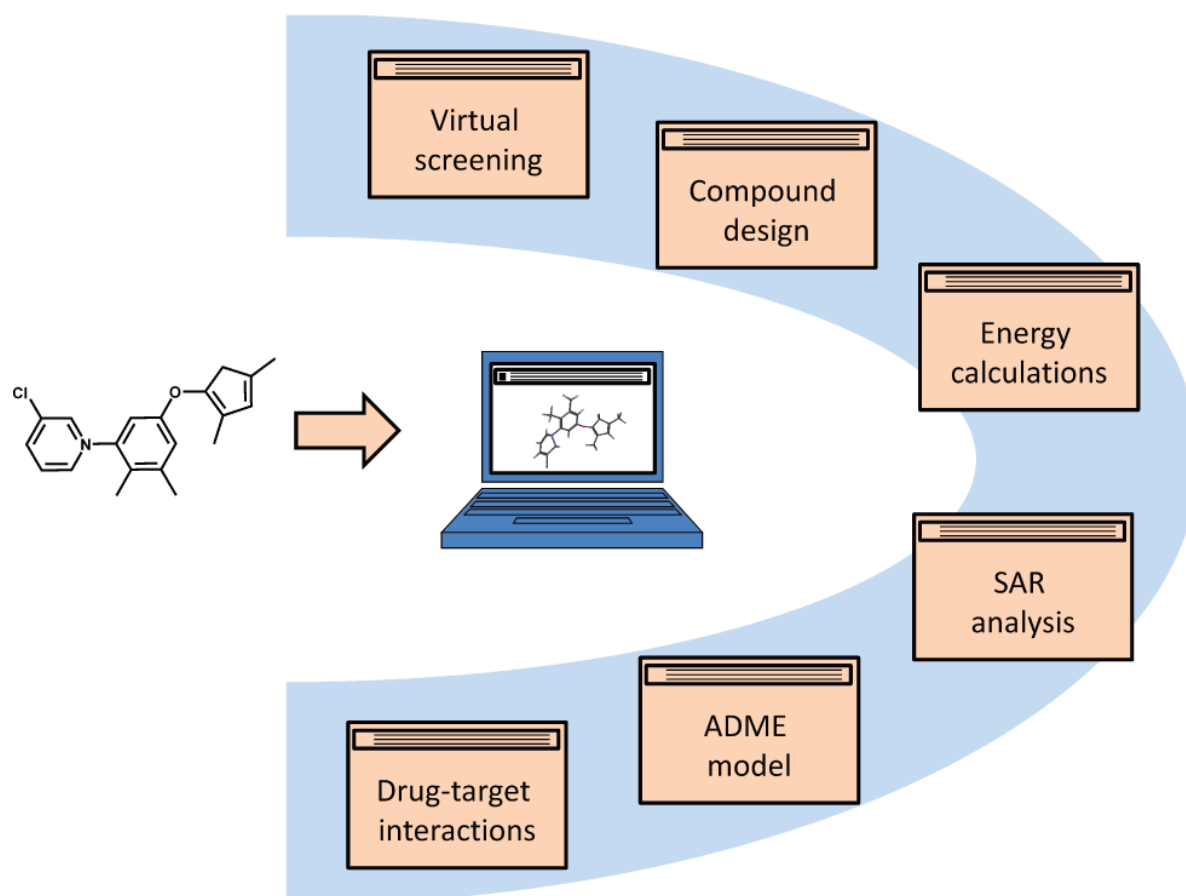


Figure 2. Computer-Aided Drug Design. Each rectangular box shows the usage area of CADD. It's reprinted from [16]

2.1 Structure-Based Drug Design

Structure-Based Drug Design (SBDD) is one of the most powerful processes in the drug discovery process (especially in the late stages). With the advances in molecular biology techniques, protein purification methods, and overexpression systems such as NMR, developments in SBDD continue [17]. This process is in a cycle within itself. The first cycle of the procedure includes purification, cloning, and structure determination of the nucleic acid or target protein to be discovered and is achieved by X-ray crystallography (XRC), nuclear magnetic resonance (NMR), or homology modeling. Using various algorithms of computers, the substances in the database are placed in the desired area in the structure and ranked according to their interaction levels. The best compounds selected are subjected to experimental biochemical tests. In the second cycle of the process, the promising path from the first cycle reveals the structure of the target and where it can be optimized to increase the potential of the compound. Possible additional cycles in the process include determining the structure of the new target and further optimization of the lead compound. As shown in Figure 3, after a few cycles, the optimized compounds become specific and optimized for the target. In addition to generating drugs that impede viral reproduction, structure-based drug design also allows for the

creation of ligands that stabilize the virus coat, which could be useful for poliovirus and rhinoviruses that cause the common cold [18].

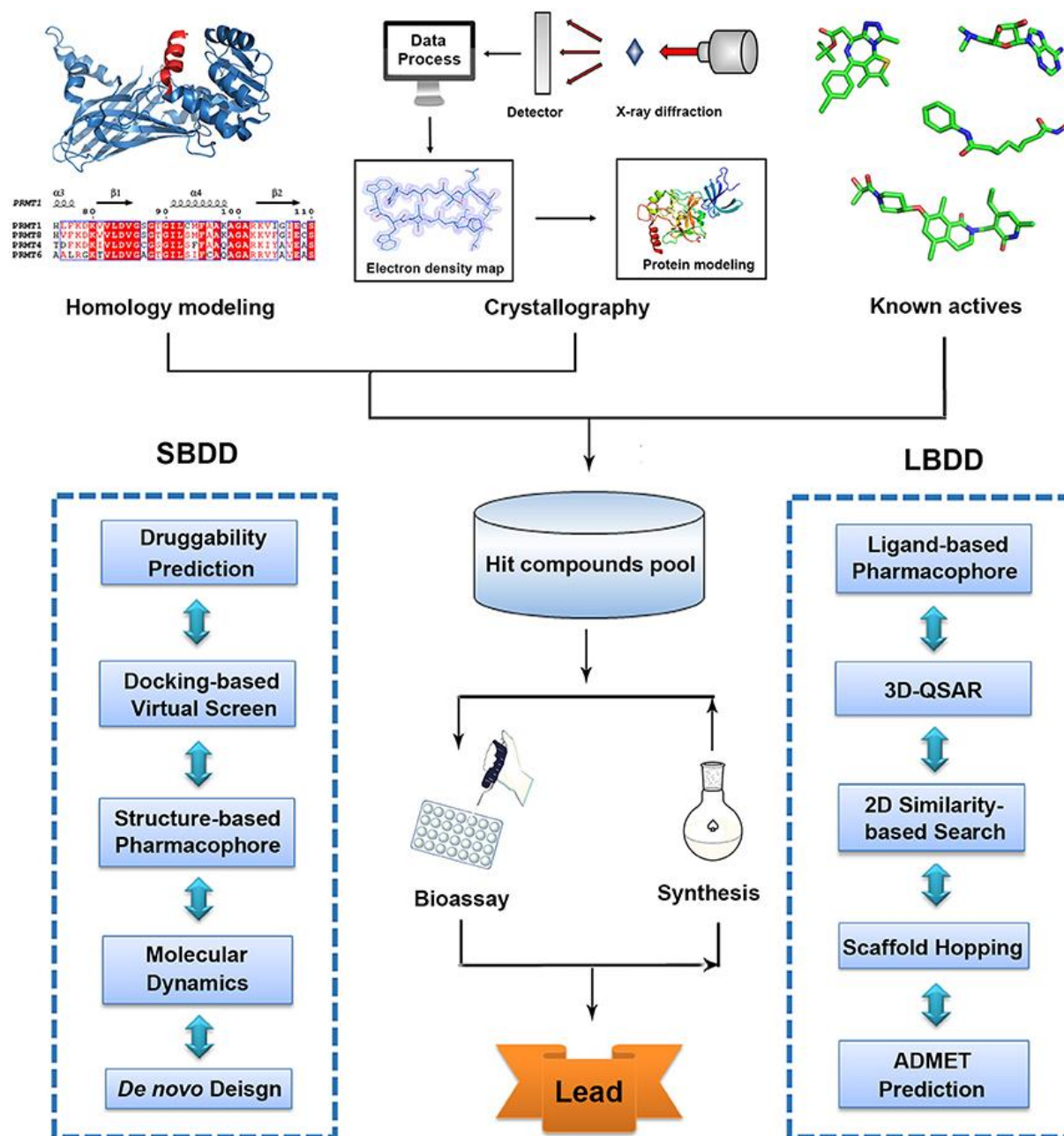


Figure 3. SBDD provides the opportunity to comment on the biological potential of the protein based on the known 3D structure. With permission from [19]

In the study, the structure-based examination of thrombin natural compounds contributed to the development of thrombin inhibitor compounds such as 'hirulog' [20-22]. Another effective example was the use of the HIV protease architecture in the development of four FDA-approved antiviral enzyme inhibitors for the treatment of HIV/AIDS (saquinavir, nelfinavir, indinavir, & ritonavir). Details of fragment-based approaches in KEAP1 / NRF2 protein-protein interactions have

been studied [23]. Currently, research on the 3D structure is underway, emphasizing the precious NMR spectroscopy's contribution to SBDD research, as well as new advancements in protein-observed and paramagnetic NMR approaches [24]. Consequently, SBDD has an important role in the discovery of selective, potent, and cell-penetrating chemical leads, in the mechanistic biology of cells, and in confirming molecular targeting in genetic-based approaches, as well as clinical and patient-level studies.

2.1.1 De novo Design

"De novo" protein design (word meaning 'new') describes the production of new undefined proteins based on the physical principles of interactions between molecules. In this protein design, small proteins specially designed for target regions are created. De novo protein design studies, such as the creation of mini-proteins targeting the spike proteins of the severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS CoV-2) virus oligonucleotide synthesis, yeast imaging screening, next-generation sequencing studies (NGS), studies on the binding sites of cytokines are developing [25]. The increase in de novo studies in recent years has allowed non-experts to design correctly folded protein structures. The functional and structural diversity of proteins complicates these design studies.

In this computational approach, which uses protein design from scratch rather than using a protein with a known structure, identification of the primary sequence that folds into the desired topology is the main step. This approach can be accomplished in three steps:

1. Creating a correct backbone of the desired protein,
2. Optimizing the sequence of the protein,
3. Confirmation of the sequence and structure of the protein by computational and experimental approaches.

While creating the backbone of the target protein, elements such as α -helices, β -sheet, and loops, which express the folding state of the protein, are brought together with the help of computational algorithms and ML. Appropriate sequences of sequences are then generated for the creation and optimization of the desired conformation. Energy changes of molecules and certain functions are used for a correct arrangement. In the last step, the sequences of the proteins whose folding states are controlled are evaluated, and experimental validations are performed. The stages of de novo design and the pathway diagram in enzyme design are shown in Figure 4 [26].

De Novo Computational Enzyme Design

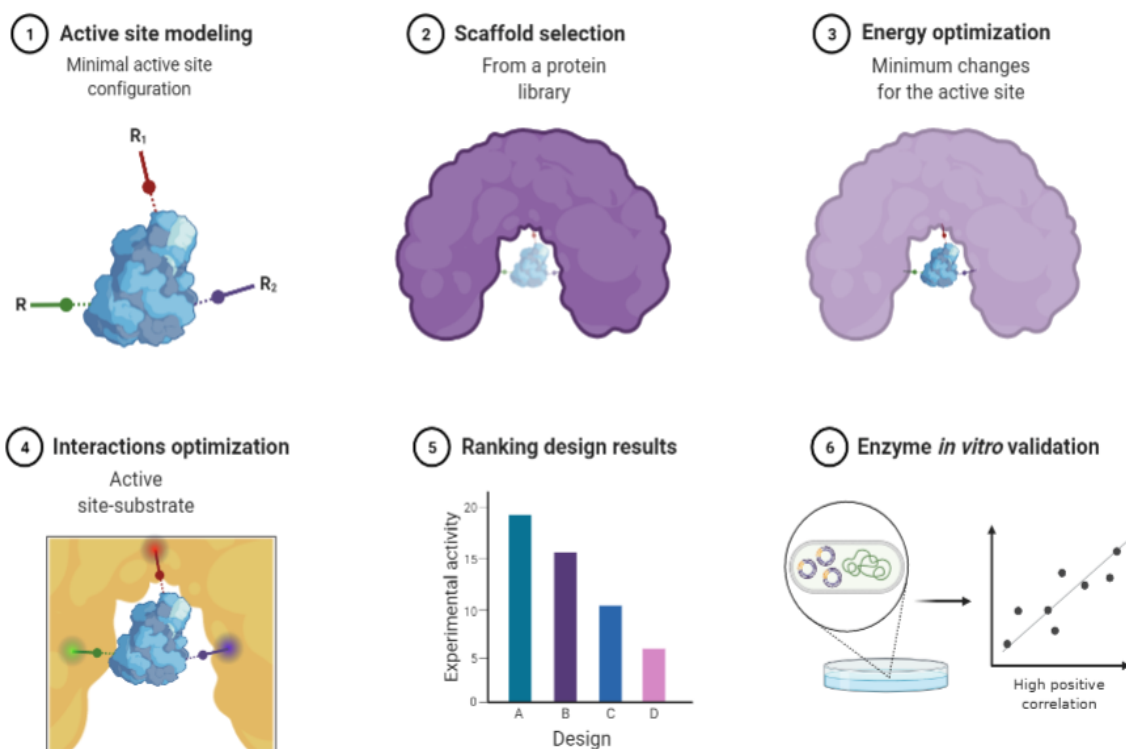


Figure 4. Computational enzyme design with de novo design [26]

2.1.2 Homology Modeling

In the homology modeling method by modeling tools, a predetermined protein structure is used as a template by XRC or NMR studies, and the 3D structure of the goal protein can be determined on this template, as shown in Figure 3. The 3D structure of proteins is crucial to understanding the biochemical function and interactions of the protein in detail. Thanks to this method, in which known nucleic acid sequences can be converted into protein sequences, the three-dimensional structure of the protein can be created. As a result, amino acid sequences can be modeled in a three-dimensional way based on protein structures whose models are known by experimental methods. In this way, a comparison of many proteins and mutation effects can be determined easily. As shown in Figure 5, there are many tools for homology modeling with different features. Table 1 has the details of these tools.

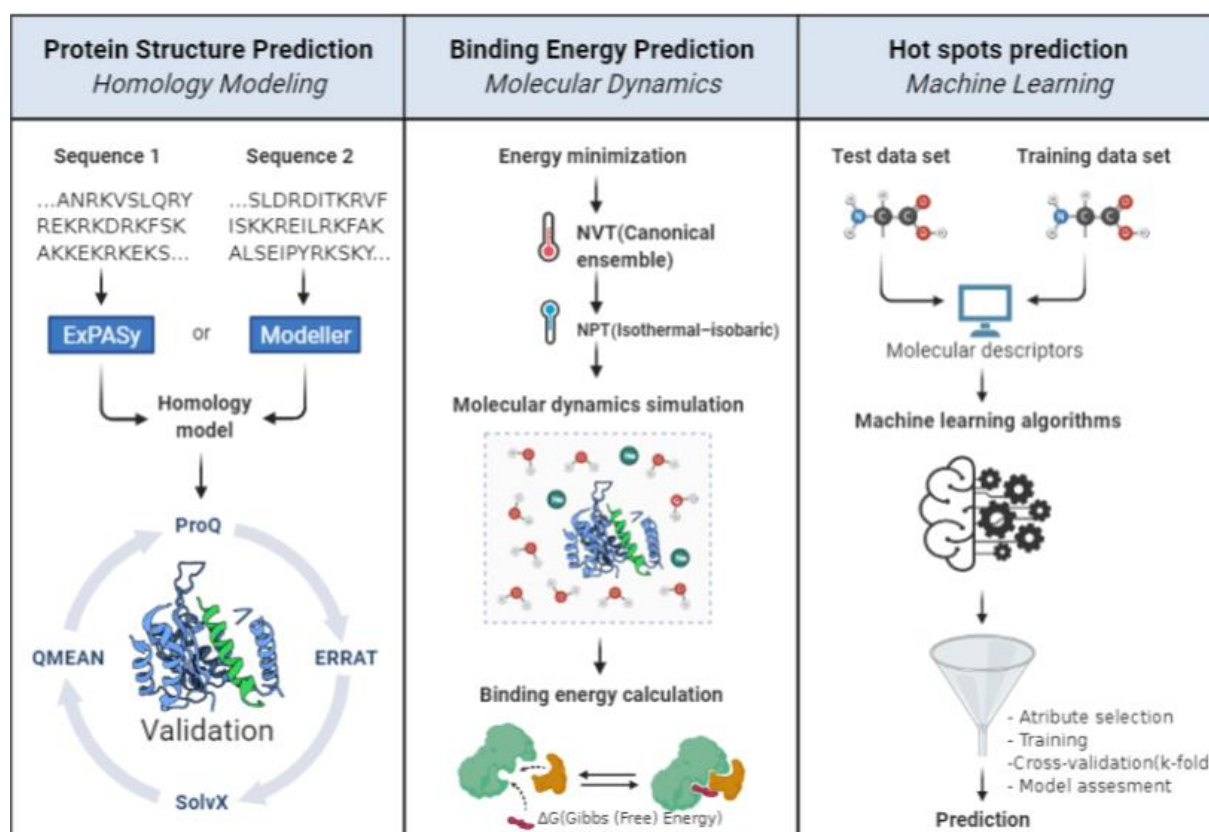


Figure 5. Protein homology modeling, binding energy calculation, and molecular hotspot detection are the three phases of the in-silico workflow [27]

Table 1. Tools used for Homology Modeling

Tools Name	Explanation	Reference
MODELLER	An example of how MODELLER can be used to create a comparison model for a protein with uncertain structure.	[28]
SwissModel	An update for the SWISS-MODEL, which provides automatic modeling and is used frequently in this field.	[29]
Mod Base	Mod Base performs the development and model calculation in the databases containing the sequence and structure of proteins and is regularly updated.	[30]
Phyre2	Phyre2 provides interpretations of the protein sequence and the second and third structure of the models, the domain of influence, and model quality.	[31]

2.1.3 Virtual Screening

Virtual screening (VS), which has an important place for the optimization of precursor drug targets with faster and more cost-effectiveness, is used in the exploration of bioactive molecules. This method allows the selection of substances with high biological activity properties specific to a relevant target in databases. In the first stage of the structure-based virtual scan, the three-dimensional information of the relevant target structure is examined from various aspects, and each compound found is placed in the target binding sites in a virtual way. There are also VS techniques that use a variety of ML methods to predict molecules with specified pharmacodynamic, pharmacokinetic, and toxicological qualities based on structural and physicochemical attributes generated from ligand structural features [32]. In this way, libraries with large data sizes are automatically evaluated through computational simulations, and the discovery process is accelerated. In addition, it is utilized to find new bioactive compounds. The goal here is to score the ligand-protein conjugation. At the end of the process of many features (chemical diversity and features, metabolic diversity, etc.), selected compounds are designed based on scoring.

A study on secondary metabolites of *Aspergillus ruber* and *Aspergillus flavus* and their biological activities, with data from the Web of Knowledge and PubMed, showed that fungal metabolites could offer new drug assets to combat cancer [33]. In another study aiming to identify secondary metabolites that potentially inhibit the main proteins of SARS-CoV-2, an in silico molecular docking analysis of several secondary metabolites of some Indonesian plant compounds, as well as other metabolites, with antiviral test histories, was conducted. Secondary metabolites of substances produced from some plants can be identified as possible agents for the treatment of SARS-CoV-2, according to the computed affinity values [34]. In a similar diabetes study, an α -glycosidase inhibitor candidate was selected from the database in a molecular insertion-based virtual scan, and its binding modes were investigated computationally. Significantly, however, these compounds did not appear to be toxic to the human normal fetal hepatocyte cell line (LO2), demonstrating the potential to become new candidates for the treatment of type 2 diabetes [35]. In recent studies, they applied mixed solvent molecular dynamics (MD) and time structure independent component analysis (TICA) to retrospective case studies on NPC2(NPC Intracellular Cholesterol Transporter 2), CECR2(Cat eye syndrome critical region protein 2) bromide domain, TEM-1(TEM-1 β -lactamase) and MCL-1(Myeloid leukemia 1). At the end of the study, they reported that in the case of NPC2, TEM-1 and MCL-1, the use of neutral features could identify cryptic pockets, but in the case of the CECR2 bromide domain, more specific features are required to properly capture a pocket opening [36]. In this way, it was revealed how docking work with parent ligands is critically dependent on the conformational state of the targets.

Based on the studies and their results, potential targets can be identified quickly with in silico VS to cut down on the amount of molecules that need to be assessed in vitro and in vivo. This will significantly reduce the economic costs of synthesis and biological assays in the development of pharmaceutical candidates.

2.2 Ligand-Based Drug Design

Some drug studies lack three-dimensional (3D) structures of potential drug targets. Ligand-based drug design (LBDD) is another popular approach to drug discovery. The relationships between the 3D structure of the targets and their activities, the pharmacophore (the group that is responsible for the biological effect in drug molecules and has the necessary properties for the initiation of the biological response by interacting optimally with the target site) relationships and the target-ligand interactions as in Figure 4 LBDD enters the field.

LBDD is a popular method for determining the characteristics of ligands that are important for their biological action when receptor structure fails. The nature of interactions required for the intended pharmacological response can be revealed by investigating the structural and physicochemical properties of ligands of a therapeutic target [37]. The approach can also anticipate novel chemical structures that have features that make it easier for the target molecule to interact with. There are various distinct techniques for performing ligand-based modeling, as described above. However, for the successful application of these methods to complex biological systems, a correct grasp of the theory behind the chosen method is strongly advised.

