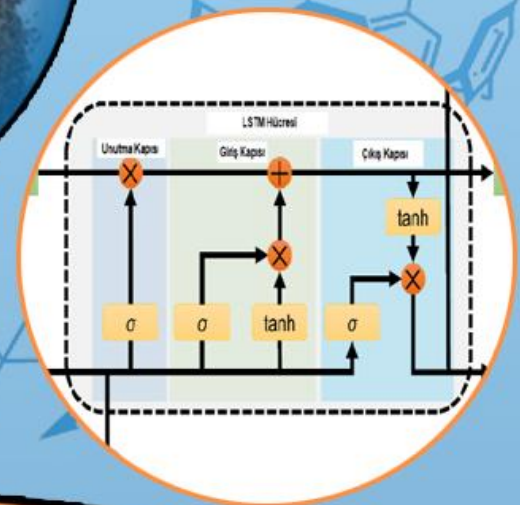
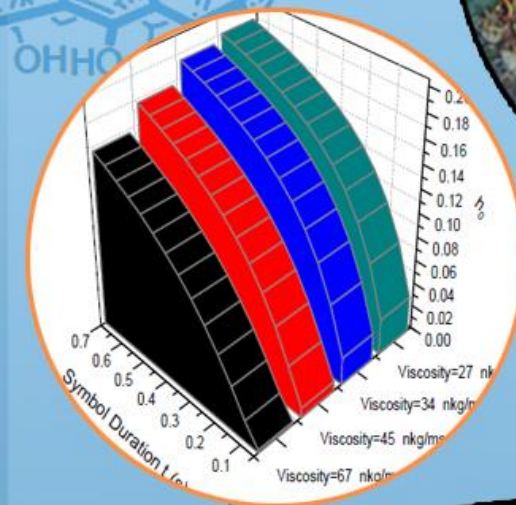
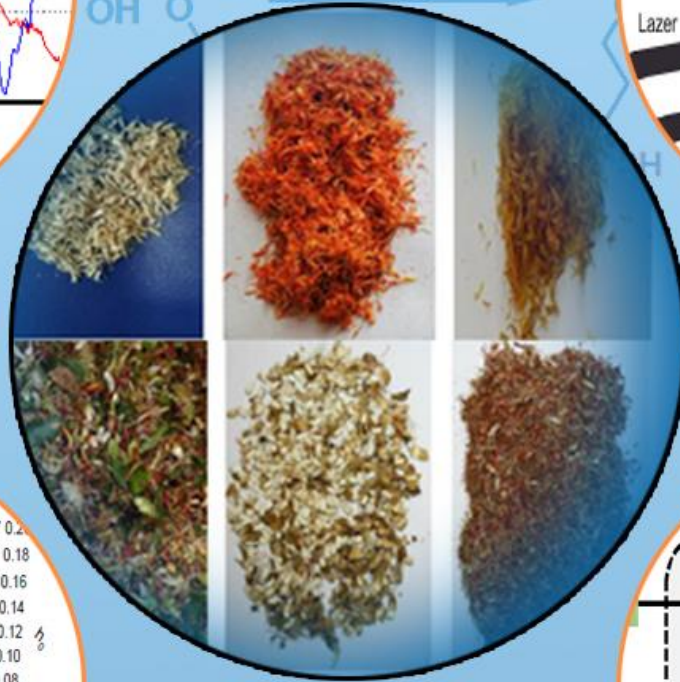
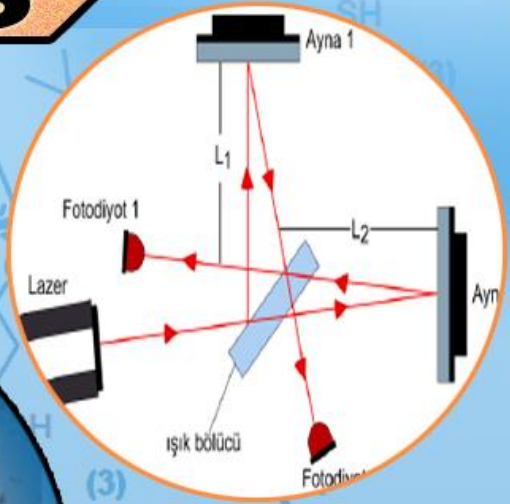
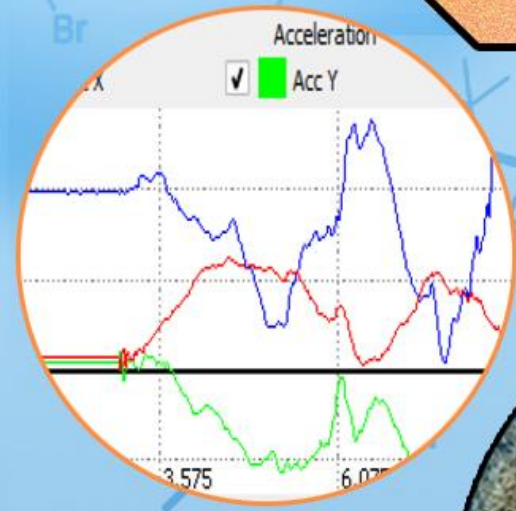


TDFD

TÜRK DOĞA ve FEN DERGİSİ

TURKISH JOURNAL OF NATURE AND SCIENCE

TJNS



TÜRK DOĞA VE FEN DERGİSİ

Amaç

Türk Doğa ve Fen Dergisi, Dergipark tarafından yayınlanan Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne ait ulusal ve hakemli bir dergidir. Türk Doğa ve Fen Dergisi, Türkiye ve dünyanın her yerinden gelen doğa ve fen bilimlerinin her alanında özgün, yayımlanmamış, yayımlanmak üzere başka yere gönderilmemiş makale, derleme ve sempozyum değerlendirmesi gibi çalışmaların bilim alemine sunulması amacıyla kurulmuştur.

Kapsam

Türk Doğa ve Fen Dergisinde Mühendislik, Ziraat, Veterinerlik, Fen ve Doğa Bilimleri alanlarından olmak üzere Türkçe ve İngilizce hazırlanmış orijinal makale, derleme ve sempozyum değerlendirmesi gibi çalışmalar yayımlanır. Türk Doğa ve Fen Dergisi sadece online sistemde yayımlanmakta olup ayrıca kağıt baskısı bulunmamaktadır.

Merhaba...

Türk Doğa ve Fen Dergisi, Dergipark tarafından yayımlanmakta olup Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne aittir. Bahar ve güz dönemi olmak üzere yılda iki defa çıkarılan ulusal hakemli bir dergi olarak ilk sayısını 2012 bahar döneminde yayımlamıştır. Türk Doğa ve Fen Dergisi, Türkiye ve dünyanın her yerinden gelen doğa ve fen bilimlerinin her alanında özgün, yayımlanmamış, yayımlanmak üzere başka yere gönderilmemiş makale, derleme ve sempozyum değerlendirmesi gibi çalışmaların bilim alemine sunulması amacıyla kurulmuştur. İlk sayısından bugüne kesintisiz olarak faaliyetlerini sürdürmektedir.

Türk Doğa ve Fen Dergisi sadece online sistemde yayımlanmakta olup ayrıca kağıt baskısı bulunmamaktadır. Dergimize gelen her çalışma öncelikle Turnitin intihal programında taranmaktadır. Dergimizde editörlerin, hakemlerin ve yazarların, uluslararası yayım etik kurallarına uyması ve makalelerin yazım kurallarına uyumlu olması zorunluluğu vardır.

Yazarlar yayımlanmak üzere dergimize gönderdikleri çalışmalarını ile ilgili telif haklarını zorunlu olarak Bingöl Üniversitesi Türk Doğa ve Fen Dergisi'ne devretmiş sayılırlar. Yazarlardan herhangi bir ücret talep edilmemektedir. Yazarların değerlendirmeleri, dergimizin resmi görüşü olarak kabul edilemez. Çalışmaların her türlü sorumluluğu yazarlarına aittir. Araştırma ürünleri için etik kurul raporu gerekli ise, çalışma üzerinde bu raporun alınmış olduğu belirtilmeli ve kurul raporu sisteme kaydedilmelidir. Araştırma ile ilgili intihal, atıf manipülasyonu, sahte veri uydurma vb. suistimallerin tespit edilmesi halinde yayım ve etik ilkelerine göre davranılır. Bu durumda çalışmanın yayımlanmasını önlemek, yayımdan kaldırmak ya da başka işlemler yapmak için gerekli işlemler takip edilmektedir.

Dergimizde, kaynak gösteriminde uluslararası Vancouver sistemine geçilmiştir. Ayrıca dergimiz, Creative Commons ile lisanslanmak suretiyle dergimizde yayımlanan makalelerin paylaşımı, kaynak gösterimi ve yayımlanmasında dergi ve yazar haklarını korumaya almıştır. 2018 yılı güz döneminden itibaren makaleler, uluslararası yazar kimlik numarası ORCID No'su ile yayımlanmaktadır.

Dergi ekibi, dergimizin ulusal ve uluslararası indekslerce taranan bir dergi olması yönünde çalışmalarını titizlikle sürdürmektedir. Dergimize gösterilen ilgi bu yönde bizleri teşvik etmeye devam edecektir.

Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından yayımlanmaktadır

EDİTÖRLER (YAYIN) KURULU

BAŞEDİTÖR

Doç. Dr. Ekrem DARENDELİOĞLU

Bingöl Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik
Bölümü

E-Mail: edarendelioglu@bingol.edu.tr

EDİTÖR YARDIMCILARI

Doç. Dr. Adnan AYNA

Bingöl Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü

E-Mail: aayna@bingol.edu.tr

EDİTÖRLER

Fen ve Doğa Bilimleri

Doç. Dr. İkram ORAK

Bingöl Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve
Teknikler

E-Mail: iorak@bingol.edu.tr

Prof. Dr. Selami SELVİ

Balıkesir Üniversitesi, Altınoluk Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal
Üretim Bölümü

E-Mail: sselvi2000@yahoo.com

Prof. Dr. Refik KESKİN

Sakarya Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü

E-Mail: rkeskin@sakarya.edu.tr

Prof. Dr. Halim ÖZDEMİR

Sakarya Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü

E-Mail: hozdemir@sakarya.edu.tr

Prof. Dr. Zafer ŞİAR

Bingöl Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü

E-Mail: zsiar@bingol.edu.tr

Doç. Dr. Uğur ÇAKILCIOĞLU

Munzur Üniversitesi, Pertek Sakine Genç Meslek Yüksekokulu, Bitki Morfolojisi
ve Anatomisi Bölümü

E-Mail: ucakilcioglu@yahoo.com

Doç. Dr. Kamuran DİLSİZ

Bingöl Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü

E-Mail: kdilsiz@bingol.edu.tr

Doç. Dr. Şükran KONCA

Bakırçay Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Temel Bilimler,
Matematik Bölümü