2.2.1 Quantitative Structure-Activity Relationship (QSAR)

QSAR analysis is a method developed by Hansch and Fujita (1964) and dates back 50 years [38]. Although initially this method was limited to simple regression methods, today it has diversified into virtual scanning (VS) and modeling of a vast amount of data containing thousands of different chemical structures and using a wide variety of ML techniques as indicated in Table 2 and Figure 6. New compound targeting is costly in high-throughput screening (HTS) platforms, so QSAR modeling has a significant impact in the synthesis and biological evaluation of compounds. QSAR models can be used for both target compound identification and target achievement optimization. With the QSAR method, the structure of neuraminidase, the amino acids in the binding region and the hydrogen bonding properties of amino acids, and the hydrogen bonds to be bonded with the ligand are shown [39]. The QSAR method used in the evaluation of small molecules in skin permeability showed that molecular weight and physicochemical properties on skin penetration should be interpreted together [40]. For the inhibitor discovery of the main protease (M pro) of SARS-CoV-2, which is proposed as

one of the major drug targets for COVID-19, QSAR models of the inhibitors were developed, and a virtual scan of all drugs in the DrugBank database was performed. These observations have been useful in guiding experimental research of supposed anti-COVID-19 drug candidates [41]. For several peptidomimetic compounds, the QSAR method was applied using various descriptors to examine the anti-MERS-CoV (Middle East Respiratory Syndrome Coronavirus) activities of HKU4-derived peptides. As a result of the study, it was seen that the QSAR model proposed by the MLR was statistically significant, and its estimation capacity was sufficient [42]. One study used molecular fingerprinting (MF) to represent ionic liquids (ILs) and merged with ML to develop QSAR models to predict the refractive index and viscosity of ILs. This research, which includes both ML and computational approach, has been a novel approach by providing theoretical support to rapidly developing reliable QSAR models to predict certain properties of ILs [43]. In some cases, large datasets are not available. This may hinder the development of QSAR models. In such cases, combined method studies are carried out. 30 QSAR models were created using two-dimensional descriptors and five ML methods in a research based on PPAR (peroxisome proliferator-activated receptor 9) binding affinity information gathered from various sources. As a result, it has been demonstrated that the produced datasets and regression models can be useful in assessing the deleterious effects of substances on PPAR γ [44]. Consequently, QSAR modeling and LBDD save time, effort, and cost in the discovery of target compounds and in directing target molecules, especially in the early stages of drug production. When QSAR studies are examined, it is seen that it is effective in the discovery of many promising leader candidates. Martina et al. They used databases such as BindingDB, Binding MOAD and PDBbind to calculate the binding affinity over the ligand information accessed in the databases and to evaluate the prediction performance of ML techniques combined with physical modeling. Specifically, for CDK2, the combination of supervised ML techniques and physical modeling shown greater accuracy in predicting protein-ligand binding affinity. These results appear to be theoretical support for the application of the scoring function space concept [45]. In another recent study, they reported that the engineered compounds were orally bioavailable and showed good drug candidates when they attempted to construct an in-silicone anti-tuberculosis model to predict the experimental activities reported via the Genetic Function Algorithm [46].

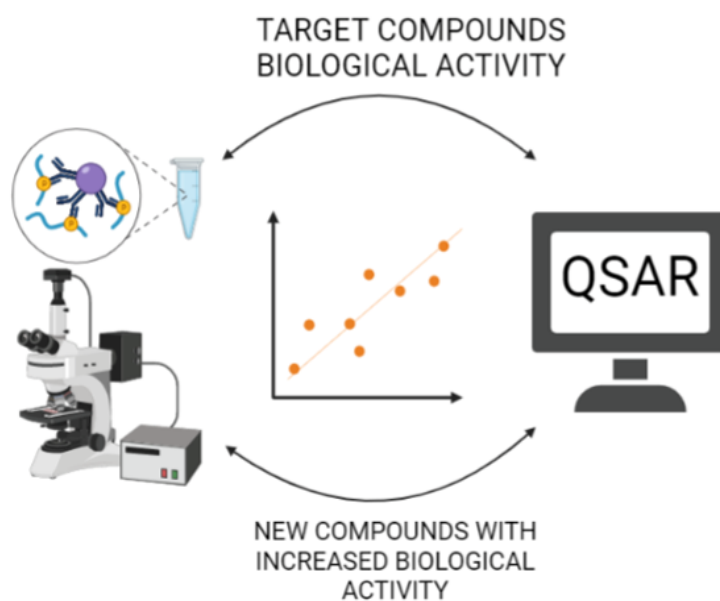


Figure 6. Computational discovery of compounds with enhanced biological activity

Table 2. Classification of 3D-QSAR Proceed Towards

Classification	Examples	Classification	Examples	Classification	Examples
3D QSAR based on ligands	GERM, CoMMA, SoMFA CoMSIA, ComFA, COMPASS	Alignment-dependent 3D QSAR	CoMSIA, ComFA, GERM, HIFA, CoRIA	3D linear QSAR	CoMSIA, ComFA, GERM, AFMoC, SoMFA
Receptor-based 3D QSAR	CoRIA, COMBINE, AFMoC and HIFA	3D QSAR without alignment	GRIND COMPASS, HQSAR, CoMMA, WHIM	Non-linear 3D QSAR	COMPASS, QPLS

2.2.2 Scaffold Hopping

The purpose of the scaffold hopping method is to determine the activation and property correlations between similar compounds with different structures [47]. In chemistry and drug design, it aims to find substitutes for the flat structure-activity relationship sequences (SARs) of compounds and synthetically difficult-to-access (natural) molecules [48]. A fragment-based deep learning strategy has been proposed to scaffold jumping towards the conserved hinge-binding motif of kinase inhibitors by the hopping method. On the side, scaffold hopping can be used to guide structural modification [49]. In an interesting case study, a new formulation was developed to generate similar hopping molecules inspired by the 3D conformations of target-associated candidate compounds. For the training of the model, more than 50 thousand models were curated based on features such as bioactivity and similar 3D structure. They also demonstrated that by fine-tuning a small collection of active chemicals, the model could be applied to additional target proteins. There has been a successful and promising study proving that a classical scaffold hopping method can be improved [50].

2.2.3 Pharmacophore Modeling

Ligand-based and structure-based strategies for pharmacophore modeling have been extensively developed and utilized in several virtual scans. When the structure of the target is unknown, ligand-based pharmacophore modeling (LBPM) is a useful technique for facilitating drug discovery. It's done by deducing common chemical properties from the known ligand's 3D structures, which describe the key interactions between ligands and this target. Despite significant progress in LBPM research, modeling ligand flexibility and molecular alignment remains a serious challenge [51]. SBPM (structure-based pharmacophore modeling) deals with the target's 3D structure directly. It entails analyzing and regulating the active site's chemical characteristics as well as these spatial interactions.

A major issue with this type of modeling is that too many chemical attributes might be provided for a single macromolecular target binding site. As a result, while creating the pharmacophore hypothesis, just a small number of chemical attributes must be chosen, although this is a challenging task. Another difficulty is that the pharmacophore theory is incapable of accounting for QSAR since it is based on a single macromolecule-ligand combination or a single macromolecule [51]. For bempegaldesleukin (NKTR-214), a clinical-stage biologic containing interleukin-2 (IL-2) protein-coupled by numerous releasable polyethylene glycol (PEG) chains, pharmacophore modeling was undertaken, and the kinetic control of its characteristics, as well as its immunological mechanism of action, were detailed [52]. They presented a multi-level review of caspase-3 complexes, the most promising target for slowing the apoptotic response, using a structure-based pharmacophore approach in another large-scale study, as shown in Figure 7, which is thought to be useful for therapeutic interventions in neuro and degenerative immune diseases. The caspase-3 small molecule inhibitor was evaluated in terms of its capacity to cover the dataset using the pharmacophore hypothesis, and a successful inhibitor design was achieved. The ideal construction models can now be better understood thanks to these investigations [53].

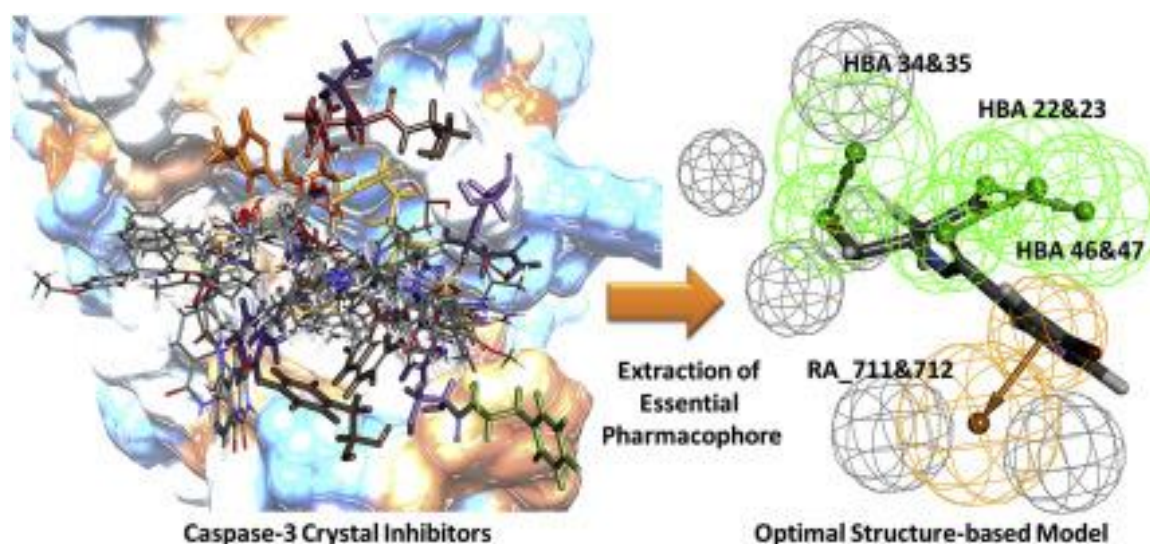


Figure 7. The crystal conformations of the ligands in the IGFW caspase-3 protein (A) and their appearance within the caspase-3 binding site are superimposed (B). The thick and thin bars represent amino acids and ligands in the caspase-3 subregions, respectively. S1-black, S2-red, S3-green, and S4-cyan label color schemes [53]

2.2.4 Pseudo Receptor Modelling

Pseudo receptors are receptor surrogates that mimic a host system that can form non-covalent bonds with molecules of a particular affinity. In pseudo receptor models, interaction sites in the ligand-receptor complex are first identified. After the interaction sites are identified, the coordinates of the model are optimized to accurately calculate the binding energy between the complex. In conclusion, pseudo receptor modeling represents models produced on previously known ligands. New ligand structures with alternative binding sites of similar potential are not found, as they do not represent true macromolecular binding sites. Therefore, pseudo receptor modeling studies should be handled and interpreted with care. This method is often used in the molecular design of small molecules targeting the macromolecule. Receptor matching or receptor mapping methods are two approaches used. After the identification of a pharmacophore pattern, an open binding pocket of the pseudo receptor is created for a bioactive confirmation of a set of ligands for a given receptor subtype [54].

As mentioned, the development of new therapeutic drugs is a time-consuming and expensive process. Thanks to CADD and in silico technologies, this period can be transformed into a positive situation in terms of resources and time. Thanks to the progress of computational algorithms and the increase in accumulated knowledge bases, computational prediction tools are actively used at all stages of the drug discovery period. CADD has developed drugs for many diseases, such as cancer, diabetes, viral infections, and bacterial infections [55]. Table 3 has samples of a few of these drugs.

Table 3. Some of the approved and reported drugs developed with CADD ways

Name of Drugs	Year reported or approved	Disease/drug target	Ref.
Selinexor (Xpovio)	Approved-2019	Oral Selective Inhibitor of Nuclear Export (SINE) to treat cancers	[56]
Zanubrutinib (Brukinsa)	Approved-2019	Mantle cell lymphoma could be cured with a small molecule Bruton's tyrosine kinase inhibitor	[57]
Erdafitinib (Balversa)	Approved-2019	To treat malignancies, a tiny chemical Fibroblast Growth Factor Receptor Inhibitor is used orally	[58]
Cladribine (Leustatin)(2-chloro-2'-deoxyadenosine [2-CdA])	Approved-2019	Cladribine, an adenosine deaminase inhibitor, is a treatment drug for hairy cell leukemia and B-cell chronic lymphocytic leukemia	[59]
Apalutamide (Erleada)	Approved-2018	Antagonist androgen receptor that nonsteroidal antiandrogen used to treat metastatic castration-sensitive prostate cancer	[60]
3,9-disubstituted eudistomin U derivative (compound 6p)	Reported-2018	<i>Staphylococcus aureus</i> DNA gyrase	[61]

3. DISCUSSION

Identifying different drug targets for various diseases and identifying therapeutic drugs in silico has made the drug discovery process more efficient and more accurate. With the knowledge of the basic mechanisms, such as the pathology of the diseases, the drug discovery process can be developed for many diseases by using these ML techniques. At the same time, CADD techniques can be used in the foreground to incorporate the flexibility and solvent properties of molecules, especially in molecular docking studies. With the fast advancement of computational technologies, the processing of biological data has also accelerated. CADD algorithms are promising in elucidating the biological functions of target molecules. The process of identifying drug candidates continues to evolve rapidly, thanks to structure-based and ligand-based methods. Determination of pharmacological properties such as absorption-distribution-metabolism-elimination and toxicity (ADMET) is very important for the development of a successful drug. Since the biological data created to illuminate these important points is increasing day by day, many ML models have been developed.

To date, CADD techniques have reached a large number of treatment methods and have cleaning options. In general, it can be designed for MD calculation and comprehensively designed to include and plan for MD calculation can be designed to be used in projects to the full potential of CADD.

Many drugs detected by CADD techniques have taken their place in the market and are presented to consumers. In pre-drug use, discovery in medicine has its own advantages and applications. The target disease in the study should be the most effective method according to the

target referral option. An AI-based computing line may swiftly scan virtual chemical libraries to discover preclinical candidates, as opposed to the original high-throughput screening process. The impact of AI is steadily growing with the increase in the pharmaceutical companies, academic line, start-ups, and AI-based R&D companies. While there is a tool to a purpose, the aids of AI can be used as an incentive to discover and design new compounds and their additional refinement. This method continues to help advance by automating the drug discovery procedure, reaffirming importance of big biological data.

The limitations and challenges, along with the advantages of AI-based technologies, still need to be overcome. Multiple 'V' qualities of big data, such as volume, speed, variety, and variability, necessitate comprehensive data curation and administration, as well as online portals with an accessible interface, despite the ease and frequency of data available to consumers [62]. Therefore, high-quality, and reliable compiled data is essential to gain insightful innovations. Although AI is steadily altering the drug discovery process by allowing for faster drug design approaches and reduced failure rates, a lack of properly curated data and data availability might be a roadblock. It also includes the difficulty in updating it continuously and quickly according to the algorithm. Although ML approaches are advancing rapidly, some things need to be thoroughly studied. Predicting protein conformational changes and the binding affinity between the therapeutic molecule and the target chemical are two examples. With the rapid transfer of DL technology, data coverage and quality can be improved. Even though these advanced techniques have excellent prediction accuracy and performance, deep learning remains a "black box" approach, with no obvious mechanism for tackling the problem. With explainable artificial intelligence (XAI) technology [63, 64] is aimed to overcome these limitations and transform into a white box. Thus, we can come to a position where we can see the background process in drug discovery more clearly. AI has modified the process nature of drug discovery and will soon become an important, integral tool in the pharmaceutical industry's search for new drugs, as well as their targets.

CONFLICTS OF INTEREST

No conflict of interest was declared by the authors.

DECLARATION OF ETHICAL CODE

In this study, the authors undertake that they comply with all the rules within the scope of the "Higher Education Institutions Scientific Research and Publication Ethics Directive" and that they do not take any of the actions under the heading "Actions Contrary to Scientific Research and Publication Ethics" of the relevant directive.

AUTHORS' CONTRIBUTIONS

Kevser Kübra KIRBOĞA: Writing-review and editing, visualization. Ecir Uğur KÜÇÜKSİLLE: Writing-review and editing, supervision.

REFERENCES

- [1] A. S. Rifaioglu, H. Atas, M. J. Martin, R. Cetin-Atalay, V. Atalay, and T. Doğan, "Recent applications of deep learning and machine intelligence on in silico drug discovery: methods, tools and databases," *Briefings in Bioinformatics*, vol. 20, no. 5, pp. 1878-1912, 2018, doi: 10.1093/bib/bby061.
- [2] B. S. Robinson, K. A. Riccardi, Y. F. Gong, Q. Guo, D. A. Stock et al., "BMS-232632, a highly potent human immunodeficiency virus protease inhibitor that can be used in combination with other available antiretroviral agents," *Antimicrobial agents and chemotherapy*, vol. 44, no. 8, pp. 2093-2099, 2000.
- [3] Z. Chen, Y. Li, E. Chen, D. L. Hall, P. L. Darke, C. Culberson, J. A. Shafer, L. C. Kuo, "Crystal structure at 1.9-Å resolution of human immunodeficiency virus (HIV) II protease complexed with L-735,524, an orally bioavailable inhibitor of the HIV proteases," *Journal of Biological Chemistry*, vol. 269, no. 42, pp. 26344-26348, 1994.
- [4] D. J. Kempf, K. C. Marsh, J. F. Denissen, E. McDonald, S. Vasavanonda, C. A. Flentge, B. E. Green, L. Fino, C. H. Park, X. P. Kong "ABT-538 is a potent inhibitor of human immunodeficiency virus protease and has high oral bioavailability in humans," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 92, no. 7, pp. 2484-2488, 1995.
- [5] A. Krohn, S. Redshaw, J. C. Ritchie, B. J. Graves, and M. H. Hatada, "Novel binding mode of highly potent HIV-proteinase inhibitors incorporating the (R)-hydroxyethylamine isostere," *Journal of medicinal chemistry*, vol. 34, no. 11, pp. 3340-3342, 1991.
- [6] A. C. Anderson, "The process of structure-based drug design," *Chemistry & biology*, vol. 10, no. 9, pp. 787-797, 2003.
- [7] E. E. Rutenber and R. M. Stroud, "Binding of the anticancer drug ZD1694 to E. coli thymidylate synthase: assessing specificity and affinity," *Structure*, vol. 4, no. 11, pp. 1317-1324, 1996.
- [8] J. Vamathevan, D. Clark, P. Czodrowski, I. Dunham, E. Ferran et al., "Applications of machine learning in drug discovery and development," *Nature reviews Drug discovery*, vol. 18, no. 6, pp. 463-477, 2019.
- [9] O. J. Wouters, M. Mckee, and J. Luyten, "Estimated Research and Development Investment Needed to Bring a New Medicine to Market, 2009-2018," *JAMA*, vol. 323, no. 9, pp. 844, 2020-03-03, doi: 10.1001/jama.2020.1166.
- [10] R. C. Mohs and N. H. Greig, "Drug discovery and development: Role of basic biological research," *Alzheimer's & Dementia: Translational Research & Clinical Interventions*, vol. 3, no. 4, pp. 651-657, 2017/11/01, doi: <https://doi.org/10.1016/j.trci.2017.10.005>.
- [11] Z. Omran and C. Rauch, "Acid-mediated Lipinski's second rule: application to drug design and targeting in cancer," (in eng), *Eur Biophys J.*, vol. 43, no. 4-5, pp. 199-206, May 2014, doi: 10.1007/s00249-014-0953-1.

- [12] C. M. Chagas, S. Moss, and L. Alisaraie, "Drug metabolites and their effects on the development of adverse reactions: Revisiting Lipinski's Rule of Five," *International Journal of Pharmaceutics*, vol. 549, no. 1-2, pp. 133-149, 2018-10-01, doi: 10.1016/j.ijpharm.2018.07.046.
- [13] C. A. Lipinski, "Lead- and drug-like compounds: the rule-of-five revolution," *Drug Discovery Today: Technologies*, vol. 1, no. 4, pp. 337-341, 2004-12-01, doi: 10.1016/j.ddtec.2004.11.007.
- [14] M. Congreve, R. Carr, C. Murray, and H. Jhoti, "A 'rule of three' for fragment-based lead discovery?," (in eng), *Drug Discov Today*, vol. 8, no. 19, pp. 876-7, Oct-1-2003, doi: 10.1016/s1359-6446(03)02831-9.
- [15] H. Jhoti, G. Williams, D. C. Rees, and C. W. Murray, "The 'rule of three' for fragment-based drug discovery: where are we now?," *Nature Reviews Drug Discovery*, vol. 12, no. 8, pp. 644-644, 2013-08-01, doi: 10.1038/nrd3926-c1.
- [16] J. Bajorath, "Computer-aided drug discovery," *F1000Research*, vol. 4, pp. 630, 2015, doi: 10.12688/f1000research.6653.1.
- [17] L. Shi and N. Zhang, "Applications of Solution NMR in Drug Discovery," *Molecules*, vol. 26, no. 3, pp. 576, 2021-01-22, doi: 10.3390/molecules26030576.
- [18] D. R. Knighton, C. C. Kan, E. Howland, C. A. Janson, Z. Hostomska et al., "Structure of and kinetic channelling in bifunctional dihydrofolate reductase–thymidylate synthase," *Nature Structural Biology*, vol. 1, no. 3, pp. 186-194, 1994/03/01, doi: 10.1038/nsb0394-186.
- [19] W. Lu, R. Zhang, H. Jiang, H. Zhang, and C. Luo, "Computer-Aided Drug Design in Epigenetics," (in English), *Frontiers in Chemistry*, vol. 6, 2018-March-12, doi: 10.3389/fchem.2018.00057.
- [20] L. A. Caliguri, J. J. McSharry, and G. W. Lawrence, "Effect of arildone on modifications of poliovirus in vitro," *Virology*, vol. 105, no. 1, pp. 86-93, 1980/08/01, doi: [https://doi.org/10.1016/0042-6822\(80\)90158-0](https://doi.org/10.1016/0042-6822(80)90158-0).
- [21] C. Mattos, B. Rasmussen, X. Ding, G. A. Petsko, and D. Ringe, "Analogous inhibitors of elastase do not always bind analogously," (in eng), *Nat Struct Biol*, vol. 1, no. 1, pp. 55-8, Jan 1994, doi: 10.1038/nsb0194-55.
- [22] M. A. Navia, P. M. Fitzgerald, B. M. McKeever, C. T. Leu, J. C. Heimbach et al., "Three-dimensional structure of aspartyl protease from human immunodeficiency virus HIV-1," (in eng), *Nature*, vol. 337, no. 6208, pp. 615-20, Feb 16 1989, doi: 10.1038/337615a0.
- [23] T. Blundell and L. Pearl, "Retroviral proteinases. A second front against AIDS," (in eng), *Nature*, vol. 337, no. 6208, pp. 596-7, Feb 16 1989, doi: 10.1038/337596a0.
- [24] M. Jaskolski, Z. Dauter, and A. Wlodawer, "A brief history of macromolecular crystallography, illustrated by a family tree and its Nobel fruits," (in eng), *Febs J.*, vol. 281, no. 18, pp. 3985-4009, Sep 2014, doi: 10.1111/febs.12796.
- [25] R. L. M. van Montfort and P. Workman, "Structure-based drug design: aiming for a perfect fit," (in eng), *Essays Biochem*, vol. 61, no. 5, pp. 431-437, Nov. 08.2017, doi: 10.1042/ebc20170052.
- [26] J. Damborsky and J. Brezovsky, "Computational tools for designing and engineering enzymes," (in eng), *Curr Opin Chem Biol*, vol. 19, pp. 8-16, Apr. 2014, doi: 10.1016/j.cbpa.2013.12.003.