E-Mail: sukran.konca@bakircay.edu.tr

Doç. Dr. İdris YAZGAN

Kastamonu Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji

E-Mail: idrisyazgan@gmail.com

Doç. Dr. Abdulcabbar YAVUZ

Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

E-Mail: ayavuz@gantep.edu.tr

Doç. Dr. Bünyamin ALIM

Bayburt Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji
Bölümü

E-Mail: balim@bayburt.edu.tr

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Şükrü KURT

Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Temel Bilimler

E-Mail: mustafa.kurt@erzurum.edu.tr

Dr. Öğr. Üyesi Sinan SAĞIR

Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Fizik

E-Mail: sinansagir@kmu.edu.tr / sinan.sagir@cern.ch

Dr. Öğr. Üyesi Murat AYDEMİR

Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Temel Bilimler

E-Mail: murat.aydemir@erzurum.edu.tr

Mühendislik Bilimleri

Doç. Dr. Özgür ÖZGÜN

Bingöl Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü

E-Mail: oozgun@bingol.edu.tr

Prof. Dr. Figen KOREL

İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Bölümü

E-Mail: figenkorel@iyte.edu.tr

Prof. Dr. Kubilay ASLANTAŞ

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

E-Mail: aslantas@aku.edu.tr

Prof. Dr. Hamit Özkan GÜLSOY

Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
Bölümü

E-Mail: ogulsoy@marmara.edu.tr

Prof. Dr. Ali Adnan HAYALOĞLU

İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü

E-Mail: adnan.hayaloglu@inonu.edu.tr

Prof. Dr. Barbara SAWICKA

University of Life Sciences in Lublin, Department of Plant Production Technology
and Commodities Sciences

E-Mail: barbara.sawicka@gmail.com

Doç. Dr. İbrahim GÜNEŞ

Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

E-Mail: ibrahim.gunes@giresun.edu.tr

Doç. Dr. Sırma YEĞİN

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü
E-Mail: sirma.yegin@ege.edu.tr

Doç. Dr. Hasan OĞUL

Sinop Üniversitesi, Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi, Nükleer Enerji
Mühendisliği
E-Mail: hogul@sinop.edu.tr

Doç. Dr. Murat YILMAZTEKİN

İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü
E-Mail: murat.yilmaztekin@inonu.edu.tr

Doç. Dr. Ferhat AYDIN

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat
Mühendisliği Bölümü
E-Mail: ferhata@subu.edu.tr

Doç. Dr. Kazım HANBAY

İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü
E-Mail: kazimhanbay@gmail.com

Dr. Öğr. Üyesi Nurullah DEMİR

Bingöl Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği
Bölümü
E-Mail: ndemir@bingol.edu.tr

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet GÜNER

Bingöl Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik ve Elektronik
Mühendisliği Bölümü
E-Mail: aguner@bingol.edu.tr

Dr. Öğr. Üyesi Tahir AKGÜL

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat
Mühendisliği Bölümü
E-Mail: tahirakgul@subu.edu.tr

Dr. Erhan Sulejmani

University of Tetova, Faculty of Food Technology and Nutrition

E-Mail: erhan.sulejmani@unite.edu.mk

Dr. Hacène Medjoudj

Larbi Ben M'Hidi University of Oum El Bouaghi, Food Science Department

E-Mail: medjoudjh@yahoo.com

Dr. Avinash Lakshmikanthan

Nitte Meenakshi Institute of Technology, Department of Mechanical Engineering,
Karnataka, India

E-Mail: avinash.laks01@gmail.com

Dr. Manjunath Patel GC

PES Institute of Technology and Management, Department of Mechanical
Engineering, Karnataka, India

E-Mail: manju09mpm05@gmail.com

Sağlık Bilimleri

Doç. Dr. Aydın Şükrü BENGÜ

Bingöl Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve
Teknikler

E-Mail: abengu@bingol.edu.tr

Dr. Öğr. Üyesi Dilhun Keriman ARSERİM UÇAR

Bingöl Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü

E-Mail: dkucar@bingol.edu.tr

Dr. Öğr. Üyesi Abdullah TUNÇ

Bingöl Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü

E-Mail: atunc@bingol.edu.tr

Dr. Öğr. Üyesi Ramazan GÜNDOĞDU

Bingöl Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Eczane Hizmetleri

E-Mail: rgundogdu@bingol.edu.tr

Dr. Alexander HERGOVICH

UCL Cancer Institute, Faculty of Medical Sciences, Department of Cancer Biology,
UCL, London, UK
E-Mail: a.hergovich@ucl.ac.uk

Dr. Valenti GOMEZ

UCL Cancer Institute, Faculty of Medical Sciences, Department of Oncology,
UCL, London, UK
E-Mail: valentin.gomez@ucl.ac.uk

Veterinerlik Bilimleri

Doç. Dr. Cüneyt ÇAĞLAYAN

Bingöl Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü
E-Mail: ccaglayan@bingol.edu.tr

Prof. Dr. Fatih Mehmet KANDEMİR

Atatürk Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Veteriner Hekimliği Temel Bilimler
E-Mail: fmehmet.kandemir@atauni.edu.tr

Doç. Dr. Akın KIRBAŞ

Bozok Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Klinik Bilimler Bölümü
E-Mail: akindahiliye55@yahoo.com

Doç. Dr. Emrah Hicazi AKSU

Atatürk Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Klinik Bilimler Bölümü
E-Mail: emrahaksu@atauni.edu.tr

Ziraat Bilimleri

Prof. Dr. Kağan KÖKTEN

Bingöl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü
E-Mail: kahafe1974@yahoo.com

Prof. Dr. Mustafa SÜR MEN

Adnan Menderes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü
E-Mail: mustafa.surmen@adu.edu.tr

Prof. Dr. Banu YÜCEL

Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Hayvan Yetiştirme Anabilim Dalı, Zootekni
Bölümü