- [27] S. Oña Chuquimarca, S. A.-Ruano, J. Goossens, L. Pauwels, A. Goossens et al., "The Molecular Basis of JAZ-MYC Coupling, a Protein-Protein Interface Essential for Plant Response to Stressors," (in English), *Frontiers in Plant Science*, vol. 11, 2020-August-20, doi: 10.3389/fpls.2020.01139.
- [28] N. Eswar, D. Eramian, B. Webb, M.-Y. Shen, and A. Sali, "Protein structure modeling with MODELLER," in *Structural proteomics: Springer*, pp. 145-159, 2008.
- [29] A. Waterhouse, M. Bertoni, S. Bienert, G. Studer, G. Tauriello et al., "SWISS-MODEL: homology modelling of protein structures and complexes," *Nucleic acids research*, vol. 46, no. W1, pp. W296-W303, 2018.
- [30] U. Pieper, N. Eswar, H. Braberg, M. S. Madhusudhan, F. P. Davis et al., "MODBASE: a database of annotated comparative protein structure models and associated resources," *Nucleic Acids Research*, vol. 34, no. suppl_1, pp. D291-D295, 2006, doi: 10.1093/nar/gkj059.
- [31] L. A. Kelley, S. Mezulis, C. M. Yates, M. N. Wass, and M. J. Sternberg, "The Phyre2 web portal for protein modeling, prediction and analysis," *Nature protocols*, vol. 10, no. 6, pp. 845-858, 2015.
- [32] X. H. Ma, J. Jia, F. Zhu, Y. Xue, Z. R. Li, and Y. Z. Chen, "Comparative analysis of machine learning methods in ligand-based virtual screening of large compound libraries," *Combinatorial chemistry & high throughput screening*, vol. 12, no. 4, pp. 344-357, 2009.
- [33] F. S. Youssef and A. N. B. Singab, "An Updated Review on the Secondary Metabolites and Biological Activities of *Aspergillus ruber* and *Aspergillus flavus* and Exploring the Cytotoxic Potential of Their Isolated Compounds Using Virtual Screening," *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, vol. 2021, pp. 8860784, 2021/01/31, doi: 10.1155/2021/8860784.
- [34] M. A. Gani, A. D. Nurhan, S. Maulana, S. Siswodihardjo, D. W. Shinta, and J. Khotib, "Structure-based virtual screening of bioactive compounds from Indonesian medical plants against severe acute respiratory syndrome coronavirus-2," (in eng), *J Adv Pharm Technol Res*, vol. 12, no. 2, pp. 120-126, Apr-Jun 2021, doi: 10.4103/japtr.JAPTR_88_21.
- [35] S. -K. Liu, H. Hao, Y. Bian, Y.-X. Ge, S. Lu et al., "Discovery of New α -Glucosidase Inhibitors: Structure-Based Virtual Screening and Biological Evaluation," (in English), *Frontiers in Chemistry*, vol. 9, 08.March.2021, doi: 10.3389/fchem.2021.639279.
- [36] F. Sabané Zariquiey, E. Jacoby, A. Vos, H. W. T. van Vlijmen, G. Tresadern, and J. Harvey, "Divide and Conquer. Pocket-Opening Mixed-Solvent Simulations in the Perspective of Docking Virtual Screening Applications for Drug Discovery," *Journal of Chemical Information and Modeling*, vol. 62, no. 3, pp. 533-543, 2022/02/14, doi: 10.1021/acs.jcim.1c01164.
- [37] M. J. Wasko, K. A. Pellegrine, J. D. Madura, and C. K. Surratt, "A Role for Fragment-Based Drug Design in Developing Novel Lead Compounds for Central Nervous System Targets," (in English), *Frontiers in Neurology*, vol. 6, 2015-September-11, doi: 10.3389/fneur.2015.00197.
- [38] C. Hansch and T. Fujita, " ρ - σ - π Analysis. A Method for the Correlation of Biological Activity and Chemical Structure," *Journal of the American Chemical Society*, vol. 86, no. 8, pp. 1616-1626, 1964/04/01, doi: 10.1021/ja01062a035.
- [39] G. B. Goh, N. O. Hodas, and A. Vishnu, "Deep learning for computational chemistry," (in eng), *J Comput Chem*, vol. 38, no. 16, pp. 1291-1307, 15. Jun. 2017, doi: 10.1002/jcc.24764.

- [40] C.-P. Chen, C.-C. Chen, C.-W. Huang, and Y.-C. Chang, "Evaluating Molecular Properties Involved in Transport of Small Molecules in Stratum Corneum: A Quantitative Structure-Activity Relationship for Skin Permeability," *Molecules*, vol. 23, no. 4, pp. 911, 2018. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1420-3049/23/4/911>.
- [41] V. M. Alves, T. Bobrowski, C. C. M.-Filho, D. Korn, S. Auerbach et al., "QSAR Modeling of SARS-CoV M(pro) Inhibitors Identifies Sufugolix, Cenicriviroc, Proglumetacin, and other Drugs as Candidates for Repurposing against SARS-CoV-2," (in eng), *Mol Inform*, vol. 40, no. 1, pp. e2000113, Jan 2021, doi: 10.1002/minf.202000113.
- [42] I. Hammoudan, S. Matchi, M. Bakhouch, S. Belaidi, and S. Chtita, "QSAR Modelling of Peptidomimetic Derivatives towards HKU4-CoV 3CLpro Inhibitors against MERS-CoV," *Chemistry*, vol. 3, no. 1, pp. 391-401, 2021. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2624-8549/3/1/29>.
- [43] Y. Ding, M. Chen, C. Guo, P. Zhang, and J. Wang, "Molecular fingerprint-based machine learning assisted QSAR model development for prediction of ionic liquid properties," *Journal of Molecular Liquids*, vol. 326, pp. 115212, 2021/03/15, doi: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.115212>.
- [44] Z. Wang, J. Chen, and H. Hong, "Developing QSAR Models with Defined Applicability Domains on PPAR γ Binding Affinity Using Large Data Sets and Machine Learning Algorithms," *Environmental Science & Technology*, vol. 55, no. 10, pp. 6857-6866, 2021/05/18, doi: 10.1021/acs.est.0c07040.
- [45] M. Veit-Acosta and W. F. de Azevedo Junior, "Computational Prediction of Binding Affinity for CDK2-ligand Complexes. A Protein Target for Cancer Drug Discovery," *Current Medicinal Chemistry*, vol. 29, no. 14, pp. 2438-2455, 2022, doi: 10.2174/0929867328666210806105810.
- [46] S. E. Adeniji, A. Ajala, and O. I. Areguamen, "QSAR Based Pharmacophore Modeling, Design, Molecular Simulation and Computational ADME/Pharmacokinetics Validation," Research Square Platform LLC, 2022.
- [47] N. Chen, J. Chen, B. Yao, and Z. Li, "QSAR Study on Antioxidant Tripeptides and the Antioxidant Activity of the Designed Tripeptides in Free Radical Systems," (in eng), *Molecules (Basel, Switzerland)*, vol. 23, no. 6, pp. 1407, 2018, doi: 10.3390/molecules23061407.
- [48] Y. Hu, D. Stumpfe, and J. Bajorath, "Recent Advances in Scaffold Hopping," *Journal of Medicinal Chemistry*, vol. 60, no. 4, pp. 1238-1246, 2017/02/23, doi: 10.1021/acs.jmedchem.6b01437.
- [49] X. Xiao, M. Lai, Z. Song, M. Geng, J. Ding et al., "Design, synthesis and pharmacological evaluation of bicyclic and tetracyclic pyridopyrimidinone analogues as new KRAS(G12C) inhibitors," (in eng), *Eur J Med Chem*, vol. 213, pp. 113082, 05.Mar.2021, doi: 10.1016/j.ejmech.2020.113082.
- [50] S. Zheng, Z. Lei, H. Ai, H. Chen, D. Deng, and Y. Yang, "Deep scaffold hopping with multimodal transformer neural networks," *Journal of Cheminformatics*, vol. 13, no. 1, pp. 87, 2021/11/13, doi: 10.1186/s13321-021-00565-5.
- [51] S. Y. Yang, "Pharmacophore modeling and applications in drug discovery: challenges and recent advances," (in eng), *Drug Discov Today*, vol. 15, no. 11-12, pp. 444-50, Jun 2010, doi: 10.1016/j.drudis.2010.03.013.



- [52] D. Charych, S. Khalili, V. Dixit, P. Kirk, T. Chang et al., "Modeling the receptor pharmacology, pharmacokinetics, and pharmacodynamics of NKTR-214, a kinetically-controlled interleukin-2 (IL2) receptor agonist for cancer immunotherapy," (in eng), *PLoS One*, vol. 12, no. 7, pp. e0179431, 2017, doi: 10.1371/journal.pone.0179431.
- [53] S. P. Kumar and P. C. Jha, "Multi-level structure-based pharmacophore modelling of caspase-3-non-peptide complexes: Extracting essential pharmacophore features and its application to virtual screening," *Chemico-Biological Interactions*, vol. 254, pp. 207-220, 2016/07/25, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2016.06.011>.
- [54] A. Vedani, P. Zbinden, and J. P. Snyder, "Pseudo-receptor modeling: a new concept for the three-dimensional construction of receptor binding sites," (in eng), *J Recept Res*, vol. 13, no. 1-4, pp. 163-77, 1993, doi: 10.3109/10799899309073653.
- [55] B. Shaker, S. Ahmad, J. Lee, C. Jung, and D. Na, "In silico methods and tools for drug discovery," *Computers in Biology and Medicine*, vol. 137, pp. 104851, 2021-10-01, doi: 10.1016/j.compbiomed.2021.104851.
- [56] Y. Y. Syed, "Selinexor: first global approval," *Drugs*, vol. 79, no. 13, pp. 1485-1494, 2019.
- [57] Y. Y. Syed, "Zanubrutinib: first approval," *Drugs*, vol. 80, no. 1, pp. 91-97, 2020.
- [58] A. Markham, "Erdafitinib: first global approval," *Drugs*, vol. 79, no. 9, pp. 1017-1021, 2019.
- [59] H. M. Bryson and E. M. Sorkin, "Cladribine," *Drugs*, vol. 46, no. 5, pp. 872-894, 1993/11/01, doi: 10.2165/00003495-199346050-00007.
- [60] Z. T. Al-Salama, "Apalutamide: a review in non-metastatic castration-resistant prostate cancer," *Drugs*, vol. 79, no. 14, pp. 1591-1598, 2019.
- [61] J. Dai, W. Dan, N. Li, and J. Wang, "Computer-aided drug discovery: Novel 3, 9-disubstituted eudistomin U derivatives as potent antibacterial agents," *European Journal of Medicinal Chemistry*, vol. 157, pp. 333-338, 2018.
- [62] M. K. Tripathi, A. Nath, T. P. Singh, A. S. Ethayathulla, and P. Kaur, "Evolving scenario of big data and Artificial Intelligence (AI) in drug discovery," *Molecular Diversity*, vol. 25, no. 3, pp. 1439-1460, 2021/08/01, doi: 10.1007/s11030-021-10256-w.
- [63] J. Jiménez-Luna, F. Grisoni, and G. Schneider, "Drug discovery with explainable artificial intelligence," *Nature Machine Intelligence*, vol. 2, no. 10, pp. 573-584, 2020/10/01, doi: 10.1038/s42256-020-00236-4.
- [64] B. Iswarya and K. Manimekalai, "Drug Discovery With XAI Using Deep Learning," in *Principles and Methods of Explainable Artificial Intelligence in Healthcare*, V. H. C. d. Albuquerque, P. N. Srinivasu, A. K. Bhoi, and A. G. I. Briones Eds. Hershey, PA, USA: IGI Global, pp. 131-149, 2022.



Derleme Makalesi / Review Article


Biyofarmasötik Keşif, Geliştirme ve Üretimin Güncel Paradigması Olarak Mikroorganizmaların Metabolik Mühendisliği: Sentetik Biyolojinin Katkıları

Metabolic Engineering of Microorganisms as the Current Paradigm of Biopharmaceutical Discovery, Development and Production: Contributions of Synthetic Biology

Esra GÜL ^{1,*}, Venhar ÇELİK ²

¹ Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, 44210, Malatya, Türkiye

² Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, 23119, Elazığ, Türkiye

 <https://doi.org/10.55007/dufed.1187305>

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihi

Alınış, 11 Ekim 2022

Revize, 30 Kasım 2022

Kabul, 09 Aralık 2022

Online Yayınlama, 27 Aralık 2022

Anahtar Kelimeler

Metabolik mühendisliği, Sentetik biyoloji, Biyofarmasötik, Mikroorganizma, Heterolog

ÖZ

Farmasötik endüstrisinde doğal bileşikler ve türevler önemli bir rol oynar. Ancak bu ürünlerin doğal konaktan izole edilmesindeki veya yeniden kimyasal olarak sentezlenmesindeki zorluklar, genellikle bunların bulunabilirliğini sınırlar, maliyeti yükseltir ve biyofarmasötik üretim sürecini yavaşlatır. Farmasötik metabolik mühendisliği, ilaçların ve ayrıca ilaç öncüllerinin keşif, tasarım ve üretiminde önemli bir rol oynamaktadır. Mikroorganizmaların daha yüksek titreler ve daha az maliyetle büyütülme kolaylığı nedeniyle küçük molekülü ilaçların heterolog olarak bir mikrobiyal konakta yüksek hızda, düşük maliyet ve yüksek verimle istikrarlı olarak üretilmesi, bitkiler gibi doğal konaklarda üretimine veya kimyasal sentezine göre giderek daha popüler bir alternatif haline gelmektedir. Metabolik mühendisliği, mikroorganizmalar, bitkiler ve hayvanlardaki belirli genetik farklılıkların fizyolojik sonuçlarını inceleyerek ve ayrıca genler ve hücre fonksiyonları arasındaki bağlantıları anlamak için matematiksel ve hesaplamalı yöntemler tasarlayarak yeni mikrobiyal hücre fabrikalarının geliştirilmesine ve mevcut endüstriyel organizmaların iyileştirilmesine olanak tanır. Mikroorganizmalardaki endojenik metabolik yollarla çeşitli heterolog biyosentetik yolların entegre edilerek yeni sentetik yolların tasarlanması, inşası ve optimizasyonu için sentetik biyoloji metodolojilerini kullanır. Metabolik olarak tasarlanmış organizmaların optimizasyonu, bu endojenik ve heterolog yolak proteinlerinin dengeli düzeylerde üretilmesinin iyi anlaşılmasını gerektirir. Böylece, metabolik mühendisliğinin uygulanması, tüm üretim sürecini hızlandırmayı amaçlayan heterolog mikroorganizmalarda büyük miktarlarda biyofarmasötiklerin verimli bir

**Sorumlu Yazar*

E-posta Adresleri: esra.oz@ozal.edu.tr(Esra GÜL), venharcelik@firat.edu.tr (Venhar ÇELİK)

şekilde üretilmesini sağlayabilir. Bu derleme çalışmasında biyofarmasötiklerin metabolik mühendisliği yaklaşımıyla mikrobiyal hücre fabrikalarında üretiminin tasarlanması, üretimi ve optimizasyon koşulları incelenmiştir.

ARTICLE INFO

Article History

Received, 11 October 2022

Revised, 30 November 2022

Accepted, 09 December 2022

Available Online, 27 December 2022

Keywords

Metabolic engineering, Synthetic biology, Biopharmaceutical, Microorganism, Heterologous

ABSTRACT

Natural compounds and derivatives play an important role in the pharmaceutical industry. However, difficulties in isolating or chemically resynthesizing these products from the natural host often limit their availability, increase costs, and slow down the biopharmaceutical production process. Pharmaceutical metabolic engineering plays an important role in the discovery, design and manufacture of drugs as well as drug precursors. Because of the ease with which microorganisms are grown at higher titers and less costly, the stable production of small molecule drugs heterologously in a microbial host at high speed, low cost, and high yield is becoming an increasingly popular alternative to their production or chemical synthesis in natural hosts such as plants. Metabolic engineering allows the development of new microbial cell factories and refinement of existing industrial organisms by examining the physiological consequences of certain genetic differences in microorganisms, plants and animals, as well as designing mathematical and computational methods to understand the links between genes and cell functions. It uses synthetic biology methodologies to design, construct and optimize new synthetic pathways by integrating various heterologous biosynthetic pathways with endogenous metabolic pathways in microorganisms. Optimizing metabolically engineered organisms requires a good understanding of the production of these endogenic and heterologous pathway proteins at balanced levels. Thus, the application of metabolic engineering can enable the efficient production of large quantities of biopharmaceuticals in heterologous microorganisms aimed at speeding up the entire production process. In this review study, the design, production and optimization conditions of the production of biopharmaceuticals in microbial cell factories with the metabolic engineering approach were examined.

1. GİRİŞ

Metabolik mühendisliği, sürdürülebilir kimya endüstrisine ulaşılmasında ve çeşitli kimyasalların ve malzemelerin üretimi için mikrobiyal hücre fabrikalarının geliştirilmesinde önemli roller üstlenmektedir. Mikroorganizmalar teorik olarak, metabolik ağlarında bulunan tüm metabolitleri üretebilirler, ancak doğal olarak oluşan bu kimyasalların birçoğunun, mikroorganizmaların kullanılarak üretilmesindeki verimlilik oldukça düşüktür. Ancak bunun aksine metabolik mühendisliği biyo-bazlı kimyasalların ve ilgilenilen diğer malzemelerin üretiminde üç ana performans endeksini (titre, verim ve verimlilik) geliştirmeyi mümkün kılmıştır. İstenilen kimyasalların ve materyallerin geliştirilmiş üretimi için metabolik mühendisliği sistemleri ile mikrobiyal suşların geliştirilmesine ilişkin başarılı örnekler giderek artmaya başlamıştır [1]. Metabolik mühendisliği, insanların ilgisini çeken belirli maddelerin üretimini artırmak için hücrelerdeki genetik ve düzenleyici süreçlerin optimizasyonunu ve belirli bir fenotip elde etmek için hücrelerin genetik yapısının değiştirilmesini sağlar [2]. Kimyasal bileşiklerin üretimi için mühendisliği yapılan biyosentetik yolların konak hücredeki hücresel metabolik

mekanizmaların kapsamlı optimizasyonunu gerektirir. Öncelikli olarak optimal bir tasarım belirlemek zor olduğu için, metabolik mühendisler genellikle biyokimyasal yolağın çok sayıda varyantını kurup değerlendirmelidirler. Örneğin; doğal hücreler nadir bulunan bir molekülü üretmek için optimize edilir ve bundan dolayı ekonomik olarak uygulanabilir üretimi sağlamak için, metabolit titresini, üretim hızı ve verimi iyileştirmek için konak hücre metabolizmasına kapsamlı değişiklikler yapmak gereklidir [3]. Bu bağlamda metabolik mühendisliği yaklaşımları, endüstriyel uygulamalar ve mikroorganizma tasarımı için kullanılmaktadır. Yüksek üretkenlik yeteneği ile geleneksel olmayan çevresel koşullar altında ve verimli şekilde işlev görebilecek suşların elde edilmesi mümkün görünmektedir [4].

Metabolik olarak tasarlanmış mikroorganizmalar tarafından ilaç üretimi, kimyasal sentez veya doğal kaynaklardan ekstraksiyona göre çeşitli avantajlara sahiptir. İlaç olarak kullanılan kimyasallar, genellikle kimyasal olarak sentezlenmesi oldukça zor olan kiralite dahil karmaşık yapılara sahiptir. Ayrıca, tıbbi açıdan değerli bileşiklerin doğal kaynaklardan üretilmesi genellikle verimsizdir ve kaynakları azaltarak ve üretilme alanını kirleterek çevre üzerinde olumsuz etkilere neden olabilir. Aksine, ilaçlar kontrollü ve tutarlı bir şekilde nispeten ucuz substratlardan mikrobiyal fermentasyon yoluyla üretilebilir. Mikrobiyal hücrelerin daha yüksek organizmalara kıyasla çok hızlı büyümesi, bir başka bariz avantajdır. Ayrıca, mikroorganizmaların metabolik mühendisliği, poliketidler ve ribozomal olmayan peptidler durumunda olduğu gibi, güçlü biyolojik aktivitelere sahip yapısal olarak daha çeşitli analogların üretimi için metabolik yolların modifikasyonuna izin veren memeli ve bitki hücrelerinden daha kolay gerçekleştirilebilir. Bu avantajlar, ilaçların ve ilaç öncüllerinin mikrobiyal üretimi için temel itici güçlerdir [5].