E-Mail: banu.yucel@ege.edu.tr

Doç. Dr. Hakan İNCİ

Bingöl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü

E-Mail: hinci@bingol.edu.tr

TEKNİK EDİTÖRLER

Dr. Ersin KARAKAYA

Bingöl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü

E-Mail: karakayaersin1982@gmail.com

Dr. Nimetullah KORKUT

Bingöl Üniversitesi, BİNUZEM, Bilgisayar Teknolojileri

E-Mail: nkorkut@bingol.edu.tr

DİL EDİTÖRÜ

Öğr. Gör. Ahmet KESMEZ

Bingöl Üniversitesi, Yabancı Diller Yüksekokulu, İngilizce Bölümü

E-Mail: akesmez@bingol.edu.tr



İÇİNDEKİLER/CONTENTS

Merkapto-Fonksiyonlu Kaliks[4]aren Bazlı Polimer İçerikli Membranın Ağır Metal Taşıma Verimliliği

Heavy Metal Transport Efficiency of Mercapto-Functionalized Calix[4]arene Based Polymer Inclusion Membrane

Mehmet Soner ENGIN^{1*}, Serkan SAYIN², Seydahmet CAY²

¹Department of Food Engineering, Faculty of Engineering, Giresun University, 28200 Güre, Giresun, Turkey.

²Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Giresun

1

Mehmet Soner ENGIN: ORCID NO 0000-0001-5954-5628

Serkan SAYIN: ORCID NO 0000-0003-0518-3208

Seydahmet CAY: ORCID NO 0000-0003-0045-8217

*Sorumlu yazar: soner.engin@giresun.edu.tr

(Alınış: 15.05.2020, Kabul: 01.04.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Geopolimer Beton ve Geleneksel Beton Üretim Süreçlerinden Kaynaklı CO₂ Salınımının Metasezgisel Yöntemlerle Belirlenmesi

Determination of CO₂ Emissions Depending Geopolymer Concrete and Conventional Concrete Production Provided Metaheuristic Algorithms

Alper ÇAKMAK¹, Mücteba UYSAL^{2*}

¹ İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

² Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Alper ÇAKMAK ORCID No: 0000-0001-6642-0807

Mücteba UYSAL ORCID No: 0000-0002-6827-9904

*Sorumlu yazar: mucteba@yildiz.edu.tr

(Alınış: 15.06.2020, Kabul: 22.03.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Bingöl Ovası'nda Yetiştiriciliği Yapılan Yoncaların (*Medicago sativa* L.) Verim ve Kalitelerinin Belirlenmesi

Determination of Yield and Quality of Alfalfa Cultivated In Bingöl Plain

Erdal ÇAÇAN^{1*}, İhsan ARSLAN²

¹ Bingöl Üniversitesi, Gıda Tarım ve Hayvancılık Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Bingöl, Türkiye

² Bingöl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Bingöl, Türkiye

Erdal ÇAÇAN ORCID No: 0000-0002-9469-2495

İhsan ARSLAN ORCID No: 0000-0003-4790-0711

*Sorumlu yazar: ecacan@bingol.edu.tr

(Alınış: 24.06.2020, Kabul: 24.02.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

18

Broyler Rasyonlarında Üzüm Posası ve Enzim Kullanımının Performans Parametreleri Üzerine Etkisi

The Effect of Using Grape Pomace and Enzyme in Broiler Rations on Performance Parameters

Gökhan ŞEN^{1*}, Mehmet Naci OKTAY², Şevket EVCİ³, Mehmet BAŞALAN¹

¹ Kırıkkale Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları AD, Kırıkkale, Türkiye

² Kırıkkale Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Zootekni AD, Kırıkkale, Türkiye

³ Kırıkkale üniversitesi, Delice MYO, Laborant ve Veteriner Sağlık Programı, Kırıkkale, Türkiye

25

Gökhan ŞEN ORCID No: 0000-0001-6222-6986

Mehmet Naci OKTAY ORCID No: 0000-0002-1487-0096

Şevket EVCİ ORCID No: 0000-0002-1512-3412

Mehmet BAŞALAN ORCID No: 0000-0003-4827-824X

*Sorumlu yazar: gokhansen@kku.edu.tr

(Alınış: 09.07.2020, Kabul: 31.03.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Cilt Lezyonlarının Sınıflandırılmasında Derin Öğrenme Tabanlı Bir Yöntem

A Method Based On Deep Learning For Classification Skin Lesions

Volkan GÖREKE^{1*}

¹ Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Teknik Bilimler MYO, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Sivas, Türkiye

Volkan GÖREKE ORCID No: 0000-0002-2418-8373

*Sorumlu yazar: vgoreke@cumhuriyet.edu.tr

(Alınış: 21.09.2020, Kabul: 05.01.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Erzurum Pasinler Bölgesi Perlitinin Geopolimer Üretiminde Kullanımının Araştırılması

Investigation of Using Perlite of Erzurum Pasinler Region in Geopolymer Production

Fatih AKBULUT¹, Rıza POLAT^{1*}, Fatma KARAGÖL¹

¹ Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye

Fatih AKBULUT ORCID No: 0000-0002-3010-4914

Rıza POLAT ORCID No: 0000-0002-8990-035X

Fatma KARAGÖL ORCID No: 0000-0003-1760-1972

*Sorumlu yazar: rizapolat@atauni.edu.tr

(Alınış: 23.09.2020, Kabul: 05.03.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Lor Peynirlerinde Fekal Kaynaklı *Esherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* Aranması ve Antibiyotik Direnç Profillerinin Belirlenmesi

Investigation of Faecal Originated *Esherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* in Curd Cheese and Their Antibiotics Resistance Profile