Farmasötik olarak kullanım için biyofarmasötikler olarak adlandırılan rekombinant proteinlerin üretimi, milyarlarca dolarlık bir endüstridir. Biyofarmasötiklerin üretimi için birçok farklı hücre fabrikası kullanılmaktadır [6]. Doğal ürünler ve doğal ürünlerden türetilen bileşikler, modern sağlık hizmetlerinde birçok hastalık için ön tedaviler ve kimyasal şekilde sentezlenmiş terapötikler için ilham kaynağı olarak önemli bir rol oynamaktadır. DNA dizileme ve rekombinant DNA teknolojisindeki ilerlemelerle, bu kimyasal olarak karmaşık ve farmasötik açıdan değerli bileşiklerin üretiminden sorumlu olan biyokimyasal yolların çoğu açıklığa kavuşturulmuştur. Sürekli genişleyen biyosentetik bileşenler araç takımı ile metabolik mühendisliği, doğal ürün titrelerini iyileştirmek ve yeni bileşikler oluşturmak için giderek daha güçlü bir alan haline gelmektedir. Heterolog üretim platformları, zor olan üretimden daha kolay olan üretime olan yollara erişim sağlamıştır; sistem biyolojisi ve metabolik modelleme araçları, tahmine dayalı ve analitik yeteneklerin artmasıyla sonuçlanmıştır; Ekspresyon sistemlerindeki ve düzenlemedeki ilerlemeler, artan verimlilik için yolların hassas ayarını mümkün kılmıştır ve bireysel yolak bileşenlerinin karakterizasyonu, yeni bileşiklerin üretimi için hibrit yolların yapımını kolaylaştırmıştır. Metabolik mühendisliğinin pek çok yönündeki bu ilerlemeler, yalnızca

büyüleyici bilimsel keşifler sağlamakla kalmamıştır, aynı zamanda onu doğal ürün biyosentezinin optimizasyonu için giderek daha uygun bir yaklaşım haline getirmiştir [7]. Ayrıca metabolik mühendisliğin mikrobiyal üretim suşuna (yani *Escherichia coli* ve *Saccharomyces cerevisiae*) uygulanması, metabolik mühendislerin hem endüstriyel hem de farmasötik faydalar için çeşitli sekonder metabolitlerinin aşırı üretmesini sağlar [8].

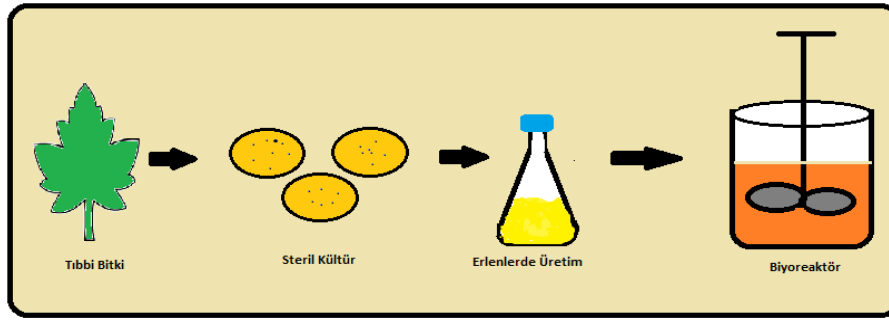
Bu derlemede, metabolik mühendisliği yaklaşımıyla biyofarmasötiklerin mikrobiyal hücre fabrikalarında üretiminin tasarlanması, üretimi ve optimizasyon koşulları araştırılmıştır. Metabolik mühendisliğinde doğal bileşiklerin kullanılmasıyla tasarım ve üretimde olası optimizasyon koşullarının oluşturulması için etkin olabilecek çözümler önerilmiştir.

2. İLAÇLARIN VE İLAÇ PREKÜRSÖRLERİNİN BİYOSENTEZİ: METABOLİK MÜHENDİSLİĞİ PARADİGMASI

Metabolik mühendisliği, rekombinant DNA ve diğer moleküler biyolojik teknikleri kullanarak hücrel metabolizmanın amaca uygun modifikasyonu olarak tanımlanabilir. Metabolik mühendisliği, metabolik ve hücrel sistemi bir bütün olarak ele alır ve buna göre, kendisini basit genetik mühendisliğinden ayıran genel biyoprosesin verimliliği dikkate alarak sistemin manipülasyonuna izin verir. Bunlara ilaveten diğer endüstriyel olarak faydalı kimyasallar gibi, ilaçlar da metabolik mühendisliğinin ana hedefi olmuştur. Örneğin, artemisinik asit, taksol öncülü ve benzilizokinolin alkaloidleri gibi tıbbi değeri olan bitki sekonder metabolitleri, metabolik olarak tasarlanmış mikroorganizmalar tarafından başarıyla üretilmiştir [5]. İlaç endüstrisi, farmakolojide mümkün olan en fazla sayıda, önemli olan maddeyi elde etmek için metabolik mühendisliğini kullanır. Ayrıca öncül ilaç da olabilirler. Öncül ilaç tasarımının temel amacı, su veya lipid membranlarda düşük çözünürlük, düşük hedef seçicilik, kimyasal kararsızlık, istenmeyen tat, lokal uygulama sonrası tahriş veya ağrı, sistem öncesi metabolizma ve toksisite gibi istenmeyen ilaç özelliklerini maskelemektir [9].

İlaç tasarımında doğal ürünler birincil kaynaklardır. Önceki yıllarda verilen raporlara göre, ilaçların %51'i doğal ürünlere dayalıyken, %49'u farmasötikler tarafından onaylandığı üzere sentetiktir. Doğal ürünlerden elde edilen farmasötikler, mikrobiyal olarak üretilen veya bitkiden ekstrakte edilen doğal bir ürünle başlayarak, daha sonra absorpsiyon, dağılım, metabolizma, atılım ve toksisite gibi kimyasal olarak yarı modifiye edilen terapötik özellikleri geliştirmek için sentezlenir [10]. İlaçlar, hastalığın önlenmesi ve tedavisi için gereklidir. İnsan hayatı, kanser, diyabet ve kronik rahatsızlıklar gibi birçok hastalık tarafından sürekli tehdit altındadır. Bu nedenle, ideal ilaçlar her zaman büyük talep görmektedir. İdeal ilaçların zorluklarını karşılamak için etkili bir ilaç geliştirme yöntemi talep edilmektedir [11]. Bütün bunlar tipik olarak ürün oluşumuna yol açan yeni metabolik yollar

oluşturarak ve gelişmiş ürün oluşumuna yönelik mevcut metabolik yolları zorlayarak veya kaldırarak elde edilir. Son zamanlarda sistem biyolojisi ve sentetik biyolojide, ilaçların ve ilaç öncüllerinin verimli üretimi için bir mikroorganizmanın optimal tasarımında tüm hücre düzeyinde metabolik mühendisliğinin gerçekleştirilmesine izin verilmiştir. Stratejik olarak modifiye edilmiş ilaçların mikrobiyal üretimi, FDA (Food and Drug Administration) onaylı ilaçların üretimini hızlandırma ve maliyetini düşürme kabiliyetine sahiptir [10].



Şekil 1. Metabolik mühendisliği yaklaşımı ile farmasötik bileşiklerin mikroorganizmalarda üretimi

Metabolik mühendisliği, bu ilaçların ve ilaç öncüllerinin üretiminde giderek daha önemli bir rol oynamaktadır (Şekil 1) [5]. Satish vd. [12] yaptıkları bir çalışmada, elisitörler, paklitaksel biosentezinde yer alan genlerin aşırı ekspresyonu ve daha yüksek miktarlarda paklitaksel üretmek için ektopik ekspresyon gibi moleküler mühendisliği stratejilerini incelemişlerdir. Redding-Johanson vd. [13] çalışmalarında, *E. coli*'de bir sıtma ilaç öncülü olan amorfadien'in biosentetik yolağındaki hız sınırlayıcı enzimlerini tanımlamak için hedeflenen proteomiklerin kullanımını tanımlamışlardır. Sarnaik vd. [14] yaptıkları bir çalışmada *Synechococcus elongatus* PCC 7942'de hem süpernatant hem de hücre biyokütlesinde mevcut olduğu farklı kültür koşulları altında önemli ölçüde heparosan üretimi sergilediğini göstermişlerdir. Basitrasin, esas olarak bir tür siklik dodekapeptid antibiyotiktir. Zhu vd. [15] yaptıkları çalışmada *B. licheniformis* DW2'de aspartik asit (Asp) akışını güçlendirerek basitrasin üretimini geliştirmek istemişlerdir.

3. İLAÇ FABRİKALARI OLARAK MİKROORGANİZMALAR

İstenen molekülün büyük ölçekli ve hatta laboratuvar ölçekli üretimi için kararlı, iyi huylu bir şasi (konak hücre) gereklidir. Minimal olmasına rağmen, bakteriyel konak önemli bir bilimsel ilgiye sahip olabilir, kimyasalların endüstriyel üretimi, özellikle ürün maliyetinin en fazla olduğu yakıtlar ve emtia kimyasalları kritik, basit, ucuz bir karbon kaynağından ve N, P, S ve benzerlerinin tuzlarından büyüme için tüm biyolojik makromolekülleri sentezleyebilen bir konak hücrenin kullanılmasını gerektirir. Minimal, ucuz karbon kaynakları üzerinde büyüeyebilen, sağlam, iyi karakterize edilmiş

organizmalar, muazzam pratik kullanımda olmuştur ve olmaya devam edecektir [16]. İlaç olarak kullanılan birçok kimyasal ve biyolojik molekül, mikroorganizmalarda, bitkilerde ve hayvanlarda bulunur. Bu ilaçlar çok az miktarlarda sentezlendiklerinden uygun miktarlarda elde edilmeleri güçtür. İşte burada metabolik mühendisliği devreye girmektedir. Çeşitli genetik ve analitik araçların geliştirilmesi ile birlikte bu ilaçların sentezi için metabolik yollar hakkındaki bilgilerimizde son gelişmeler, gelişmiş ilaç üretimi için mikroorganizmaların daha sistematik ve titiz mühendisliğini mümkün kılmıştır [5]. Böylece, mikroorganizmaları büyük miktarlarda aktif bileşik üretimi için optimize edilmiş hücre fabrikalarına dönüştürmeye odaklanan yeni metabolik yolları verimli bir şekilde tasarlamak mümkündür [17].

Endüstriyel biyoteknoloji hızla büyüyen bir alandır. Biyo-tabanlı bir ekonomiye doğru artan geçişle birlikte, yakıt, kimyasal, ilaç, malzeme, nutrasötikler ve hatta gıda bileşenleri üretebilen verimli hücre fabrikaları geliştirmeye yönelik artan talep olmuştur [18]. Rekombinant proteinler ve enzimler ile antikolar ve aşılarda önemli biyofarmasötiklerdir. Rekombinant somatostatin ve rekombinant insan insülini, bakterilerde ifade edilen ve Genentech tarafından ticarileştirilen ilk rekombinant terapötikler arasındaydı [19]. Nakagawa vd. [20] bir çalışmada, özel olarak hazırlanmış bir biyosentetik yola oluşturmak için seçilmiş enzimleri kullanarak basit karbon kaynaklarından bitki alkaloidlerini veren bir *Escherichia coli* fermentasyon sistemi geliştirmişlerdir. Badri vd. [21] yaptıkları çalışmada kondroitin sülfat (CS) üretimi için gerekli olan üç bileşenin tümünü (kondroitin, sülfat donörü ve sülfotransferaz) üretmek üzere *E. coli*'nin mühendisliğini yapmaktadırlar. Bu şekilde, sülfatlanmış disakkaritlerin yaklaşık %96'sı ile ~27 µg/g kuru hücre ağırlığında hücre içi CS üretimi elde etmişlerdir.

3.1 Prokaryotik Biosentez Platformu: *Escherichia coli*

Laboratuvarın temel konak hücresi –ya da diğer ifadelerle fabrikası veya şasisi- *Escherichia coli* gibi basit bir biyokatalizör bile tahmini 4603 gen, 2077 reaksiyon ve 1039 benzersiz metabolitten oluşan karmaşık bir sistemdir [22]. Gram-negatif bakteri olan *E. coli*, ayrıntılı olarak en çok çalışılan prokaryotik model organizmadır. 4.6 Mbp genomu, 4288 protein kodlayan genleri ve işlevi kanıtlanmış %85'i ile operonları ile çok iyi karakterize edilmiştir ve doğal ürün üretiminde birçok uygulamada kullanılmaktadır. *E. coli*, yakın zamanda başka bir çalışmada incelendiği gibi, terpenoidler, poliketidler, fenilpropanoidler ve alkaloidler dahil olmak üzere karmaşık doğal ürünler üretmek için başarıyla genetik olarak tasarlanabilmektedir. Birkaç isim vermek gerekirse, antibiyotik valinomisin, antikanser ilaç taksol öncülü taksadien ve morfin öncülü retikülin gibi karmaşık moleküller için üretim sağlanmıştır [23]. 1980'lerde biyofarmasötik endüstrisinin ortaya çıkmasından bu yana, *E. coli*, terapötik kullanım için rekombinant proteinlerin ve plazmid DNA'nın (pDNA) endüstriyel üretiminde önemli bir rol oynamıştır. Şu anda, rasyonel olarak tasarlanmış rekombinant proteinler ve viral vektör gen terapileri

dahil olmak üzere gelişmiş biyofarmasötik ürünler, uzun vadeli yönetim ve hatta hastalığın tedavisi için benzeri görülmemiş bir vaat sunmaktadır. Bu nedenle, *E. coli*, biyofarmasötik endüstrisi için önemli bir üretim konakçısı olmaya devam etmektedir [24]. *E. coli*, rekombinant protein üretimi (RPÜ) ve pDNA üretimi için en yaygın kullanılan, uygun maliyetli mikrobiyal “fabrika” olmaya devam etmektedir. Kabul görmüş protein terapötiklerinin üçte birinin üretilmesi için kullanılan konak hücreler, biyofarmasötik endüstrisinde glikosile edilmemiş rekombinant proteinlerin üretimi için ana iş gücü olarak kabul edilir. Moleküler biyoloji ve biyofarmasötik uygulamalardaki yaygın kullanımı, maliyet etkinliği ve ölçeklenebilirliği ile birleştirdiğinden dolayı, *E. coli* ayrıca terapötik pDNA üretimi için ana konak olarak seçilmiştir [24]. Örneğin; ilaç, gıda ve yem endüstrisi için önemli bir hammadde olan L-triptofanın *Escherichia coli* tarafından yüksek verimli üretimi büyük ilgi görmüştür [25]. Temel bir aromatik amino asit olarak L-fenilalanin (L-Phe), farmasötikler, yapay tatlandırıcılar vb. için öncüller olarak birçok uygulamaya sahiptir. Yapılan bir çalışmada büyük ölçekli biyoreaktörde L-Phe üretimi için ekonomik bir biyoproses geliştirmek üzere *E. coli* suşu geliştirmişlerdir [26]. Liu vd. (2021) yaptıkları çalışmada, retrobiyosentez analiz stratejisini kullanarak, yeni bir biosentetik yolak tasarlamışlardır ve glikozdan 3-fenilpropanolün de novo üretimini yapabilen rekombinant *E. coli* suşu tasarlamışlardır [27]. B12 vitamininin (adenosilkobalamin) bilinen tek kaynağı bakteri ve arkeadır. Yapılan bir diğer çalışmada, genetik ve metabolik mühendisliği kullanarak, tasarlanmış de novo aerobik biosentetik yolak yoluyla B12 vitamini üreten bir *E. coli* suşu oluşturmuşlardır [28]. Zhank vd. (2022) yaptıkları çalışmada shikimate yolunu genişleterek *E. coli*'de ucuz yenilenebilir karbon kaynaklarından salisin üretimini gerçekleştirmişlerdir [29]. Yapılan bir diğer çalışmada ise glikozu verimli bir şekilde bütül asetata dönüştüren, metabolik olarak tasarlanmış bir *E. coli* suşu geliştirilmiştir [30].

3.2 Ökaryotik Biosentez Platformu: *Saccharomyces cerevisiae*

Fırın mayası *Saccharomyces cerevisiae* çok iyi karakterize edilmiş bir ökaryotik model organizmadır. 12 Mbp'lik bir genom içeren ve 6049 proteini kodlayan 6275 gen ile %90'ının tanımlanmış bir fonksiyona sahip olduğu 16 kromozomu barındırır [23]. Mikroorganizmalar, geniş bir uygulama yelpazesine sahip çeşitli katma değerli bileşikler üretir. Çok sayıda mikroorganizma türü arasında maya, çeşitli biyomolekülleri sentezlemek için uzun süredir kullanılmaktadır. Bu biyomoleküller, biyotik ve abiyotik streslere karşı savunma, sinyal iletimi ve antimikrobiyal aktivite gibi çeşitli önemli biyolojik rollere sahiptir. Maya, mantar krallığına aittir ve tek hücreli ökaryotik bir mikroorganizmadır. İlk mayanın tanımlanmasından bu yana yaklaşık 1500 maya türü doğru olarak tanımlanmıştır. Maya türlerinin, tanımlanan tüm mantar üyelerinin %1'ini oluşturduğu rapor edilmiştir [31]. *S. cerevisiae*, insülin, aşı ve sıtma ilacı artemisininin dahil olmak üzere çeşitli ilaçların ticari üretimi için kullanılır. Ayrıca, *S. cerevisiae*, örneğin yaşlanma, nörodejeneratif hastalık, ilaç toksisitesi ve kanser üzerinde çalışılması için kullanılan bir hastalık modeli organizmadır. Örneğin, 4000'den fazla suştan

oluşan maya tek gen delesyon kütüphaneleri, büyük ölçekli birincil etkileşim alanlarını kullanarak sentetik öldürücü etkileşimleri bulmak için kullanılmış ve yeni kombinasyonel kanser tedavilerine ilişkin içgörüler ortaya çıkarmıştır. İlaç taraması alanında, *S. cerevisiae*, maya yüzeyi görüntüleme teknolojisini kullanan yeni antikör varyantlarını bulmak için başarıyla kullanılmıştır [23]. *S. cerevisiae*, kannabinoidler, noskapin ve monotermen indol alkaloidleri (MIA) yollarının yeniden oluşturulmasında kullanılan tipik bir ökaryotik konaktır [32]. Diosgenin (DSG), çeşitli biyolojik aktiviteleri olan ve aynı zamanda çeşitli steroidal ilaçların sentezi için önemli bir öncül olan doğal olarak oluşan bir steroidal saponindir. Xu vd. [33] yaptıkları çalışmada, diosgenin sentez yolağını optimize ederek, yolak gen ekspresyonunun ince ayarını yaparak ve rekabet eden yolakları kapatarak DSG aşırı üretimi için maya suşları geliştirmişlerdir. Meng vd. (2022) yaptıkları çalışmada modüler bir mühendislik stratejisi ile şekerden genistein üretmek için *S. cerevisiae*'yi tasarlamışlardır [34]. Yapılan bir diğer çalışmada ise, basit bir mineral ortam üzerinde *S. cerevisiae* mayasını tasarlayarak klorojenik asidin (CGA) ilk verimli mikrobiyal üretimi bildirilmektedir [35]. Bisquert vd. [36] yaptıkları çalışmada doğrudan glikoz gibi basit bir karbon kaynağından aşırı HT (hydroxytyrosol) üreten bir maya türü olan *S. cerevisiae* tasarlamayı amaçlamışlardır. Ayrıca Gao vd. [37] mühendislik ürünü *S. cerevisiae* kullanarak yüksek düzeyde fridelin üretebilen suşlar üretebilmek için, çoklu suşu başarıyla tasarlayan CRISPR/Cas9 teknolojisi ile endojenik yolak genlerinin genoma entegrasyonu ve inhibe edici genlerin devre dışı bırakılmasıyla kombine bir strateji kullanmışlardır.

Maya tarafından rekombinant proteinlerin üretimi, biyofarmasötik endüstrisinde hayati bir rol oynar. Bu nedenle, çeşitli biyofarmasötik proteinlerin aşırı üretimi için maya platformu suşlarının geliştirilmesi arzu edilir. Ancak bu hücrel mekanizma, özellikle protein ekspresyon yolları hakkında temel bilgi gerektirir [38].

4. İLAÇ ETKEN MADDELERİNİ ÜRETMEDE METABOLİK YOLAK TASARIMI VE İNŞASI

İlaç olarak kullanılan birçok kimyasal ve biyolojik molekül, mikroorganizmalarda, bitkilerde ve hayvanlarda bulunur. Bu ilaçlar çok küçük miktarlarda sentezlendiklerinden uygun miktarlarda elde edilmeleri güçtür. Bu noktada metabolik mühendisliği devreye girmektedir. Çeşitli genetik ve analitik araçların geliştirilmesi ile birlikte bu ilaçların sentezi için metabolik yollar hakkındaki bilgilerimizdeki son gelişmeler, gelişmiş ilaç üretimi için mikroorganizmaların daha sistematik ve titiz mühendisliğini mümkün kılmıştır [5]. Yerli konaklarda ilaç üretmeye kıyasla, iyi çalışılmış bir heterolog konak daha ucuz hammadde kullanır, daha sağlamdır, büyümesi daha kolaydır ve yüksek üretim elde etmek için verimli genetik modifikasyona izin vermek için iyi tasarlanmış genetik araçlardan oluşan bir panele sahiptir. Küçük molekülü ilaçların kimyasal sentezi ile karşılaştırıldığında, heterolog bir konakta

üretim, tehlikeli çalışma koşulları kullanılmadan genellikle daha az maliyetlidir ve potansiyel olarak daha yüksek enantiyo seçicilik sağlayabilir [39]. Bu bağlamda metabolik mühendisliği, yenilenemeyen kaynaklardan veya sınırlı doğal kaynaklardan elde edilen çok sayıda kimyasal basit, hazır, ucuz başlangıç malzemelerinden üretme potansiyeline sahiptir. Doğal ürünlerin mikrobiyal üretimi, ürüne özgü enzimlerin veya tüm metabolik yolların nadir veya genetik olarak dirençli organizmalardan kolayca tasarlanabilenlere aktarılmasıyla elde edilmiş ve enzimlerin birleştirilmesiyle veya farklı konak hücrelerden tek bir mikroorganizmaya giden yollar ve enzimlerin yeni işleve sahip olmasıyla doğal olmayan özel kimyasalların, bazı moleküllerin üretimi mümkün olmuştur [16]. Son birkaç yılda, doğal ürünlerden, özellikle sekonder metabolitlerden ilaç keşfinde hızlı bir artış olmuştur. Artan küresel pazar talebini karşılamak için bu sekonder metabolitlerin üretim sistemini geliştirmek ve optimize etmek için çeşitli çabalar üstlenilmiştir [31]. Son zamanlarda, küçük molekül ilaçlardan ikisi, artemisinik asit ve opioidler, eksojen genler (heterolog) ve yan yolların öncül molekül (prekürsör) arzını artırmak ve azaltmak gibi metabolik mühendisliği tekniklerinin bir kombinasyonu kullanılarak *S. cerevisiae*'da başarıyla üretilmiştir [39].