Hüseyin TANIŞ^{1*}, Burcu AYTAÇ¹, Erdal ERTAŞ², Ashabil AYGAN¹

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, K.Maraş, Türkiye

² Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Moleküler biyoloji ve Genetik Bölümü, Kilis, Türkiye

Hüseyin TANIŞ ORCID No: 0000-0002-2012-7864

Burcu AYTAÇ ORCID No: 0000-0002-4823-0169

Erdal ERTAŞ ORCID No: 0000-0002-4043-5960

Ashabil AYGAN ORCID No: 0000-0003-4936-9872

*Sorumlu yazar: huseyintanis23@hotmail.com

(Alınış: 30.09.2020, Kabul: 01.05.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

46

Kuraklık Stresi Koşullarında Bakteri Uygulamasının Domates Bitkileri Üzerine Etkileri

Effects Of Bacteria Application on Tomato Plants Under Drought Stress Conditions

Sultan DERE^{1*}

¹ Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Siirt, Türkiye
Sultan DERE ORCID No: 0000-0001-5928-1060

52

*Sorumlu yazar: sultan.dere@siirt.edu.tr

(Alınış: 05.10.2020, Kabul: 23.12.2020, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Hematit Mineralli Polimer Kompozitlerin Mekanik Özellikleri

Mechanical Properties of Hematite Mineral Polymer Composites

Hasan POLAT^{1*}, Meral OLTULU²

¹ Bingöl Üniversitesi, Teknik bilimler MYO, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Bingöl, Türkiye
² Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye
Hasan POLAT ORCID No 0000-0003-1521-0695
Meral OLTULU ORCID No: 0000-0002-3779-6888

63

*Sorumlu yazar: hpolat@bingol.edu.tr

(Alınış: 26.10.2020, Kabul: 29.04.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

LSTM Tabanlı Derin Ağlar Kullanılarak Diyabet Hastalığı Tahmini

Prediction of the Diabetes Using LSTM-Based Deep Networks

Mehmet Bilal ER¹, İbrahim IŞIK^{2*}

¹ Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye
² İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye
Mehmet Bilal ER ORCID No: 0000-0002-2074-1776
İbrahim IŞIK ORCID No: 0000-0003-1355-9420

68

*Sorumlu yazar: ibrahim.isik@inonu.edu.tr

(Alınış: 30.10.2020, Kabul: 11.02.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Krom-Nikel Kaplı Segmanların Segman Silindir Çifti Arasındaki Sürtünme Ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi

Investigation of the Friction and Wear Characteristics of Chrome-Nickel Coated Rings Between Ring Cylinder Pairs

İdris CESUR^{1*}, Mehmet AKGÜNDÜZ²

¹ Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Sakarya/ Türkiye
² Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Enstitüsü, Makina Mühendisliği EABD, Sakarya/ Türkiye
İdris CESUR ORCID No: 0000-0001-7487-5676
Mehmet AKGÜNDÜZ No: 0000-0002-6213-7155

75

*Sorumlu yazar: icesur@subu.edu.tr

(Alınış: 05.11.2020, Kabul: 15.02.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Determining Electromagnetic Energy Resolution of a Combined GdTaO₄ Crystal-Photodetector System with a Simulation Study

Birleşik GdTaO₄ Kristal-Foto Detektör Sistemi için Elektromanyetik Enerji Çözünürlüğünün Benzetim Çalışması ile Belirlenmesi

Ali ÖZTÜRK^{1,2}, Güral AYDIN^{1*}

¹ Hatay Mustafa Kemal University, Faculty of Arts and Science, Department of Physics, Hatay, Turkey

²now at, Turkish Red Crescent Community Center, 33070, Akdeniz/Mersin, Turkey

Ali ÖZTÜRK ORCID No: 0000-0002-1404-6515

Güral AYDIN ORCID No: 0000-0002-4996-1174

*Corresponding author: gaydin@mku.edu.tr

(Alınış: 09.11.2020, Kabul: 18.03.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

83

Aspir Genotiplerinde Çiçek Verimi ile Bazı Morfolojik Özellikler Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi

Determining the Relationships between Flower Yield and Some Morphological Traits in Safflower Genotypes

Hasan KOÇ^{1*}, Ahmet GÜNEŞ¹

¹ Bahri Dağdaş Uluslararası Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Konya, Türkiye

Hasan KOÇ ORCID No: 0000-0003-1728-070X

Ahmet GÜNEŞ ORCID No: 0000-0003-4205-5037

*Sorumlu yazar: koc175@hotmail.com

(Alınış: 05.11.2020, Kabul: 17.03.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

90

Sıcak Presleme Yöntemi ile TZ72-xMn Magnezyum Alaşımlarının Üretimi: Karakterizasyon ve Mekanik Özellikler

Production of TZ72-xMn Magnesium Alloys Through Hot Pressing Method: Characterization and Mechanical Properties

Ali ERÇETİN^{1*}

¹ Bingöl Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bingöl, Türkiye

Ali ERÇETİN ORCID No: 0000-0002-7631-1361

*Sorumlu yazar: aliercetin@bingol.edu.tr

(Alınış: 06.11.2020, Kabul: 08.02.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

96

Amasya Yöresinde Yetişen Yerel Elma Genotiplerinde Fiziko-Kimyasal Özelliklerin Tespiti

Physico-Chemical Characteristics of Local Apple Genotypes Grown in Amasya Province

Zeliha Selcen ÖZMEN^{1*}, Çetin ÇEKİÇ²

¹Orta Karadeniz Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Tokat, Türkiye

²Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Tokat, Türkiye

Zeliha Selcen ÖZMEN ORCID No: 0000-0002-8245-9944

Çetin ÇEKİÇ ORCID No: 0000-0003-1691-8361

*Sorumlu yazar: zselcen@hotmail.com

(Alınış: 11.11.2020, Kabul: 20.05.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

103

Tornalama Parametrelerinin Kesme Sıcaklığı ve Krater Aşınması Üzerine Etkilerinin Deneysel Olarak Araştırılması

Experimental Investigation of The Effects of Turning Parameters on Cutting Temperature and Crater Wear

Abdullah ASLAN^{1*}

¹ Selçuk Üniversitesi, Akşehir Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye
Abdullah ASLAN ORCID No: 0000-0001-8348-3471

109

*Sorumlu yazar: aaslan@selcuk.edu.tr

(Alınış: 23.11.2020 Kabul: 23.02.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Öğrenme Eğrilerinin Karşılaştırılması

Comparison of Learning Curves

Uğur ATICI^{1*}

¹ Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye
Uğur ATICI ORCID No: 0000-0002-4389-9744

119

*Sorumlu yazar: uatici@cumhuriyet.edu.tr

(Alınış: 30.11.2020, Kabul: 23.03.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Characterization of a Thermally Stable β -galactosidase Produced by Thermophilic *Anoxybacillus* sp. AH1

Termofilik *Anoxybacillus* sp. AH1'den Üretilen Termostabil β -galaktosidazın Karakterizasyonu

Ömer ACER^{1*}, Fatma MATPAN BEKLER²

^{1*} Siirt University, Medical Faculty, Department of Medical Microbiology, 56100, Siirt, Turkey
² Dicle University, Science Faculty, Department of Molecular Biology and Genetics, 21280, Sur, Diyarbakır, Turkey

130

Ömer ACER ORCID No: 0000-0002-5314-0475

Fatma Matpan Bekler ORCID No: 0000-0001-8253-9568

*Corresponding author: Ömer ACER, oacer21@gmail.com, omer.acer@siirt.edu.tr

(Alınış: 03.12.2020, Kabul: 20.02.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Investigation of the Effect of Fly Ash and Boron Waste Additive on Brick Structure Material

Uçucu Kül ve Bor Atığı Katkısının Tuğla Yapı Malzemesi Üzerine Etkisinin Araştırılması

Hakan ÇAĞLAR^{1*}

^{1*} Kırşehir Ahi Evran University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Civil Engineering, Kırşehir, Turkey

137

Hakan ÇAĞLAR ORCID No: 0000-0002-1380-8637

* Corresponding Author: c.hakan@ahievran.edu.tr

(Alınış: 12.12.2020, Kabul: 04.03.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Agrega Kil Oranının Betonun Mekanik Özelliklerine Etkilerinin Araştırılması

Investigation of the Effects of Aggregate Clay Rate on Concrete Mechanical Properties

Güven GÜRBÜZ^{1*}, Ferhat AYDIN²

¹ Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Hendek Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Sakarya, Türkiye

² Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye

Güven GÜRBÜZ ORCID No: 0000-0001-7243-4391

Ferhat AYDIN ORCID No: 0000-0001-9472-8366

144

*Sorumlu yazar: guvengurbuz@subu.edu.tr

(Alınış: 13.12.2020 Kabul: 10.05.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Dikiş Makinelerinin Teknolojik Seviyesinin Birim Üretim Süresine ve Maliyete Etkisinin Analizi

An Effect Analysis of The Technological Level of Sewing Machines on Unit Production Time and Cost

Müslüm EROL^{1*}

¹ Bingöl Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Tekstil, Giyim, Ayakkabı ve Deri Bölümü, Bingöl, Türkiye

Müslüm EROL ORCID No: 0000-0002-6905-7481

150

*Sorumlu yazar: merol@bingol.edu.tr

(Alınış: 21.12.2020, Kabul: 17.02.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Makine Öğrenmesi Yöntemleri Kullanılarak Elektrikli Cihazların Sınıflandırılması

Classification of Electrical Appliances Using by Machine Learning Methods

Feyyaz KOÇ^{1*}, Abdulkerim KARABİBER¹

¹ Bingöl Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bingöl, Türkiye

Feyyaz KOÇ ORCID No: 0000-0002-1024-7889

Abulkerim KARABİBER ORCID No: 0000-0003-0244-4425

159

*Sorumlu yazar: fkoc@bingol.edu.tr

(Alınış: 24.12.2020, Kabul: 29.03.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Üç *Scorzonera L.* Taksonunun Toprak Üstü ve Kök Kısımlarının Yağ Asidi Profillerinin Değerlendirilmesi

Evaluation of The Fatty Acid Profiles of The Aerial and Root Parts of Three *Scorzonera L.* taxa

Güneş AK^{1*}, Gökhan ZENGİN¹

¹ Selçuk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Konya, Türkiye

Güneş AK ORCID No: 0000-0002-9539-0763

Gökhan ZENGİN ORCID No: 0000-0001-6548-7823

166

*Sorumlu yazar: akguneselcuk@gmail.com

(Alınış: 30.12.2020, Kabul: 21.05.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Effect of the Viscosity on Molecule Reception Ratio for Mobile Nano Systems

Hareketli Nano Sistemler İçin Viskozitenin Molekül Alınma Olasılığına Etkisi

Esme IŞIK^{1*}, İbrahim IŞIK², M. Emin TAĞLUK²

¹ Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Optisyenlik Bölümü, Malatya, Türkiye

² İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye

Esme IŞIK ORCID No: 0000-0002-6179-5746

İbrahim IŞIK ORCID No: 0000-0003-1355-9420

M. Emin TAĞLUK ORCID No: 0000-0001-7789-6376

*Sorumlu yazar: esme.isik@ozal.edu.tr

(Alınış: 06.01.2021, Kabul: 05.03.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