Metabolik mühendisliği, yenilenebilir kaynaklardan elde edilen kimyasalların ve malzemelerin mikrobiyal fabrikaları olarak kullanımları için uygun suşlar geliştirmemizi sağlamıştır. Geliştirilmekte olan suşta istenen ürünlere metabolik akışları maksimize eden yeni ve hassas kontrollü metabolik ve düzenleyici devreler yaratmamıza izin veren gelişmiş sentetik biyoloji ile yakın zamanda daha güçlü hale gelmiştir. Bu, konak mikroorganizmaları, doğuştan gelen metabolik yeteneklerini geliştirmek veya hedef bileşiklerin üretiminde yeni yetenekler kazandırmak için tasarlamamızı sağlar [40]. Küçük molekül ilaçların üretimi için heterolog bir konak mühendisliğinin ilk adımı, ilaç sentez genlerini endüstriyel bir mikroorganizmaya aktarmaktır. Bazı ilaçlar için biyosentetik yollar iyi çalışılmışken, diğer birçok durumda metabolik yolak veya biyosentetik yolla ilişkili fonksiyonel enzimler bilinmiyordu. Bu nedenle, heterolog bir konakta eksprese edilecek doğru yolak proteinlerinin belirlenmesi, küçük molekül bir ilacın üretimi için metabolik mühendislikteki en önemli adımlardan biridir [39].

Mühendisliğin gelişmesiyle birlikte, Genentech, *Escherichia coli* tarafından rekombinant insan insülini üretimi için bir süreç geliştirmiştir ve bu, 1982'de Eli Lilly tarafından ilk biyofarmasötik olarak pazarlanmıştır. O zamandan beri, biyoteknolojiye dayalı ilaç üretimi hızla büyümüş ve 2015 yılında 176,9 milyar ABD Doları tutarında küresel bir biyofarmasötik pazarı ve 2021 yılına kadar yıllık %8,6 büyüme oranı oluşturmuştur [38]. İlaçların nihai formlarında üretilmesi en çok arzu edilen olsa da, ilaç öncül moleküllerinin biyosentezi de bazı durumlarda deneysel ve ekonomik olarak tercih edilir. Mikrobiyal olarak üretilen ilaç öncül moleküllerinin kimyasal dönüşümünü nihai formuna getirmenin yolları varsa, öncülün üretimi zaten değerlidir. Metabolik olarak tasarlanmış *Saccharomyces*

Cerevisiae'da üretilen artemisinik asit bu durumlardan biri olabilir; sıtma önleyici ilaç artemisinin bir öncülüdür ve kimyasal olarak iki indirgeme ve oksidasyon adımıyla nihai forma dönüştürülebilir. Böylece, biyolojik olarak üretilen öncül molekül kullanılarak yüksek verimli artemisinin üretimi mümkündür [5]. Mikrobiyal konak organizmalara heterolog biyosentetik yollar tanıtmak için metabolik mühendisliği, yalnızca “doğal” ürünlerin üretimi için değil, aynı zamanda yolları aydınlatması ve biyokimyasal enzimatik araştırma için de değerli bir yöntem sunar. Varsayılan, rekombinant olarak birlikte eksprese edilen biyosentetik enzimler için substratlar olarak uygun öncüllerin *in vivo* üretimi, ortaya çıkan ürünün karakterizasyonu ile birleştiğinde, enzimatik spesifikliğı ve dolayısıyla metabolik yollardaki rollerini araştırmak için bir araç sağlar. Çeşitli organizmalardan ortaya çıkan genomik diziler, kodlanmış çok yönlü metabolizmayı işlevsel olarak araştırma ihtiyacını vurgular. Herhangi bir metabolik mühendisliğı çabasının merkezinde, kayda değer karbon akışını merkezi metabolizmadan istenen heterolog son ürünlere yönlendirme yeteneğı vardır [41]. Doğal ürünlerin en büyük ailesi, izopentenil difosfat (IPP) ve dimetilalil difosfat (DMAPP) öncüllerinden türetilen çeşitli sayıda beş karbon izopren biriminden oluşan terpenoidler veya izoprenoidlerdir (>40.000). Doğada, IPP ve DMAPP'ye giden iki yol vardır, metil eritritol fosfat (MEP) ve mevalonik asit (MVA) yollarıdır. Esas olarak ökaryotlarda bulunan MVA yolağı asetil-CoA ile başlarken, prokaryotik ve bitki plastid MEP yolağı, gliseraldehit-3-fosfat ve piruvatın yoğunlaştırılmasıyla başlatılır [41,42]. Prokaryotlar, bazı istisnalar dışında, piruvat ve gliseraldehit-3-fosfat arasındaki ilk kondenzasyon reaksiyonu yoluyla IPP ve DMAPP üretmek için MEP yolunu kullanır [42]. Doğal ürünlerin mikrobiyal üretimi, ürüne özgü enzimlerin veya tüm metabolik yolların nadir veya genetik olarak dirençli organizmalardan kolayca tasarlanabilenlere aktarılmasıyla elde edilmiş ve enzimlerin birleştirilmesiyle doğal olmayan özel kimyasalların yakıtların üretimi mümkün olmuştur [43].

Kimyasalların, yakıtların ve ilaçların üretimi için metabolik mühendisliğı, tipik olarak, gelişmiş üretkenlik için hücrel metabolizmanın kapsamlı modülasyonunu gerektirir. Gen silme, aşırı ekspresyon ve hassas düzenleme dahil olmak üzere çeşitli genetik modifikasyon türlerini tanıtmak için genom mühendisliğı, yollar verimliliğini ve ürün verimini iyileştirmek için gereklidir [44]. Endüstriyel olarak faydalı kimyasallar gibi, ilaçlar da metabolik mühendisliğin ana hedefi olmuştur. Artemisinik asit, taksol öncülü ve benzilzokinolin alkaloidleri gibi tıbbi değeri olan bitki sekonder metabolitleri, metabolik olarak tasarlanmış mikroorganizmalar tarafından başarıyla üretilmiştir. İnsan insülininin rekombinant *Escherichia coli* tarafından üretilmesi, basit rekombinant DNA teknolojisinin bir sonucu olarak kabul edilir, ancak mikroorganizmaların metabolik ve hücrel mühendisliğı ile büyük terapötik değere sahip daha karmaşık proteinler de üretilir. Metabolik mühendisliğı tarafından yapısal ve işlevsel olarak çeşitli antibiyotiklerin geliştirilmesi, ortaya çıkan ilaca dirençli patojenlere karşı savaşmak için büyük önem taşımaktadır [5].

4.1 Mikrobiyal Biyokatalizi Yeniden Tasarlama

Metabolik ve enzim mühendisliği araçları akademik çalışmalar için laboratuvarlarda iyi bir şekilde geliştirilmiştir ve farmasötik açıdan önemli moleküllerin geniş bir yelpazesinin üretiminde kullanılan biyokatalizörlerin optimizasyonu için uygulanmaktadır. Çok çeşitli modifiye edilmiş veya doğal olmayan enzim aktivitelere sahip tasarlanmış mikroorganizmalar hem yeni ürünler üretmek hem de öncüllerin, ara ürünlerin ve hayati önem taşıyan bileşiklerin üretimi gibi yerleşik ürünlerin üretiminde gelişmiş prosesler sağlamak için kullanılmaktadır [45].

Yeni mikrobiyal biyokatalizörler, esas olarak sentetik parçalar kullanılarak *E. coli* ve *S. cerevisiae* gibi platform organizmalarının genomlarının yeniden inşa edilmesi yoluyla, sentetik biyoloji yaklaşımları kullanılarak geliştirilmektedir. Bu, sentetik bir hücre durumunda olduğu gibi metabolizmayı toplam genom ölçekli mühendisliğine dönüştüren basit genetik değişiklikler olabilir. *E. coli* ve *S. cerevisiae* genetik manipülasyon kolaylığı ve büyük miktarda fizyolojik bilginin mevcudiyeti nedeniyle genetik ve metabolik mühendisliği için tercih edilir [46]. Doğal ürünler insanlar için geniş bir farmakolojik aktivite yelpazesine sahiptir. Bununla birlikte, orijinal organizmalardan doğal ürünlerin çıkarılması, genellikle mevsim ve bölge sınırlamaları olan büyük ekim ve üreme kaynakları gerektirir. Bu nedenle, doğal ürünlerin *in vitro* veya model mikroorganizmalarda heterolog biyosentezi daha umut verici bir yoldur ve yıllardır bir araştırmanın temel noktası olmuştur. Halihazırda, doğal ürünler için heterolog yolların kullanımı hala esas olarak orijinal konaklarda bulunan biyosentetik yolları kopyalamaktadır. Bununla birlikte, orijinal konak organizma ve hücre içi ortamdaki enzim ekspresyonu ve koenzim/enerji döngülerinin bağımlılığı nedeniyle, aynı sentetik yolun model mikroorganizmalarda veya *in vitro* olarak kopyalanması zordur [47]. Bu nedenle, biyokimya ve organik kimya bakış açısından bazı optimizasyon stratejileri bulunmaktadır. Bunlar ; (i) yeni enzim araçları sağlamak için iyi çalışılmış katalitik ve etkileşim mekanizmaları ile orijinal metabolik yollarda yeni enzimlerin ve protein etkileşimlerinin keşfi dahil sentetik yolak tasarımı, (ii) doğal sentetik yollardaki enzimlerin mikroorganizmalardan türetilen izoenzimlerle ikame edilmesi, (iii) doğal sentetik yolların mikrobiyal bozunma yolları ve yapay enzimatik kaskadlarla değiştirilmesi, (iv) yapay koenzim rejenerasyon yollarının tasarımı ve (v) Aktivitelerini, özgüllüklerini, substrat kapsamını ve ekspresyon seviyesi ve stabilitesini geliştirmek için rasyonel tasarım ve/veya yönlendirilmiş evrim ile anahtar enzimlerin protein mühendisliğiyle birlikte [48] ancak bunlarla sınırlı olmamak üzere yaygın olarak kullanılmaktadır [47].

Spesifik ve hacimsel üretkenlik, biyokatalizör potansiyelinin iki önemli ölçüsüdür ve ikincisi endüstriyel üretim için özellikle önemlidir. Spesifik üretkenlik, bir mikrobiyal biyokatalizörün şekerleri veya diğer substratları istenen ürüne dönüştürme hızıdır. Bir ürünün hacimsel üretkenliği, mikrobiyal biyokatalizörün spesifik üretkenliği ve birim hacim başına hücre konsantrasyonu ile belirlenir. Daha

yüksek hücre yoğunluğu, tüm spesifik üretkenlik seviyelerinde daha yüksek hacimsel üretkenliğe yol açtığından, yüksek büyüme oranı ve hücre verimini desteklemek için koşulların optimize edilmesi önemlidir [46].

On yıllar boyunca, farmasötik maddeler giderek daha karmaşık hale gelmiştir ve yeşil teknolojiler için kamu ve çevre üzerinde arayışlar artmıştır. Bu nedenle endüstri, geleneksel kimyasal katalize alternatif olarak düşük maliyetli, daha güvenli ve daha yeşil biyokatalitik süreçler arayışı içerisinde. Farmasötiklerin sentezinde, kiral amin sentezi, kompleks moleküllerin stereo ve bölgeye özgü hidroksilasyonu ve diğer redoks reaksiyonları dahil olmak üzere, biyokataliz ile değiştirilebilen spesifik reaksiyonlar tanımlanmıştır [48]. Yeni ve geliştirilmiş özelliklere sahip biyokatalizörler, endüstriyel talebi karşılamak için esasen önemlidir. Halihazırda güçlü biyokatalizörlere büyük talep olmuştur ve yüksek değerli kimyasal sentez için daha yeşil alternatifler olarak kabul edilmektedir. Hedef bölgeye yönelik mutajenez (site-directed mutagenesis) ve protein mühendisliği gibi çeşitli teknolojiler aracılığıyla doğal biyokatalizörün biyomühendisliği için birkaç başarılı ilerleme kaydedilmiştir [49].

4.2 Sentetik Yolakların Mikrobiyal Tasarımı, İnşası ve Optimizasyonu

Metabolik mühendisliği, yenilenebilir kaynaklardan elde edilen kimyasalların ve malzemelerin mikrobiyal fabrikaları olarak kullanımları için uygun suşlar geliştirmemizi sağlamıştır. Geliştirilmekte olan suşta istenen ürünlere metabolik akışları maksimize eden yeni ve hassas kontrollü metabolik ve düzenleyici devreler oluşturmamıza izin veren gelişmiş sentetik biyoloji ile yakın zamanda daha güçlü hale gelmiştir. Bu durum, konakçı mikroorganizmaların, doğuştan gelen metabolik yeteneklerini geliştirmek veya hedef bileşiklerin üretiminde yeni yetenekler kazanmak için tasarlamamızı sağlamıştır [33]. Birçok madde için kanıtlama sistemiyle elde edilen kapsamlı başarıya rağmen, endüstriyel olarak ilgili titreler, verimler ve üretkenliklere ulaşmak için hala optimizasyona ihtiyaç vardır. Metabolik yolak optimizasyonu ve dengeleme alanı, bu ihtiyacı bilimsel ve sistematik bir yaklaşımla karşılamak için oluşturulmuştur [50]. Metabolik ağ oluşturma yöntemimizin iki ana adımı vardır: (1) başlangıç ana yollarını oluşturmak için genleri referans yollara eşlemek ve (2) gen ekspresyonu verilerine ve gözlemlenen ilişkilere ve reaksiyonlara dayalı olarak başlangıç yollarının genişletilmesi ve rafine edilmesi [51].

Heterolog enzimlerden oluşan sentetik bir metabolik yolak oluşturulduğunda ve bir konak suşa dahil edildiğinde, genellikle metabolik akışları kontrol eden düzenleyici mekanizmalardan yoksundur [33]. Bu ürünlerin endüstriyel üretim için gerekli titreleri, verimleri ve üretkenlikleri elde etmek için üstesinden gelmesi gereken birçok zorluk vardır. Bu ihtiyaçları karşılamak için rekombinant mikroorganizmaların kullanılması metabolik mühendisler için bir sonraki adımdır [52]. Mikrobiyal konaklarda biyosentetik yolların fonksiyonel ifadesinin gösterilmesi, temel bir ilk adımdır, ancak

endüstriyel üretime hazır suşlar elde etmek genellikle yeterli değildir. Tipik olarak, ilgilenilen ürüne doğru metabolik akışı artırmak ve yan ürünleri en aza indirmek için endojen genleri aşırı eksprese ederek, ekspresyonu düşürerek, mutasyona uğratarak veya silerek doğal metabolizmayı yeniden düzenlemek de gereklidir. Tasarlanmış metabolizmayı doğal konak fizyolojisi ile uyumlu hale getirmek, sağlam ve yüksek verimli suşların gelişimi için de çok önemlidir. Aşırı eksprese edilen biyosentetik yollar, mikrobiyal konak için olumsuz etkilere (örneğin toksik) veya olumlu etkilere (örneğin enerji sağlama) sahip olabilir. Tersine durum, doğal fizyolojiyi (örneğin, zayıf substrat asimilasyonu) veya faydalarını (örneğin, ilgili biyosentetik yolağa bol miktarda kofaktör temini veya aşırı koşullara tolerans) engeller. Bu nedenle, metabolizma ve konak fizyolojisi arasındaki etkileşimleri tanımak ve manipüle etmek, yüksek verimli suşlar için gereken sağlamlığı, üretkenliği ve nihayetinde genel performansı elde etmenin anahtarıdır [53]. Küresel metabolik akış dağılımının yanı sıra, nispeten düşük doğal katalitik aktiviteye sahip olabilen veya diğer enzimlere kıyasla daha düşük bir seviyede eksprese edilebilen bir hız kontrol edici (darboğaz) enzimin varlığından dolayı aynı yolda, sonuç olarak üretkenliği azaltan sentetik yolda akış dengesizliği gözlemlenebilir. Farklı promotör gücüne sahip alternatif bir protein ekspresyon kasetinin kullanılması, protein üretimini kontrol etmek için yaygın olarak kullanılan bir yaklaşımdır, ancak protein kodlama sekansı tarafından ribozom bağlanma bölgesindeki ikincil yapının değiştirilmesi nedeniyle genellikle beklendiği gibi çalışmaz. Yapı değişikliği, ribozom bağlama veriminin artması veya azalması ile sonuçlanır ve böylece mRNA translasyonunun verimini etkiler [33]. Sentetik biyomühendislik, tekrar eden bir tasarım, inşa, test etme ve öğrenme döngüsünü içerir ve hedef maddeyi üretmek için çok sayıda düşünce vardır. Bununla birlikte, heterolog genler kullanılarak anahtar reaksiyonun ilerlemesi için, göz önünde bulundurulması gereken önemli bir nokta, enzimatik aktiviteye sahip heterolog proteinlerin kararlı ifadesidir [54]. Örneğin, Park vd. [55] yakın zamanda, haşhaş hücrelerinde berberin köprüsü enziminin antisens baskılanmasını, benzoferantridin alkaloidlerinin miktarını azaltarak, ancak birkaç amino asit seviyelerini artırdığını göstermiştir. Antikanser ilaçları vinblastin ve vinkristin gibi önemli farmasötik bileşikler üreten indol alkaloid biyosentetik yolunu modüle etmek için birçok girişimde bulunulmuştur. Bir diğer örnekte ise; Öz [56] yaptığı çalışmada biyofarmasötik olarak ve çeşitli kullanıma sahip safran bitkisinin yolda genlerini *E. coli*'de heterolog olarak ekspresyonlarını gerçekleştirmiştir.

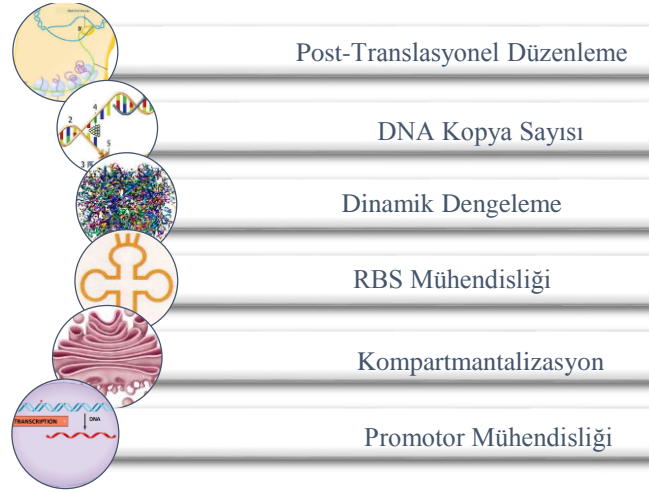
4.2.1 Genetik Optimizasyon

Katma değerli bileşiklerin mikrobiyal sentezi, tipik olarak, üretim konaklarına heterolog metabolik yolların elde edilmesine veya sunulmasına bağlıdır. Çoğu zaman, bu bileşiklerin ticari olarak uygun üretimini sağlamak için, belirli genlerin aşırı ekspresyonundan kaynaklanan metabolik yükten, eşleşmeyen kofaktör spesifitesinden kaynaklanan redoks dengesizliğinden, kararsız veya büyüme inhibisyonu ile sonuçlanan hız sınırlayıcılar ve toksik ara maddelerin veya diğerlerinin

birikmesinden kaçınmak için heterolog yollardaki metabolik akış optimize edilmelidir [57]. Genetik optimizasyon, belirli bir oranda ürünü üretmek için en etkili suş platformunun geliştirilmesine odaklanmaktadır. Bu, arzulanan ürüne giden yolları aşırı sentezlemek ve rakip yolları silmek veya azaltmak için geleneksel metabolik mühendisliği yaklaşımlarını içerir [50]. Metabolik mühendisler, bir mikroorganizmanın genetik kodunu manipüle ederek, hücrenin biyokimyasal ağını yenilenebilir hammaddelerin katma değerli bileşiklere dönüştürülmesini yönlendirmek için yeniden yapılandırabilirler. Bununla birlikte, endojen genlerin manipülasyonu ve heterolog yolların tanıtılması yoluyla bir mikroorganizmanın dikkatlice ayarlanmış (evrimleşmiş) doğal metabolizmasını yeniden kullanmak, sıklıkla yolak akışında önemli dengesizliklere yol açar ve bu da birkaç istenmeyen sonuca neden olur [58].

Genetik optimizasyon stratejileri statik veya dinamik olarak kategorize edilebilir. Statik yaklaşımlar, hücreler arası metabolit konsantrasyonlarına bağlı olarak tepki vermeye veya ayarlanmaya yönelik olmayan sabit bir enzim ekspresyon seviyesi olarak karakterize edilir. Bu yöntemler, değişen plazmid omurgaları, promotor güçleri ve ribozom bağlama bölgesi (RBS) güçleri gibi geleneksel genetik optimizasyon yöntemleri olarak görülmektedir [50]. Dinamik dengeleme yöntemleri, değişen hücre içi metabolit konsantrasyonlarını algılamak ve buna tepki vermek için biyosensör kullanır. Bu sistemlerin geçiciliği onları metabolik mühendisliği için güçlü bir araç yapar, ancak artan güç karmaşıklığı artırır ve deneysel optimizasyon görevini daha da zorlaştırır. Dinamik denge sistemleri son zamanlarda gerçek zamanlı olarak hücre içi metabolit konsantrasyonlarına göre metabolit akışlarını kontrol etme yeteneklerinde güçlü olduğu kanıtlanmıştır [50]. Suş ve yolak optimizasyonu için evrensel olarak genelleştirilebilir bir yaklaşım olmadan, metabolik mühendisliğindeki ilerlemeler, potansiyel konaklar veya hedef ürünler arasında çevrilebilirliği olmayan karmaşık ancak izole gösterimler üretmeye devam edecektir [58].

Metabolik mühendisliğinde merkezi bir görev, metabolit veya biyokütle üretimini en üst düzeye çıkarmak için yolak akışının optimizasyonudur. Gen ekspresyonunu ve enzim aktivitesini dinamik olarak kontrol etmek için “dinamik metabolik mühendislik” veya “dinamik kontrol” stratejileri önerilmiştir; bunlar, büyüme ve üretim arasındaki dengeyi sağlamak için kullanılır. Dinamik metabolik kontrol, genetik sensörleri ve aktivatörleri oluşturmak için sentetik biyolojideki ilerlemelere dayanmaktadır. Metabolik üretim oranını veya verimi en üst düzeye çıkarmanın yanı sıra, özellikle “dinamik kontrol” stratejisinin etkili bir şekilde uygulanması için yolak homeostazisinin sağlanması ve bozukluklara karşı güçlü adaptasyon önemlidir [59].



Şekil 2. *E. coli* ve *S. cerevisiae* laboratuvar bakterilerinde uygulanan optimizasyon yöntemleri

Temel mikrobiyal fonksiyonların sistemik davranışını nicel olarak tanımlamak için dinamik modellerin geliştirilmesi, metabolik mühendisliği uygulamalarının rasyonel tasarımı için çok önemlidir. Karbon akışlarını karbon ürünlerinin oluşumuna yönlendiren türlerin merkezi karbon metabolizmasının incelenmesi, sistem biyolojisi yaklaşımları için büyük önem kazanmıştır. *E. coli*, endüstride yararlı materyaller üretmek için kullanıldığından ve merkezi karbon metabolizmasının üzerinde çalışıldığı bir merkez olarak uzun yıllardır üzerinde çalışıldığı için en çok çalışılan mikrobiyal organizma ve mikrobiyoloji ve biyoteknoloji alanlarında önemli bir türdür [60]. Bunun yanısıra ürünlerin veya yolak ara ürünlerinin toksisitesi, üretken olan mikrobiyal fabrikaların gelişimine engel olabilir. Metabolik ağların modellenmesi ile birlikte hedef yolların dinamik düzenlenmesi, metabolik homeostaziyi korumak için çok önemlidir. Bu dinamik düzenleme, çevresel sinyaller veya hücrel metabolitleri tespit eden ve önceden belirlenmiş bir sonuç üreten hücrel biyosensörler ile gerçekleştirilebilir. Bazı metabolit algılayan transkripsiyon faktörleri, çeşitli bileşiklerin saptanmasını sağlayan sentetik düzenleyici devrelere başarıyla entegre edilmiştir [61]. Ayrıca suşların optimizasyonu, eksojen ürünler üreten mikrobiyal hücre fabrikalarının geliştirilmesi için kullanılmıştır. Hedef bileşiğin/bileşiklerin sentezi için enzimler ve yolaklar belirlendikten ve yeniden oluşturulduktan sonra, konak organizmanın doğal metabolizmasının sistem düzeyinde optimizasyonu, hedef bileşiğin verimli bir şekilde biyosentezi için gereklidir (Şekil 2) [62]. Karmaşık biyokimyasal sistemleri veya süreçleri temsil eden dinamik modeller (kinetik tabanlı modeller olarak da bilinir), yeni hücre fabrikalarının tasarımı için biyoteknoloji endüstrisinde geniş bir etki yaratmaya başlamıştır. Bu, metabolik bir ağdaki değişen bileşenlerin etkilerini doğru bir şekilde tahmin etme ve metabolit konsantrasyonlarındaki ve enzim kinetiğindeki değişiklikler gibi süreçleri tanımlama potansiyellerinden kaynaklanmaktadır. Hücre metabolizması gibi doğal bir sürecin zaman içindeki kinetiği genellikle doğrusal veya durağan değildir; bir model içindeki temsilleri, biyokimyasal sistemde geçici veya durağan fazlarda reaksiyonların gerçekleştirilme oranlarını tanımlayan matematiksel ifadeleri kullanır. Aslında, genom ölçeğinde metabolik modellerden

sistemik olarak dinamik modeller oluşturma çabaları, reaksiyon akışları, metabolit konsantrasyonları ve kinetik sabitler gibi verilerin kullanımına dayalı olarak yakın zamanda geliştirilmiştir [60]. Genetik ve fenotipik stabilite endüstriyel biyoprosesler için büyük bir endişe kaynağı olduğundan, doğrudan kromozom üzerinde çalışmanın yollarını bulmak da yüksek bir öncelik olacaktır [58]. Endüstriyel biyoteknoloji bağlamında, çoğu hücre fabrikası modelinin amacı, bir sisteme uygulanan genetik veya çevresel bozulmaların etkilerinin anlaşılması ve tahmin edilmesi ile bağlantılıdır. Bu bozulmaların örnekleri, bir metabolik enzimin ekspresyonunun modülasyonu veya seyreltme hızı veya substrat alımı gibi biyoreaktör proseslerinin parametrelerinin değiştirilmesidir. Spesifik uygulamalar için, özellikle gerinim tasarımı için oluşturulan modeller, sistemin tüm çıktıları arasında istenen ürünle ilgili reaksiyon akışını maksimize etmeye yönelik bir ilgiyle endüstriyel bileşiklerin üretimine odaklanmıştır [60].

4.2.2 Plazmid Seçimi

Plazmidler, soylar arasında niş-adaptif fonksiyonel genleri transfer ederek ve böylece genomik çeşitlendirmeyi yönlendirerek bakteri evriminde önemli bir rol oynar. Bakteriyel genomlar yaygın olarak, seçim için mevcut olan gen fonksiyonlarının aralığını artırarak ve bunların rekombinasyonlarına izin vererek adaptasyonu besleyebilen, birlikte var olan çoklu plazmid replikonları içerir [63]. Sentetik biyoloji projeleri tipik olarak plazmid vektörleri, hücreler içinde genomdan bağımsız olarak çoğalabilen dairesel ekstra kromozomal DNA elemanları kullanır. Bu çalışmalarda kullanılan plazmidlerin birçok faydası vardır: manipüle edilmeleri kolaydır, güvenilir bir şekilde *E. coli* hücrelerine dönüştürülebilirler ve kısmen genomik DNA'dan daha yüksek bir kopya sayısına bağlı olarak yüksek düzeyde gen ekspresyonu elde edebilirler. Ayrıca, karmaşık sentetik genetik sistemlerin modüler montajına ve ayrıca sistemdeki her plazmidin basit bağımsız testine izin veren birkaç plazmid uyum içinde kullanılabilir. Sentetik genetik sistemler geliştirmenin ayrılmaz bir parçası, tasarla-yap-test et döngüsünde prototiplerin yinelenmesidir [64].

Konak suşun optimizasyonu, pDNA üretim süreçlerini iyileştirmek için değerli bir araçtır [65]. Plazmidler, mikrobiyal popülasyonlarda lateral gen transferinin araçları ve yardımcı gen fonksiyonlarının rezervuarları olarak mikrobiyal ekoloji ve evrimde önemli bir rol oynamaktadır. Bir popülasyondaki plazmid kalıcılığı, stabil plazmid kalıtımına (yani plazmid stabilitesine) bağlıdır. Plazmidlerin replikasyon kontrol mekanizmaları, hücre bölünmesinden önce hücrede yeterli plazmid kopyalarının bulunmasını sağladığından plazmid kalıtımının önemli belirleyicileridir. Hücre bölünmesi sırasında düşük kopyalı plazmidlerin ayrılması plazmid kopyalarını yavru hücrelere aktif olarak dağıtan bölme sistemlerine dayanır. Bir bölme sisteminin yokluğunda, başarılı plazmid ayrımı, çoklu kopya durumuna ve plazmidlerin hücre içindeki fiziksel dağılımına bağlıdır [66]. Bakteri hücrelerinde rekombinant DNA üretimi moleküler biyolojide önemli bir tekniktir. Plazmidler genellikle antibiyotik

seçimi ile bir *E. coli* konak hücresinde tutulur [67]. Geleneksel olarak yolak optimizasyonundaki ilk adım, istenen yolak genlerinin ifade edileceği plazmid omurgasının seçilmesidir. Plazmid omurgasının seçimini, kullanmak istediğiniz optimizasyon tekniklerine göre (yani, transkripsiyonel dengeleme, çeşitli güç kuvvetlendiricilerinin (enhancer) kolay bir şekilde birleştirilmesini gerektirir) yapmak önemlidir [50].

4.2.3 DNA Kopya Sayısını Düzenleme

Ekolojistler, doğanın dengesini, etkileşimli ve bağlantılı parçalardan kaynaklanan karmaşık bir sistem olarak kabul ederler; dengeyi bozmak, diğer türleri doğrusal olmayan ve dinamik yollarla etkileyebilir. Ekosistemler gibi, hücre ve genom da çok sayıda moleküler etkileşimle geniş ölçüde birbirine bağlıdır. Gen düzenlemesindeki değişiklikler, anormal kopya sayısı varyantları ve hücre boyutundaki değişiklikler yoluyla moleküler dengeyi bozmak, genom ve organizma işlevi için sonuçlar yaratabilir [68]. Kopya sayısı değişkenleri (Copy Number Variant, CNV'ler), geçmiş yılların kapsamlı araştırma konusudur. Evrimde önemli bir rol oynayan, popülasyon çeşitliliğine, belirli hastalıkların gelişimine katkıda bulunan ve konak-mikrobiyom etkileşimlerini etkileyen insan genomunun ortak özellikleridir. CNV'ler moleküler tanıda birçok hastalıktan ve invaziv olmayan doğum öncesi bakımda uygulama alanı bulmuştur, ancak tam potansiyelleri daha yeni ortaya çıkmaktadır. CNV'lerin kanser ve kardiyovasküler hastalık dahil olmak üzere çeşitli bozuklukların taranması, teşhisi, prognozu ve izlenmesi üzerinde muazzam bir etkiye sahip olması beklenmektedir [69].

Gen kopya sayıları, heterolog gen ekspresyonunun optimizasyonu için önemli bir ayar valfidir. Bazı genler birçok gen kopyasından en iyi şekilde ifade edilirken, diğer genler için orta veya hatta tek kopya sayıları, inklüzyon cisimciklerinin, toksik gen dozaj etkilerinden kaçınmanın veya metabolik mühendisliği için istenen seviyelere ulaşmanın tek yoludur [70]. Plazmidler, konak genomundan bağımsız olarak çoğalan bakterilerdeki dairesel DNA'nın ekstra kromozomal elemanlarıdır. Plazmidler, replikasyonları için konakçı hücrenin mekanizmasından yararlanır, ancak birçoğu yararlı veya koşullu olarak avantajlı genler taşır ve bu nedenle parazit olarak genelleştirilemez [71]. Kopyalama sayısının dengelenmesi (CNB) ilk ve muhtemelen genetik optimizasyonun en yaygın kullanılan biçimidir. Kopyalama sayısının dengelenmesi, çeşitli ekspresyon seviyelerine sahip plazmidlerden gelen genlerin, modüllerin veya yolakların ifadesidir. Genellikle, istisnalar olmasına rağmen, bir plazmid kopyası sayısı, *in vivo* ekspresyon seviyesiyle ilgilidir [50]. Hücre başına plazmid sayısı olarak tanımlanan plazmid kopya sayısı, rekombinant mikroorganizmaların üretkenliği üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Yüksek bir plazmid kopya sayısı, yani yüksek bir gen dozajlaması, genellikle plazmid kodlu genlerin yüksek düzeyde eksprese edilmesine ve dolayısıyla rekombinant proteinlerin aşırı üretilmesine neden olur. Bu etki, α -faktörlerinin yetersizliği gibi bazı hücre içi dar geçitlerde sınırlı olabilir [72]. Kısacası

plazmidler, laboratuvar ve endüstriyel ortamlarda moleküler klonlama veya protein üretimi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Sürekli modifikasyon, ortalama plazmid kopya sayısı (Plazmid Copy Number, PCN) ve stabilitesi bakımından özellikleri nadiren bilinen sayısız plazmid vektörünü ortaya çıkarmıştır. PCN'yi belirleyen önemli faktör replikasyon sistemidir [73]. Yüksek bir plazmid kopya sayısının, yavru hücrelerde plazmidlerin sürekli olarak kalıcılık olasılığını arttırdığı gösterilmiştir [72]. Plazmid replikasyonu, hücre metabolizması üzerinde büyük bir yükür, bu nedenle üretim sırasında plazmid stabilitesini sağlamak için her zaman aktif bir seçim mekanizması gerektirir. Plazmidlerin kopya sayısı ne kadar yüksek olursa, bu yük o kadar yüksek olur ve plazmid DNA'sı o kadar az stabil yayılır [70]. Plazmidsiz hücrelerin sayısı ekim sırasında artarsa, spesifik büyüme oranlarının yüksek olması nedeniyle plazmid taşıyan hücreleri büyütebilir. Bir hücrenin bir plazmidini çoğaltmak ve eksprese etmek için gerçekleştirmesi gereken ek çalışmaların plazmid taşıyan hücrelerin büyüme oranını düşürdüğü düşünülmektedir. Çoğunlukla plazmid içermeyen hücrelerden oluşan bir kültür, plazmid kodlu gen ürünlerinin verimliliğini düşürecektir. En kötü ihtimalle, plazmidsiz hücrelerin toplamda aşırı büyümesi nedeniyle herhangi bir ürün bulunmayacaktır. Bununla birlikte, yüksek bir plazmid kopya sayısı spesifik büyüme oranını önemli ölçüde etkileyebilir [72]. Başka bir yaklaşım, genetik yapıların kopya sayısını değiştirmektir. Daha önce gösterildiği gibi, bir hücrede bir genin bulunduğu sayı, söz konusu genin ekspresyon seviyesi ile ilişkilidir. En belirgin konak hücre *Escherichia coli*'de, yüksek kopya numaralı pUC vektörleri gibi farklı kopya numaralarına sahip plazmidler mevcuttur ve düşük kopya sayılı pBR322 tabanlı vektörler ve kromozoma destekli entegrasyon, yeniden birleştirme yoluyla mümkündür [70]. Ayrıca, herhangi bir plazmid kaynaklı gen için seçimin yokluğunda, plazmid içermeyen bir hücrenin seçici bir avantaja sahip olması gerektiği ve plazmidin stabilitesinin açıklanmasının zor olduğu öne sürülmüştür. Konak uygunluğundaki kaybı telafi etmek için konjugal transfer yoluyla plazmidin yayılması, telafi edici mutasyonlar, maliyeti azaltmak için konak ve plazmidin birlikte evrimi veya plazmid bağımlılığı gibi faktörler bir plazmidin korunmasından sorumlu olası mekanizmalardan bazılarıdır [71].

4.2.4 Transkripsiyonel Düzenleme

Transkripsiyonel düzenleme, bir mRNA'nın belirli bir hücredeki bir genden kopyalanıp kopyalanmadığının kontrolüdür. Prokaryotik hücreler gibi, ökaryotlardaki genlerin transkripsiyonu, transkripsiyonu başlatmak için bir promotora bağlanmak için bir RNA polimeraz gerektirir. Ökaryotlarda, RNA polimeraz, transkripsiyonun başlamasını kolaylaştırmak için başka proteinlere veya transkripsiyon faktörlerine ihtiyaç duyar. Transkripsiyon faktörleri, hedef genin transkripsiyonunu kontrol etmek için promotor dizisine ve diğer düzenleyici dizilere bağlanan proteinlerdir. RNA polimeraz tek başına ökaryotik hücrelerde transkripsiyonu başlatamaz. Transkripsiyon faktörleri, önce promotor bölgeye bağlanmalı ve transkripsiyonun başlaması için bölgeye RNA polimerazı

yerleştirmelidir [74,75]. Enzim daha sonra DNA çift zincirini açar, RNA sentezlemeye başlar ve promotordan ayrılır. Ortaya çıkan uzama kompleksi, RNA zincirini bir sonlandırma sinyaline ulaşana kadar uzatır ve DNA ve RNA'yı serbest bırakır [75]. Transkripsiyon faktörleri tipik olarak güçlendirici elementleri bağlayarak ve kofaktörleri ve RNA polimeraz II'yi hedef genlere alarak gen ekspresyonunu düzenler. Çoklu transkripsiyon faktörleri tipik olarak bireysel geliştiricilere işbirlikçi bir şekilde bağlanır ve güçlendiriciler ve çekirdek promotorlar arasında DNA döngüsü içeren fiziksel temaslar yoluyla yakın veya uzak genlerin çekirdek promotorlarından transkripsiyonu düzenler. Transkripsiyonun başlamasının meydana geldiği bölgeleri içeren çekirdek promotor elementler, aynı zamanda belirli transkripsiyon faktörleri tarafından da bağlanabilirler [76].

Gen ekspresyonunda hassas ayar yapma yeteneği, ürün titrelerini, verimleri ve üretkenliği iyileştirmek için akış dengesini etkileyen çeşitli faktörlerin dikkatli bir şekilde modüle edildiği metabolik yolak optimizasyonu ve dengeleme alanını yaratmıştır [77]. Hücreler, genlerin ekspresyonunu kısmen, genom boyunca belirli bölgelere bağlanan ve böylece yakındaki genlerin transkripsiyonunu artıran veya engelleyen proteinler olan transkripsiyon faktörleri (TF'ler) aracılığıyla kontrol eder [78]. RNA seviyesinden dengelenen yolak, hızlandırıcı kütüphaneleri geliştirmek ve karakterize etmek ve transkripsiyonel tıkanıklıkları anlamak için önemli deneysel etkiler nedeniyle, enzim ekspresyon seviyesinin ön optimizasyonunda güçlü bir metodu temsil eder. Transkripsiyonel optimizasyon tarafından sağlanan mRNA düzeyinin dengelenmesi, diğer genetik optimizasyon yöntemlerine kıyasla doğal bir avantaj sağlayan önemli metabolik yük kaynaklarından birini azaltır [50]. Hücre metabolizmasının optimize edilmesinden sorumlu transkripsiyonel düzenleyici ağların kapsamlı bir şekilde anlaşılması, sadece bakteri fizyolojisi açısından değil endüstriyel uygulamalar ya da biyosensörlerin üretilmesi ve bu gibi ağların optimizasyonu için de gereklidir. Mevcut metabolik akışların hedef yollara veya heterolog yollara yönlendirildiği metabolik mühendisliğinin ilgisi, biyoyakıtlar ve polimer öncülleri gibi katma değerli bileşiklerin ticari olarak üretilmesi ve sürdürülebilir “yeşil” üretime geçilmesi beklentileri tarafından tetiklenir. Bununla birlikte, bağlantılı reaksiyonlardaki ara ürünlerin spesifik bir yolağa doğru kanalize edilmesiyle metabolik dengenin bozulmasına ve istenen bileşiğin veriminin azalmasına neden olmasından dolayı arzu edilen ürünleri üretmek için bakterilerin metabolik mühendisliği oldukça zorludur [43].

4.2.5 Translasyonel Düzenleme

Translasyonel kontrolün ana fikri, gen ekspresyonunun, protein sentezinin belirlenmesinde mRNA kullanımının etkinliği ile düzenlenebilmesidir. Bu kavram, moleküler biyolojinin merkezi dogmasının ifade edilmesinden sadece birkaç yıl sonra ve haberci hipotezinin formüle edilmesinden çok kısa bir süre sonra ortaya çıkmıştır [79]. Protein sentezi, gen ekspresyon yolunda vazgeçilmez bir

süreçtir ve kontrolünde önemli bir bileşendir. Translasyonun düzenlenmesi, hücredeki gerçekleşen birçok olayda önemli bir rol oynar. Ayrıca, hücrede ve organizmada homeostazın sürdürülmesi için kritiktir. Genel olarak bir proteinin sentez hızı, mRNA'sının konsantrasyonu ve translasyonel etkinliği ile orantılıdır. Translasyonel kontrol, mRNA'ların etkinliğini yönetir ve bu nedenle, besin kaynağı, hormonlar veya stres gibi endojen veya eksojen sinyallere yanıt veren birçok genin ekspresyonunun modüle edilmesinde önemli bir rol oynar [80]. Bir mRNA sitoplazmaya taşındıktan sonra proteinlere çevrilir. Bu sürecin kontrolü büyük ölçüde mRNA molekülüne bağlıdır. Daha önce tartışıldığı gibi, mRNA'nın stabilitesi, bir proteine çevrilmesi üzerinde büyük bir etkiye sahip olacaktır. Translasyon, mRNA'nın ribozoma bağlanma düzeyinde de düzenlenebilir. mRNA ribozoma bağlandıktan sonra, translasyon hızı ve seviyesi hala kontrol edilebilir. Translasyon kontrolünün bir örneği, endoplazmik retikulum (ER) adı verilen bir organelde sonuçlanması hedeflenen proteinlerde meydana gelir. Bu proteinlerin ilk birkaç amino asidi, sinyal dizisi adı verilen bir etikettir. Bu amino asitler çevrilir çevrilmez, bir sinyal tanıma parçacığı (SRP) sinyal dizisine bağlanır ve mRNA-ribozom kompleksi ER'ye gönderilirken translasyonu durdurur [74]. Hücre fonksiyonunun her yönü, o hücrede ifade edilen gen ürünlerine bağlıdır. Bu gen ürünlerinin ekspresyonunu düzenleyen mekanizmalar çeşitlidir ve sabit bir fonksiyonel RNA veya protein seviyesi oluşturmak ve sürdürmek için gerekli adımların her birini etkileyebilir. Bu mekanizmalar, RNA sentezini, işlenmesini ve stabilitesini kontrol edenleri ve protein kodlayan genler durumunda, protein translasyonunu, modifikasyonunu ve bozulmasını içerir [81]. Kimyasal üretimin optimal kontrolünü sağlamak ve çevresel değişikliklere yanıt olarak yolağın dayanıklılığını korumak için, gen devrelerindeki bir dizi eleman transkripsiyon ve translasyon aşamasında tasarlanabilir ve ayarlanabilir. Translasyon sonrası kontrol, doğal alosterik modifikasyon ve iskele proteinlerinin tasarımı vasıtasıyla başarılabılır. Transkripsiyon başlatma oranını kontrol eden promotorlar, ribozom bağlama alanları, translasyon seviyelerini kontrol eden riboz şalterleri, gen kopya sayısını kontrol eden plazmid replikonları, küçük inhibitör RNA'lar ve uzun kodlamayan RNA'lar gibi gen devrelerindeki birçok önemli element, metabolizma üzerinde istenen bir kontrole ulaşma amacıyla ayarlanabilir ve manipüle edilebilir [59]. Metabolitler mRNA translasyonunu da kontrol edebilir. Pozitif düzenleme, öncüller birikirse biyosentezi başlatabilir ve reaksiyon ürünleri biriken gereksiz enzim üretimini önlemek için negatif düzenleme önemlidir. Negatif translasyonel düzenlemelerde; örneğin, yağ asidi desaturasyonu durumunda oluşur. Doymamış yağ asitleri bir translasyon aktivatörüne (Musashi-1) bağlanır ve konformasyonel bir değişime neden olur. Böylece RNA bağlanması önlenir ve bir yağ asidi desaturazı olan SCD1'in mRNA translasyonu engellenir. Translasyon faktörleri yoluyla translasyonun dolaylı olarak düzenlenmesinin yanı sıra, translasyon metabolitlerinin mRNA ile doğrudan etkileşimi ile de kontrol edilebilir [82].