171

Evaluation of Monocrystalline and Polycrystalline Photovoltaic Panels in Sinop Province Conditions

Sinop İli Koşullarında Monokristal ve Polikristal Fotovoltaik Panellerin Değerlendirilmesi

Mehmet Onur KARAAGAC^{1*}, Hasan OGUL², Fatih BULUT³

¹ Sinop University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Energy Systems Engineering, Sinop, Turkey

² Sinop University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Nuclear Engineering, Sinop, Turkey

³ Sinop University, Scientific and Technological Research Applications and Research Center, Sinop, Turkey

Mehmet Onur KARAAGAC ORCID No: 0000-0003-1783-9702

Hasan OGUL ORCID No: 0000-0002-5121-2893

Fatih BULUT ORCID No: 0000-0001-5335-2307

*Sorumlu yazar: okaraagac@sinop.edu.tr

(Alınış: 07.01.2021, Kabul: 26.02.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

176

Toplum Ruh Sağlığı Merkezlerindeki Terapi Bahçelerinde Kullanılan Bitkiler Üzerine Etnobotanik Bir Çalışma

An Etnobotanic Study on Plants Used in Therapy Gardens in Community Mental Health Centers

Fatih SATIL^{1*}, Emine AKTAŞ²

¹ Balıkesir Üniversitesi, Botanik Bahçesi ve Herbarium Araştırma ve Uygulama Merkezi, Balıkesir, Türkiye

² Salihli (Manisa) Devlet Hastanesi, Manisa, Türkiye

Fatih SATIL ORCID No: 0000-0002-4938-1161

Emine Aktaş ORCID No: 0000-0003-1624-2285

*Sorumlu yazar: fsatil@gmail.com

(Alınış: 23.01.2021, Kabul: 29.04.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

182

Şırnak İli Koşullarında Soya Bitkisinin II. Ürün Olarak Yetiştirilebilme Olanaklarının Araştırılması

Investigation of Possibilities of Cultivating Soybean as Second Crop in Şırnak Conditions

Ferhat ÖZTÜRK^{1*}, Ferhat KIZILGEÇİ^{2*}, Ahmet Konuralp ELİÇİN³

¹ Şırnak Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Şırnak, Türkiye

² Mardin Artuklu Üniversitesi, Kızıltepe Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Mardin, Türkiye

190

³ Dicle Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye
Ferhat ÖZTÜRK ORCID No: 0000-0002-2743-4285
Ferhat KIZILGEÇİ ORCID No: 0000-0002-7884-5463
Ahmet Konuralp ELİÇİN ORCID No:0000-0003-3240-4567

*Sorumlu yazar: ferhat_kizilgeci@hotmail.com

(Alınış: 31.01.2021, Kabul: 19.04.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Vinç Kancalarının Kırılma Mekanik Yaklaşımı ile Yorulma Dayanımlarının İncelenmesi

Evaluation of Fatigue Strength of Crane Hooks with Fracture Mechanics Approach

Ali SARI¹, Ömer Faruk NEMUTLU^{2*}, Bilal BALUN³

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

² Bingöl Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bingöl, Türkiye

³ Bingöl Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Bingöl, Türkiye

Ali SARI ORCID No: 0000-0002-6888-1276

Ömer Faruk NEMUTLU ORCID No: 0000-0001-7841-3911

Bilal BALUN ORCID No: 0000-0003-0906-4484

*Sorumlu yazar: ofnemutlu@bingol.edu.tr

(Alınış: 01.02.2021, Kabul: 01.05.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Metoksi Sübstitüe Kalkon İçeren Metallifthalosiyanın Bileşiklerinin Sentezi ve Karakterizasyonu

Synthesis and Characterization of Metallyphthalocyanine Compounds Containing Methoxy Substituted Chalcone

Furkan Özen^{1*}

Akdeniz Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, Fen Bilgisi Eğitimi Ana Bilim Dalı, 07058, Antalya, Türkiye

Furkan Özen ORCID No:0000-0003-1178-1167

*Sorumlu yazar: furkanozen@akdeniz.edu.tr

(Alınış: 08.02.2021, Kabul: 05.03.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Karasal İklim Şartlarında Bazı Fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) Genotiplerinin Kuru Otlarının Hayvan Yemi Olarak Kullanım Potansiyelinin Belirlenmesi

Determination of Using Potentials of Harvest Residues of Some Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Genotypes as Animal Feed under Continental Climate Conditions

İbrahim KILINÇ¹, Ömer Süha USLU^{2*}

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

² Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

İbrahim KILINÇ ORCID No: 0000-0002-4292-1639

Ömer Süha USLU ORCID No: 0000-0003-0858-0305

*Sorumlu yazar: suhauslu@ksu.edu.tr

(Alınış: 11.02.2021, Kabul: 21.05.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

199

217

224

Suruç'ta (Şanlıurfa-Türkiye) Bazı Şifalı Bitkilerin Geleneksel Kullanımları

Traditional Uses of Some Medicinal Plants in Suruç (Şanlıurfa-Turkey)

Serhan YALÇIN¹, Hasan AKAN², Uğur ÇAKILCIOĞLU^{3*}

^{1,2} Harran Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye

³ Munzur Üniversitesi, Pertek Sakine Genç MYO, Tunceli, Türkiye

236

Serhan YALÇIN ORCID No: 0000-0002-6379-8748

Hasan AKAN ORCID No: 0000-0002-3033-4349

Uğur ÇAKILCIOĞLU ORCID No: 0000-0002-3627-3604

*Sorumlu yazar: ucakilcioglu@yahoo.com

(Alınış: 15.02.2021, Kabul: 22.04.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Estimation of Upper Extremity Movement Performance in Stroke Patients with Artificial Learning Techniques