Riboswitchler, belirli metabolitleri spesifik olarak bağlayabilen düzenleyici alanlardır. Eftörün bağlanması, translyasyonu etkinleştirmek veya inaktive etmek için mRNA'da konformasyonel bir değişikliği indükler. Bu algılama bakterilerde iyi bilinir ve son zamanlarda ökaryotlarda birkaç örneği bulunmuştur. Memelilerde potansiyel riboswitchlerin anlaşılması zor olmuştur. Bununla birlikte, mRNA translyasyonunun metabolik kontrolü için doğrudan bir araç sağladıkları için orada da bulunmaları şaşırtıcı olmazdı [82]. RBS dizisinin mutasyonu ile translyasyon oranının değiştirilmesi son zamanlarda RBS Calculator, RBS Designer vs. sonucunda yapılan araştırmalar nedeniyle çok öngörülebilir bir araç haline gelmiştir. Bu anlayış, dejenere primerler ve alana yönelik mutajenez protokolleri kullanılarak kolaylıkla ve verimli bir şekilde oluşturulabilen dinamik aralıkların ve RBS kütüphanelerinin duyarlılığının tahmin edilmesine olanak tanır. Bu öngörülebilirlik, diğer genetik optimizasyon biçimlerine göre bir avantaj olmasına rağmen, rasyonel tasarımın bir gerçeklik haline gelmeden önce protein-yolak akış ilişkisini anlamak için halen daha yapılması gerekmektedir [50].

4.2.6 Posttranslyasyonel Düzenleme

Ökaryotlarda gen ekspresyonunun son kontrol seviyesi, translyasyon sonrası düzenlemedir. Bu tip kontrol, proteinin yapıldıktan sonra, örneğin aktivitesini etkileyecek şekilde modifiye edilmesini içerir. Translyasyon sonrası düzenlemenin bir örneği, enzim inhibisyonudur. Bir enzime artık ihtiyaç duyulmadığında, onun substratına bağlanmasını önleyen rekabetçi veya allosterik bir inhibitör tarafından inhibe edilir. İnhibisyon tersine çevrilebilir, böylece enzim daha sonra yeniden etkinleştirilebilir. Bu, gerekli olmadığında enzimi parçalamaktan ve daha sonra tekrar ihtiyaç duyulduğunda daha fazlasını yapmaktan daha etkilidir. Proteinlerin aktivitesi ve/veya stabilitesi, metil, fosfat veya asetil grupları gibi fonksiyonel gruplar eklenerek de düzenlenebilir. Bazen bu modifikasyonlar, bir proteinin hücrede nerede bulunduğunu, örneğin çekirdekte, sitoplazmada veya plazma zarına bağlı olarak düzenleyebilir [74]. Nükleotitlerin transkripsiyon sonrası modifikasyonları, uygun RNA fonksiyonunda önemli ve her yerde bulunan, ancak henüz tam olarak anlaşılmamış bir rol oynar. Bugüne kadar, ribozomal RNA (rRNA), transfer RNA (tRNA), haberci RNA (mRNA), küçük nükleer (snRNA) ve mikroRNA (miRNA) dahil olmak üzere çeşitli RNA molekülleri için 100'den fazla farklı modifikasyon türü rapor edilmiştir. Bu modifikasyonlar kimyasal olarak çeşitlidir ve birkaç isim vermek gerekirse metilasyon, hidroksilasyon, asetilasyon, deaminasyon, izomerizasyon, selenilasyon, indirgeme ve siklizasyondan oluşur [83].

Protein biyosentezinde sonraki aşamalardan biri olan proteinlerin translyasyon sonrası değişimi (Posttranslational Modification, PTM), proteinlerin translyasyondan sonra geçebilecek tersinir veya tersinmez kimyasal değişikliklere işaret eder. Başka bir deyişle, PTM'ler, DNA'dan RNA'ya kopyalandıktan ve proteine çevrildikten sonra ortaya çıkan bir polipeptid zincirinin kimyasal

modifikasyonlarıdır. Bu kimyasal değişiklikler, peptid bağlarının enzimatik yarılmışından belirli kimyasal grupların, lipitlerin, karbonhidratların ve hatta tüm proteinlerin kovalent ilavelerine, amino asit yan zincirlerine kadar değişir. Bir polipeptid zincirinin biyosentezinden sonraki bu kimyasal modifikasyonları, amino asit yapıları ve özelliklerinin aralığını genişletir ve sonuç olarak proteinlerin yapılarını ve fonksiyonlarını çeşitlendirir. DNA tipik olarak 20 birincil amino asidi kodlamasına rağmen, proteinler çeşitli PTM'ler nedeniyle 140'tan fazla farklı kalıntı içerir [84]. Yolak enzimlerinin kendi kendine kenetlenerek veya sentetik protein iskeletlerinin kullanılmasıyla birlikte lokalize edilmesi, difüzyon sınırlandırılmış sistemlerde substrat yolunu kolaylaştırmak için kullanılır. Bu posttranslasyonel dengeleme tekniğini kullanmak için, istenen enzim(ler) ve bağlayıcı ligand(lar)ın transkripsiyonel bir füzyonu oluşturulmalı ve tamamlayıcı bağlanma alanları içeren bir sentetik protein iskelesi ile birlikte ifade edilmelidir. Birkaç sistem için etkili olmakla birlikte, protein iskelesinin aşırı ekspresyonu, sistemin metabolik yükünü artırır ve optimal dengeye ulaşamazsa, çoğu zaman büyüme hızını ve üretimini düşürebilir [50].

Metabolik akışların düzenlenmesi birçok mikrobiyal sürecin merkezinde yer alır ve transkripsiyonel düzenleme, posttranslasyonel modifikasyon ve allosterik gibi birçok düzenleyici katman içerir. Tüm bu düzenleyici katmanlar sonuçta metabolik enzimlerin kapasitelerini ekspresyonlarında veya aktivitelerindeki değişikliklerle değiştirerek etki ederler [85]. Hücresel sinyalizasyonun düzenlenmesinde translasyon sonrası modifikasyonların (PTM'ler) oynadığı karmaşık rol için ilgi artmaktadır. Translasyon sonrası proteinlerin modifikasyonu, hücre fonksiyonunun ve sağ kalımın kontrolüne katkıda bulunur. Bunların insülin üreten pankreas beta hücrelerindeki dengesi, glikoz homeostazının korunması için önemlidir. Beta hücrelerinin hayatta kalması için reaktif oksijen türlerinin zararlı etkilerinden korunmak gerekir, ancak bu insülin salgılama işlevi pahasına gerçekleşirse, adacıkların değişen metabolik koşullara cevap verme yeteneği tehlikeye girebilir [86]. Oldukça organize çok hücreli organizmaların hücreleri, homeostazı sağlamak için derhal hücre dışı ortamlarını birlikte kontrol edebilirler. Bu ayrıcalık olmadan, mikroorganizmalar her zaman öngörülemez şekilde değişen koşullara hızlı bir şekilde -genellikle iç akışlarını buna göre ayarlayarak- cevap vermeye hazır olmalıdır. Allosterik efektörlerin veya PTM'lerin yokluğunda bile, enzim kinetiğinin fiziksel doğası, doyumluk seviyesini (K_m değerine göre substrat konsantrasyonu) veya termodinamik sürüş kuvvetini (geri dönüşümlü reaksiyonlar için) değiştirerek akışın pasif olarak düzenlenmesine izin verir [85].

5. SENTETİK BİYOLOJİNİN KATKILARI

Sentetik biyoloji, araçlara (minimal konaklar, vektörler, genetik kontrolörler, karakterize edilmiş enzimler) katkıda bulunarak metabolik mühendisliği önemli ölçüde ilerletebilir. Bu araçların

geliştirilmesi, sıtmaya karşı ilaç artemisinin geliştirme maliyetlerini ve süresini önemli ölçüde azaltmıştır, ancak daha fazla aracın bulunması bu maliyetleri önemli ölçüde azaltabilirdi [16].

Doğal ürünler, bulaşıcı hastalıklar ve onkoloji gibi tedavi edici alanlarda değerli olmuştur. Ancak bu ilaçlar, doğal konaklarda küçük miktarlarda üretilir ve bu nedenle, bu ilaçların doğal konaklardan ekstraksiyonu genellikle ekonomik değildir veya çevre üzerinde olumsuz bir etkisi olabilir. Güçlü bir çözüm olarak, büyük ölçekli üretime uygun hale getirilebilen, metabolik olarak tasarlanmış mikroorganizmalarda veya bitki hücrelerinde ilaç üretimidir [87]. Sentetik biyoloji, farmasötiklerin ve diğer yüksek değerli kimyasalların biyoteknolojik üretimi için yeni nesil bir mikrobiyal mühendislik sağlar. Ayrıca, tüm mühendislik disiplinleri gibi, tasarla-yap-test et (ve öğren) döngüsü boyunca tüm adımlar için güçlü standartlaştırılmış araçların mevcudiyetine dayanır [88]. Yükselen bir alan olarak, sentetik biyoloji, yapay sentetik devreler kurarak hücresel ağların kesin düzenlemelerini gerçekleştirmeyi amaçlar ve hastalıkları tedavi etmek ve yeni ilaç hedefleri keşfetmek için büyük fırsatlar sunar. Farklı mantık kapılarının kombinasyon moduna bağlı olarak, çok seviyeli düzenlemeleri gerçekleştirmek için çeşitli sentetik devreler oluşturulur. Belirli sentetik devrelerde, ilaçlar genellikle devrelerin çalışmasını sağlamak için girdi görevi görür. Metabolik hastalık, bağışıklık hastalığı, kanser ve bakteriyel enfeksiyon dahil olmak üzere çeşitli hastalık modellerini deneysel olarak tedavi etmek için ilaca duyarlı gen devreleri oluşturmak mümkün hale gelmektedir [89].

Sentetik biyoloji, ilaç keşfi alanını yavaş yavaş yeniden yönlendiren gelişmekte olan bir disiplindir. Binlerce yıl boyunca, bitkiler gibi canlı organizmalar, insan ilaçlarının ana kaynağı olmuştur. Bununla birlikte, doğal ürünleri yeniden sentezlemenin zorluğu, ilaç endüstrilerini genellikle beşerî tıbbın bu zengin kaynağından uzaklaştırmıştır. Daha yakın zamanlarda, mikroorganizmalardaki biyosentetik birimlerin genetik manipülasyonu yoluyla dönüşüm konusundaki ilerleme, doğal ürün türevlerinin geniş kimyasal alanının derinlemesine araştırılması olasılığını açmıştır. Sentetik biyolojinin ilaç sentezindeki başarısı, artemisinin mikroorganizmalar tarafından biyolojik olarak üretilmesiyle, protein ve metabolik mühendisliğinde güçlü doruğa ulaşılmıştır. Bugün, sentetik hücreler sadece biyofabrikalar olarak kullanılmazlar, aynı zamanda hem hedef tabanlı hem de fenotipik tabanlı yaklaşımlar için hücre tabanlı tarama platformları olarak kullanılırlar. Sentetik hücrelerde tasarlanmış genetik devreler ayrıca hastalık mekanizmalarını veya ilaç etki mekanizmalarını deşifre etmek ve bakteri konsorsiyumları içinde hücre-hücre iletişimini incelemek için kullanılır [90].

Farmasötiklerin sentetik biyolojisi ayrıca, analiz edilen hemen hemen her genomda keşfedilmemiş biyosentetik kapasitelerin beklenmedik bir zenginliğini ortaya çıkaran mikrobiyal genom ve metagenom dizilerinin son çığından ilham almıştır [88]. Sentetik biyolojinin ilk aşamasında, mikroorganizma metabolizmalarını yeniden yapılandırarak doğal ürünleri optimize etmek veya keşfetmek çok dikkat çekmektedir. İleri teknoloji geliştikçe, sentetik biyoloji temelli terapötik

potansiyel, memeli hastalıklarının tedavisinde daha yaygın olarak uygulanmaktadır. Gen ve tasarlanmış hücre tedavileri fikrinin ortaya atılmasıyla birlikte kişiselleştirilmiş tıp giderek yaygınlaşıyor. İlaç hedef keşfi, yeni ilaç ve terapötiklerin geliştirilmesi için büyük önem taşımaktadır. Geleneksel olarak, ilaç hedef taraması ve doğrulaması genellikle karmaşık hücresel sistemde yüksek seçicilik gerektiren kimyasal problemlere bağlıdır. Ayrıca kimyasal problemlerin sentezi muhtemelen moleküler konformasyonun değişmesinden dolayı yanlış pozitif sonuçlar üretir. Kimyasal sondalar bazen küçük moleküllü ilaçların biyoaktivitesini etkiler ve daha sonra yanlış yargıya neden olur. Buna karşılık, sentetik biyoloji güdümlü ilaç hedef keşfi, hücre içi dinamik düzenlemenin tepkisine ve ilaçları değiştirmeden fenotipik değişime bağlıdır, bu da hedeflerin varlığını yansıtanın daha gerçekçi bir yoludur. Kısaca, sentetik biyoloji, yeni ilaç hedefi keşfetmek ve hastalıklar için yeni tedavi stratejisi tasarlamak için büyük bir potansiyeli temsil etmektedir [89].

6. SONUÇLAR

Metabolik mühendisliği yaklaşımları, endüstriyel uygulamalarda mikroorganizmaları tasarlamak için kullanılmaktadır. Bu sayede, yüksek ürün üretme kabiliyeti ile geleneksel olmayan çevre koşullarında işlev görebilecek suşlar elde etmek mümkün olacaktır. Ayrıca, istenen ürünü üretmek için mikroorganizmaları tasarlayacak olan yeşil fabrika kavramı, bu teknolojilerin gelişmesiyle yakın gelecekte önemli bir yere sahip olacağı görülmektedir.

Metabolik mühendisliği, bir organizmanın metabolizmasını değiştirmek için genetik mühendisliğin kullanılmasıdır. Mevcut yolların optimizasyonu için farmakoloji veya biyoteknoloji için yüksek verimli spesifik metabolitlerin üretilmesi amacı ile, en yaygın olarak bakteriler, maya veya bitkilerdeki yolak bileşenlerinin dahil edilmesini içerebilir. Doğal ürünler ortam koşullarında kendini optimize etme yeteneğine sahiptir. Fakat endüstriyel ürünlerin üretiminde istenen ürünün aşırı miktarda üretimini sağlamak için optimizasyon en önemli adımlardan biridir. Gelecekte birçok ürünün çeşitli endüstri alanlarında üretiminde alternatif yöntemler gereklidir. Metabolik mühendisliği bu yönden birçok avantaja sahiptir.

Farmasötikler, sentetik biyolojinin en eski başarı öykülerinden bazılarında iki ana nedenden dolayı ilham vermiştir: bir yandan, mevcut kullanımda olan küçük moleküllü ilaçlar çok sık olarak doğal ürünlerden elde edilir, böylece mikrobiyal sistemleri görece olarak düz-ileri olarak üretime geri dönüşü sağlanır. Öte yandan, birçok doğal biyosentetik yolak, sentetik biyolojinin mühendislik yaklaşımlarından yararlanılabilen, birçok düzeyde şaşırtıcı düzeyde yerleşik modülerlik göstermektedir.

Genetik mühendisliğinin gelişmesiyle, heterolog ürünler üretmek mümkün hale gelmiştir: doğada bulunan ancak üretici tarafından üretilmeyen ürünler, tek bir genin transformasyonu yoluyla

üretilebilen proteinler olma eğilimindedir. Genetik mühendisliği aynı zamanda doğal üreticilerde belirli genler oluşturma ve mutajenez ve seleksiyon için gereken süreyi azaltma yeteneğini de getirmiştir. Genom dizilimi ve daha iyi araçlarla, daha küçük moleküller, bir organizmada doğal olarak üretilen ancak ekstraksiyonu ekonomik olarak mümkün olmayan seviyelerde üretilen kimyasalları, üretme yeteneği oluşmuştur. Protein mühendisliğinin gelişimi ve laboratuvar evrimi, doğada üretilmeyen kimyasalları üretebilen enzim katalizörleri sağlamıştır.

Gelecekteki uygulamalar, metabolik mühendisliğindeki araçların mevcudiyeti ile daha kolaylaşacaktır. Hedef proteinin üretimini maksimize etmek için genlerin yüksek oranda eksprese edildiği farmasötik proteinlerin üretiminden farklı olarak, metabolik mühendislikte transformasyonel enzimleri kodlayan genlerin yüksek oranda eksprese edilmesine gerek yoktur; bunun yerine enzimlerin, yalnızca metabolik ara ürünleri yeterince dönüştürmeye yetecek kadar katalitik miktarlarda üretilmesi gerekir. İstenilen ürünlere yeterli oranda istenen genlerin çok yüksek bir seviyede ekspresyonu, hücreyi, aksi takdirde ilgilenilen istenen molekülü üretmek için kullanılacak metabolitlerin (fazla mRNA için nükleotidler, fazla protein için amino asitler, vb.) azalmasına neden olacaktır. Ayrıca, yabancı bir metabolik yolağın ara ürünleri heterolog bir konak için toksik olabileceğinden, bu da istenen nihai bileşiğin üretiminin azalmasına neden olabilir; böylece yolaktaki hiçbir ara madde toksik düzeylerde birikir. Bu nedenle, metabolik mühendisliğinde hücre içindeki doğal ve heterolog reaksiyonları doğru bir şekilde kontrol etmeyi sağlayacak bir araç setine ihtiyaç vardır. Bundan dolayı bu sistemde kullanılan optimizasyon yöntemleri önemli bir role sahip olmaktadır.

Farmasötik endüstrisinin gelecekteki başarısı, yeni aktivitelere sahip veya daha spesifik hedeflere yönelik yeni bileşiklerin tanımlanmasına veya geliştirilmesine bağlıdır. Bazı bakterilerin metabolik mühendisliğinin son başarıları; özel, hassas moleküllerin sürdürülebilir biyoteknolojik üretimine yönelik bir gelişmenin başlangıcına işaret etmektedir. Genom, transkriptom, proteom ve diğer sistem biyolojisi analizlerinin sonucu olarak suş gelişimi için artan sayıda hedefin tanımlanması beklenmektedir. Mevcut başarılar ve gözlemlenen eğilimler, mikrobiyal biyoteknolojinin farmasötik üretim üzerindeki artan etkisine işaret etmektedir.

İlaç ham maddelerinin çoğunun bitkisel kaynaklı olduğu düşünüldüğünde bitki çeşitliliğinde ciddi bir azalma vardır ve türlerin çoğu yok olmaktadır. Dolayısıyla gelecekte ilaç ham maddeleri için bu bitkisel kaynakların bulunması imkânsız hale geleceğinden metabolik mühendisliği hem bitki kaynağından ilaç ham maddesinin eldesine ciddi bir alternatif olacak ve hem de bitkide bu ilaç ham maddelerinin üretildiği biyokimyasal yolların mikroorganizmalara taşınması ve entegrasyonu yoluyla korumaya alınmış olacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK 117M051 numaralı proje ile desteklenmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını bildirmektedirler.

ETİK BEYANI

Bu çalışmada, yazarlar “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamındaki tüm kurallara uydıklarını, ilgili yönergenin “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler” olarak belirtilen başlığı altındaki eylemlerden hiçbirini gerçekleştirmediklerini taahhüt ederler.

YAZARLARIN KATKILARI

Esra GÜL: Yazma-orijinal taslak hazırlama, veri toplama, verinin düzenlenmesi, inceleme, yazma-gözden geçirme ve düzenleme. Venhar ÇELİK: Kavramsallaştırma, orijinal taslak hazırlama, veri toplama, verinin düzenlenmesi, gözden geçirme ve düzenleme, gözetim ve liderlik sorumluluğu, doğrulama.

KAYNAKLAR

- [1] T. U. Chae, S. Y. Choi, J. W. Kim, Y.-S. Ko, and S. Y. Lee, “Recent advances in systems metabolic engineering tools and strategies,” *Current Opinion in Biotechnology*, vol. 47, pp. 67–82, 2017.
- [2] A. J. van Maris, D. A. Abbott, E. Bellissimi, J. van den Brink, M. Kuyper, M. A. Luttik, H. W. Wisselink, W. A. Scheffers, J. P. van Dijken, and J. T. Pronk, “Alcoholic fermentation of carbon sources in biomass hydrolysates by *saccharomyces cerevisiae*: Current status,” *Antonie van Leeuwenhoek*, vol. 90, no. 4, pp. 391–418, 2006.
- [3] S. Raman, J. K. Rogers, N. D. Taylor, and G. M. Church, “Evolution-guided optimization of biosynthetic pathways,” *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 111, no. 50, pp. 17803–17808, 2014.
- [4] M. Falb, K. Müller, L. Königsmaier, T. Oberwinkler, P. Horn, S. von Gronau, O. Gonzalez, F. Pfeiffer, E. Bornberg-Bauer, and D. Oesterhelt, “Metabolism of halophilic archaea,” *Extremophiles*, vol. 12, no. 2, pp. 177–196, 2008.
- [5] S. Y. Lee, H. U. Kim, J. H. Park, J. M. Park, and T. Y. Kim, “Metabolic Engineering of Microorganisms: General strategies and drug production,” *Drug Discovery Today*, vol. 14, no. 1-2, pp. 78–88, 2009.

- [6] J. Nielsen, "Production of biopharmaceutical proteins by yeast," *Bioengineered*, vol. 4, no. 4, pp. 207–211, 2013.
- [7] L. B. Pickens, Y. Tang, and Y.-H. Chooi, "Metabolic Engineering for the production of natural products," *Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering*, vol. 2, no. 1, pp. 211–236, 2011.
- [8] A. Dasgupta, N. Chowdhury, and R. K. De, "Metabolic pathway engineering: Perspectives and Applications," *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 192, pp. 105436, 2020.
- [9] A. Stryjewska, K. Kiepusa, T. Librowski, and S. Lochyński, "Biotechnology and genetic engineering in the new drug development. part III. Biocatalysis, Metabolic Engineering and Molecular Modelling," *Pharmacological Reports*, vol. 65, no. 5, pp. 1102–1111, 2013.
- [10] K. Deo Pandey, "Metabolic Engineering: New Era in Pharmaceuticals," *Global Journal of Pharmacy & Pharmaceutical Sciences*, vol. 2, no. 5, 2017.
- [11] S. Mandal, M. Moudgil, and S. K. Mandal, "Rational drug design," *European Journal of Pharmacology*, vol. 625, no. 1-3, pp. 90–100, 2009.
- [12] L. Satish, Y. Seher, K. Rakkammal, P. Muthuramalingam, C. R. Lakshmi, A. Hemasundar, K. Prasanth, S. Shamili, M. K. Swamy, M. S. Dhanarajan, and M. Ramesh, "Metabolic engineering strategies to enhance the production of anticancer drug, Paclitaxel," *Paclitaxel*, pp. 229–250, 2022.
- [13] A. M. Redding-Johanson, T. S. Batth, R. Chan, R. Krupa, H. L. Szmids, P. D. Adams, J. D. Keasling, T. Soon Lee, A. Mukhopadhyay, and C. J. Petzold, "Targeted proteomics for metabolic pathway optimization: Application to terpene production," *Metabolic Engineering*, vol. 13, no. 2, pp. 194–203, 2011.
- [14] A. Sarnaik, M. H. Abernathy, X. Han, Y. Ouyang, K. Xia, Y. Chen, B. Cress, F. Zhang, A. Lali, R. Pandit, R. J. Linhardt, Y. J. Tang, and M. A. G. Koffas, "Metabolic Engineering of cyanobacteria for photoautotrophic production of heparosan, a pharmaceutical precursor of heparin," *Algal Research*, vol. 37, pp. 57–63, 2019.
- [15] J. Zhu, L. Li, F. Wu, Y. Wu, Z. Wang, X. Chen, J. Li, D. Cai, and S. Chen, "Metabolic Engineering of aspartic acid supply modules for enhanced production of bacitracin in bacillus licheniformis," *ACS Synthetic Biology*, vol. 10, no. 9, pp. 2243–2251, 2021.
- [16] J. D. Keasling, "Synthetic Biology and the development of tools for metabolic engineering," *Metabolic Engineering*, vol. 14, no. 3, pp. 189–195, 2012.
- [17] V. V. C. Sinatti, C. A. Gonçalves, and A. S. Romão-Dumaresq, "Identification of metabolites identical and similar to drugs as candidates for metabolic engineering," *Journal of Biotechnology*, vol. 302, pp. 67–76, 2019.
- [18] J. Nielsen and M. C. Jewett, "Impact of systems biology on metabolic engineering of *Saccharomyces cerevisiae*," *FEMS Yeast Research*, vol. 8, no. 1, pp. 122–131, 2008.
- [19] I. A. Kurnaz, "A systematic review of Synthetic Biology - a new era in biopharmaceutical drug development," *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, vol. 29, no. 1, 2020.
- [20] A. Nakagawa, H. Minami, J.-S. Kim, T. Koyanagi, T. Katayama, F. Sato, and H. Kumagai, "A bacterial platform for fermentative production of plant alkaloids," *Nature Communications*, vol. 2, no. 1, 2011.
- [21] A. Badri, A. Williams, A. Awofiranye, P. Datta, K. Xia, W. He, K. Fraser, J. S. Dordick, R. J. Linhardt, and M. A. Koffas, "Complete biosynthesis of a sulfated chondroitin in *Escherichia coli*," *Nature Communications*, vol. 12, no. 1, 2021.

- [22] L. R. Jarboe, X. Zhang, X. Wang, J. C. Moore, K. T. Shanmugam, and L. O. Ingram, “Metabolic Engineering for production of biorenewable fuels and chemicals: Contributions of Synthetic Biology,” *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, vol. 2010, pp. 1–18, 2010.
- [23] F. David, A. M. Davis, M. Gossing, M. A. Hayes, E. Romero, L. H. Scott, and M. J. Wigglesworth, “A perspective on synthetic biology in drug discovery and development—current impact and future opportunities,” *SLAS Discovery*, vol. 26, no. 5, pp. 581–603, 2021.
- [24] T. Selas Castiñeiras, S. G. Williams, A. G. Hitchcock, and D. C. Smith, “E. coli strain engineering for the production of advanced biopharmaceutical products,” *FEMS Microbiology Letters*, vol. 365, no. 15, 2018.
- [25] S. Liu, J.-Z. Xu, and W.-G. Zhang, “Advances and prospects in metabolic engineering of escherichia coli for L-tryptophan production,” *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, vol. 38, no. 2, 2022.
- [26] H. B. Bang, I. H. Choi, J. H. Jang, and K. J. Jeong, “Engineering of escherichia coli for the economic production L-phenylalanine in large-scale bioreactor,” *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, vol. 26, no. 3, pp. 468–475, 2021.
- [27] Z. Liu, X. Zhang, D. Lei, B. Qiao, and G.-R. Zhao, “Metabolic engineering of escherichia coli for de novo production of 3-phenylpropanol via retrobiosynthesis approach,” *Microbial Cell Factories*, vol. 20, no. 1, 2021.
- [28] H. Fang, D. Li, J. Kang, P. Jiang, J. Sun, and D. Zhang, “Metabolic engineering of escherichia coli for de novo biosynthesis of vitamin B12,” *Nature Communications*, vol. 9, no. 1, 2018.
- [29] M. Zhang, C. Liu, D. Xi, H. Bi, Z. Cui, Y. Zhuang, H. Yin, and T. Liu, “Metabolic engineering of escherichia coli for high-level production of salicin,” *ACS Omega*, vol. 7, no. 37, pp. 33147–33155, 2022.
- [30] J. T. Ku, A. Y. Chen, and E. I. Lan, “Metabolic engineering of escherichia coli for efficient biosynthesis of butyl acetate,” *Microbial Cell Factories*, vol. 21, no. 1, 2022.
- [31] E. Rahmat and Y. Kang, “Yeast metabolic engineering for the production of pharmaceutically important secondary metabolites,” *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol. 104, no. 11, pp. 4659–4674, 2020.
- [32] I. Carqueijeiro, C. Langley, D. Grzech, K. Koudounas, N. Papon, S. E. O’Connor, and V. Courdavault, “Beyond the semi-synthetic artemisinin: Metabolic Engineering of Plant-derived anti-cancer drugs,” *Current Opinion in Biotechnology*, vol. 65, pp. 17–24, 2020.
- [33] L. Xu, D. Wang, J. Chen, B. Li, Q. Li, P. Liu, Y. Qin, Z. Dai, F. Fan, and X. Zhang, “Metabolic engineering of saccharomyces cerevisiae for gram-scale diosgenin production,” *Metabolic Engineering*, vol. 70, pp. 115–128, 2022.
- [34] Y. Meng, X. Liu, L. Zhang, and G.-R. Zhao, “Modular engineering of saccharomyces cerevisiae for de novo biosynthesis of genistein,” *Microorganisms*, vol. 10, no. 7, pp. 1402, 2022.
- [35] F. Xiao, J. Lian, S. Tu, L. Xie, J. Li, F. Zhang, R. J. Linhardt, H. Huang, and W. Zhong, “Metabolic engineering of saccharomyces cerevisiae for high-level production of chlorogenic acid from glucose,” *ACS Synthetic Biology*, vol. 11, no. 2, pp. 800–811, 2022.
- [36] R. Bisquert, A. Planells-Cárcel, E. Valera-García, J. M. Guillamón, and S. Muñoz-Calvo, “Metabolic engineering of saccharomyces cerevisiae for hydroxytyrosol overproduction directly from glucose,” *Microbial Biotechnology*, vol. 15, no. 5, pp. 1499–1510, 2021.

- [37] H.-Y. Gao, H. Zhao, T.-Y. Hu, Z.-Q. Jiang, M. Xia, Y.-F. Zhang, Y. Lu, Y. Liu, Y. Yin, X.-C. Chen, Y.-F. Luo, J.-W. Zhou, J.-D. Wang, J. Gao, W. Gao, and L.-Q. Huang, "Metabolic engineering of *saccharomyces cerevisiae* for high-level Friedelin via genetic manipulation," *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, vol. 10, 2022.
- [38] G. Wang, M. Huang, and J. Nielsen, "Exploring the potential of *saccharomyces cerevisiae* for biopharmaceutical protein production," *Current Opinion in Biotechnology*, vol. 48, pp. 77–84, 2017.
- [39] H. Huttanus, J. Sheng, and X. Feng, "Metabolic Engineering for production of Small Molecule Drugs: Challenges and Solutions," *Fermentation*, vol. 2, no. 1, pp. 4, 2016.
- [40] D. Na, T. Y. Kim, and S. Y. Lee, "Construction and optimization of synthetic pathways in Metabolic Engineering," *Current Opinion in Microbiology*, vol. 13, no. 3, pp. 363–370, 2010.
- [41] D. Morrone, L. Lowry, M. K. Determan, D. M. Hershey, M. Xu, and R. J. Peters, "Increasing diterpene yield with a modular metabolic engineering system in *E. coli*: Comparison of MeV and MEP isoprenoid precursor pathway engineering," *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol. 85, no. 6, pp. 1893–1906, 2009.
- [42] A. Das, S.-H. Yoon, S.-H. Lee, J.-Y. Kim, D.-K. Oh, and S.-W. Kim, "An update on microbial carotenoid production: Application of recent Metabolic Engineering Tools," *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol. 77, no. 3, pp. 505–512, 2007.
- [43] J. D. Keasling, "Manufacturing molecules through metabolic engineering," *Science*, vol. 330, no. 6009, pp. 1355–1358, 2010.
- [44] Y. Li, Z. Lin, C. Huang, Y. Zhang, Z. Wang, Y.-jie Tang, T. Chen, and X. Zhao, "Metabolic engineering of *escherichia coli* using CRISPR–cas9 mediated genome editing," *Metabolic Engineering*, vol. 31, pp. 13–21, 2015.
- [45] M. Chartrain, P. M. Salmon, D. K. Robinson, and B. C. Buckland, "Metabolic Engineering and directed evolution for the production of pharmaceuticals," *Current Opinion in Biotechnology*, vol. 11, no. 2, pp. 209–214, 2000.
- [46] K. T. Shanmugam and L. O. Ingram, "Principles and practice of designing microbial biocatalysts for fuel and Chemical production," *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, vol. 49, no. 2, 2021.
- [47] D. Yi, T. Bayer, C. P. Badenhorst, S. Wu, M. Doerr, M. Höhne, and U. T. Bornscheuer, "Recent trends in biocatalysis," *Chemical Society Reviews*, vol. 50, no. 14, pp. 8003–8049, 2021.
- [48] A. Illanes, A. Cauerhff, L. Wilson, and G. R. Castro, "Recent trends in Biocatalysis Engineering," *Bioresource Technology*, vol. 115, pp. 48–57, 2012.
- [49] A. Madhavan, R. Sindhu, P. Binod, R. K. Sukumaran, and A. Pandey, "Strategies for design of improved biocatalysts for industrial applications," *Bioresource Technology*, vol. 245, pp. 1304–1313, 2017.
- [50] J. A. Jones and M. A. G. Koffas, "Optimizing metabolic pathways for the improved production of natural products," *Methods in Enzymology*, pp. 179–193, 2016.
- [51] Q. Qi, J. Li, and J. Cheng, "Reconstruction of metabolic pathways by combining probabilistic graphical model-based and knowledge-based methods," *BMC Proceedings*, vol. 8, no. S6, 2014.
- [52] A. Perl, H. Dalton, Y. J. Yoo, and M. A. Koffas, "Methods for the development of recombinant microorganisms for the production of natural products," *Plant Metabolic Engineering*, pp. 1–17, 2021.

- [53] J. Montaña López, L. Duran, and J. L. Avalos, “Physiological limitations and opportunities in microbial metabolic engineering,” *Nature Reviews Microbiology*, vol. 20, no. 1, pp. 35–48, 2021.
- [54] Y. Mori and T. Shirai, “Designing artificial metabolic pathways, construction of target enzymes, and analysis of their function,” *Current Opinion in Biotechnology*, vol. 54, pp. 41–44, 2018.
- [55] S.-U. Park, M. Yu, and P. J. Facchini, “Antisense RNA-mediated suppression of benzophenanthridine alkaloid biosynthesis in transgenic cell cultures of California Poppy,” *Plant Physiology*, vol. 128, no. 2, pp. 696–706, 2002.
- [56] E. Öz, “Zeaksantin Öncül Maddesini Kullanarak Safran Apokarotenoidlerinin Heterolog Mikrobiyal Biyosentezi,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü Biyomühendislik AnaBilim Dalı, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2019.
- [57] J. Du, Y. Yuan, T. Si, J. Lian, and H. Zhao, “Customized optimization of metabolic pathways by combinatorial transcriptional engineering,” *Nucleic Acids Research*, vol. 40, no. 18, 2012.
- [58] B. W. Biggs, B. De Paepe, C. N. Santos, M. De Mey, and P. Kumaran Ajikumar, “Multivariate modular metabolic engineering for pathway and strain optimization,” *Current Opinion in Biotechnology*, vol. 29, pp. 156–162, 2014.
- [59] F. He, E. Murabito, and H. V. Westerhoff, “Synthetic Biology and Regulatory Networks: Where Metabolic Systems Biology Meets Control Engineering,” *Journal of The Royal Society Interface*, vol. 13, no. 117, pp. 20151046, 2016.
- [60] O. D. Kim, M. Rocha, and P. Maia, “A review of dynamic modeling approaches and their application in computational strain optimization for Metabolic Engineering,” *Frontiers in Microbiology*, vol. 9, 2018.
- [61] R. Mahr and J. Frunzke, “Transcription factor-based biosensors in Biotechnology: Current State and future prospects,” *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol. 100, no. 1, pp. 79–90, 2015.
- [62] M.-K. Kang and J. Nielsen, “Biobased production of alkanes and alkenes through metabolic engineering of Microorganisms,” *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, vol. 44, no. 4-5, pp. 613–622, 2017.
- [63] L. Carrilero, A. Kottara, D. Guymer, E. Harrison, J. P. Hall, and M. A. Brockhurst, “Positive selection inhibits plasmid coexistence in bacterial genomes,” *mBio*, vol. 12, no. 3, 2021.
- [64] A. Kan, I. Gelfat, S. Emani, P. Praveschotinunt, and N. S. Joshi, “Plasmid vectors for in vivo selection-free use with the probiotic *E. coli* nissle 1917,” *ACS Synthetic Biology*, vol. 10, no. 1, pp. 94–106, 2020.
- [65] G. A. Gonçalves, D. M. Bower, D. M. Prazeres, G. A. Monteiro, and K. L. Prather, “Rational engineering of *Escherichia coli* strains for plasmid biopharmaceutical manufacturing,” *Biotechnology Journal*, vol. 7, no. 2, pp. 251–261, 2011.
- [66] T. Wein, N. F. Hülter, I. Mizrahi, and T. Dagan, “Emergence of plasmid stability under non-selective conditions maintains antibiotic resistance,” *Nature Communications*, vol. 10, no. 1, 2019.
- [67] C.-W. Jang and T. Magnuson, “A novel selection marker for efficient DNA cloning and recombineering in *E. coli*,” *PLoS ONE*, vol. 8, no. 2, 2013.
- [68] J. H. Malone, “Balancing copy number in ribosomal DNA,” *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 112, no. 9, pp. 2635–2636, 2015.

- [69] O. Pös, J. Radvanszky, G. Buglyó, Z. Pös, D. Rusnakova, B. Nagy, and T. Szemes, “DNA copy number variation: Main characteristics, evolutionary significance, and pathological aspects,” *Biomedical Journal*, vol. 44, no. 5, pp. 548–559, 2021.
- [70] F. Nadler, F. Bracharz, and J. Kabisch, “Copyswitch—in vivo optimization of gene copy numbers for heterologous gene expression in bacillus subtilis,” *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, vol. 6, 2019.
- [71] M. M. Watve, N. Dahanukar, and M. G. Watve, “Sociobiological control of plasmid copy number in bacteria,” *PLoS ONE*, vol. 5, no. 2, 2010.
- [72] T. Schmidt, K. Friehs, and E. Flaschel, “Rapid determination of plasmid copy number,” *Journal of Biotechnology*, vol. 49, no. 1-3, pp. 219–229, 1996.
- [73] M. Jahn, C. Vorpahl, T. Hübschmann, H. Harms, and S. Müller, “Copy number variability of expression plasmids determined by cell sorting and droplet digital PCR,” *Microbial Cell Factories*, vol. 15, no. 1, 2016.
- [74] E. J. Nestler and S. E. Hyman, “Regulation of gene expression,” *Neuropsychopharmacology: the fifth generation of progress*, pp. 217-228, 2002.
- [75] P. Cramer, “Organization and regulation of Gene Transcription,” *Nature*, vol. 573, no. 7772, pp. 45–54, 2019.
- [76] T. I. Lee and R. A. Young, “Transcriptional regulation and its misregulation in disease,” *Cell*, vol. 152, no. 6, pp. 1237–1251, 2013.
- [77] J. A. Jones, V. R. Vernacchio, D. M. Lachance, M. Lebovich, L. Fu, A. N. Shirke, V. L. Schultz, B. Cress, R. J. Linhardt, and M. A. Koffas, “EPathOptimize: A combinatorial approach for transcriptional balancing of metabolic pathways,” *Scientific Reports*, vol. 5, no. 1, 2015.
- [78] G. Tkačik, C. G. Callan, and W. Bialek, “Information flow and optimization in transcriptional regulation,” *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 105, no. 34, pp. 12265–12270, 2008.
- [79] F. Jacob and J. Monod, “Genetic regulatory mechanisms in the synthesis of proteins,” *Journal of Molecular Biology*, vol. 3, no. 3, pp. 318–356, 1961.
- [80] J. W. B. Hershey, N. Sonenberg, and M. B. Mathews, “Principles of Translational Control,” *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, vol. 11, no. 9, 2018.
- [81] V. Reinke, “Transcriptional regulation of gene expression in *C. elegans*,” *WormBook*, pp. 1–31, 2013.
- [82] A. Wegner, J. Meiser, D. Weindl, and K. Hiller, “How metabolites modulate metabolic flux,” *Current Opinion in Biotechnology*, vol. 34, pp. 16–22, 2015.
- [83] V. Stojković and D. G. Fujimori, “Radical SAM-mediated methylation of ribosomal RNA,” *Methods in Enzymology*, pp. 355–376, 2015.
- [84] V. N. Uversky, “Posttranslational modification,” *Brenner's Encyclopedia of Genetics*, pp. 425–430, 2013.
- [85] K. Kochanowski, U. Sauer, and E. Noor, “Posttranslational regulation of Microbial Metabolism,” *Current Opinion in Microbiology*, vol. 27, pp. 10–17, 2015.
- [86] P. E. MacDonald, “A post-translational balancing act: The good and the bad of sumoylation in pancreatic islets,” *Diabetologia*, vol. 61, no. 4, pp. 775–779, 2018.
- [87] Z. Abil, X. Xiong, and H. Zhao, “Synthetic Biology for Therapeutic Applications,” *Molecular Pharmaceutics*, vol. 12, no. 2, pp. 322–331, 2014.
- [88] R. Breitling and E. Takano, “Synthetic Biology advances for pharmaceutical production,” *Current Opinion in Biotechnology*, vol. 35, pp. 46–51, 2015.

- [89] Y. Xie, Y. Yang, Y. He, X. Wang, P. Zhang, H. Li, and S. Liang, “Synthetic biology speeds up drug target discovery,” *Frontiers in Pharmacology*, vol. 11, 2020.
- [90] J.-Y. Trosset and P. Carbonell, “Synthetic Biology for Pharmaceutical Drug Discovery,” *Drug Design, Development and Therapy*, pp. 6285, 2015.

Copyright © 2022 Gül and Çelik. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY 4.0).