İnmeli Hastalarda Üst Ekstremitte Hareket Başarımının Yapay Öğrenme Teknikleri ile Kestirimi

Mücahit ÇALIŞAN^{1*}, Muhammed Fatih TALU²

¹ Bingöl Üniversitesi, Enformatik Bölümü, Bingöl, Türkiye

² İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bingöl, Türkiye

Mücahit ÇALIŞAN ORCID No: 0000-0003-2651-5937

Muhammed Fatih TALU ORCID No: 0000-0003-1166-8404

*Sorumlu yazar: mcalisan @bingol.edu.tr

(Alınış: 16.02.2021, Kabul: 8.04.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

245

Isolation and Molecular Characterization Of Antimicrobial Agent Producing Bacteria Isolated From Palandoken Mountain

Palandöken Dağı'ndan İzole Edilen, Antimikrobiyal Ajan Üreten Bakterilerin İzolasyonu Ve Moleküler Karakterizasyonu

Mustafa Özkan BALTACI¹

¹ Atatürk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Erzurum, Türkiye

Mustafa Özkan BALTACI ORCID No: 0000-0003-4968-9016

*Sorumlu yazar: ozkanbaltaci@atauni.edu.tr

(Alınış: 17.02.2021, Kabul: 07.05.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

254

Dipeptit Kaplı Manyetik Fe₃O₄ Nanopartikülünün Termal ve Dielektrik Özelliklerinin İncelenmesi

Investigation of Thermal and Dielectric Properties of Dipeptide Coated Magnetic Fe₃O₄ Nanoparticles

Eray ÇALIŞKAN^{1*}, Fatih BİRYAN², Kenan KORAN²

¹ Bingöl Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Bingöl, Türkiye

² Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, Elazığ, Türkiye

Eray ÇALIŞKAN ORCID No: 0000-0003-2399-4100

Fatih BİRYAN ORCID No: 0000-0001-9198-3329

Kenan KORAN ORCID No: 0000-0002-2218-7211

*Sorumlu yazar: ecaliskan@bingol.edu.tr

(Alınış: 14.03.2021, Kabul: 12.04.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

259

Rapid Characterization of Cell and Bacteria Counts using Computer Vision

Bilgisayarlı Görüş Kullanarak Bakteri ve Hücre Sayılarının Hızlı Karakterizasyonu

Fatih AKKOYUN¹, Adem ÖZÇELİK^{1*}

¹ Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Aydın, Türkiye

Fatih AKKOYUN ORCID No: 00000-0002-1432-8926

Adem ÖZÇELİK ORCID No: 0000-0002-3124-795X

*Sorumlu yazar: aozcelik@adu.edu.tr

(Alınış: 24.03.2021, Kabul: 11.05.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

269

Termal Buharlaştırma Yöntemiyle Hazırlanan Al/TiO₂/p-Si Schottky Diyotun Elektriksel Özelliklerinin Sıcaklık ve Aydınlanma Şiddetine Bağlı İncelenmesi

Investigation of Dependent on Temperature and Illumination Density Electrical Properties of Al/TiO₂/P-Si Schottky Diode Prepared by Thermal Evaporation

Ömer SEVGİLİ^{1*}

¹ Bingöl Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Bingöl, Türkiye

Ömer SEVGİLİ ORCID No: 0000-0003-1740-1444

*Sorumlu yazar: omersevgili06@gmail.com

(Alınış: 07.05.2021, Kabul: 24.05.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

275

The Killer Traps of Waters; Parachute Fishing Net Bingöl Example

Suların Katil Tuzakları; Tırıvrı Bingöl Örneği

Nimetullah KORKUT^{1*}, Mustafa KOYUN², Abdullah MART³

¹ Bingöl University, Institute of Science, Biology, Bingöl, Turkey

² Bilecik Şeyh Edebali University, Faculty of Arts and Science, Molekuler Biology and Genetic, Bilecik, Turkey

³ Osmaniye Korkut Ata University, Faculty of Arts and Science, Biology, Osmaniye, Turkey

Nimetullah KORKUT ORCID No: 0000-0002-6016-0028

Mustafa KOYUN ORCID No: 0000-0002-8117-5966

Abdullah MART ORCID No: 0000-0001-6539-9188

*Sorumlu yazar: nkorkut@bingol.edu.tr

(Alınış: 2.11.2020, Kabul: 25.05.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

284

Astronomik Gözlemlerde Yeni Bir Çağ: Kütleçekim Dalga Detektörleri

Usher In A New Era Of The Astronomical Observations: Gravitational Wave Detectors

Figen BİNBAY^{1*}, İlhan CANDAN²

¹ Dicle Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Diyarbakır, Türkiye

² Dicle Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Diyarbakır, Türkiye

Figen BİNBAY ORCID No: 0000-0002-1390-4151

İlhan CANDAN ORCID No: 0000-0001-9489-5324

*Sorumlu yazar: figenbinbay@hotmail.com

(Alınış: 14.08.2020, Kabul: 28.02.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

290

Sütçü İneklerde Neonatal Dönemde Anne ve Yavruya Gösterilecek Özen

The Care of Dam and Calf in Dairy Cows in Neonatal Period

Onur BAHAN¹, Ahmet GÖZER², Mustafa Kemal SARIBAY^{2*}, Emre KARSAVURANOĞLU²

¹ Yozgat Bozok Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Klinik Bilimler Bölümü, Veterinerlik Doğum ve Jinekolojisi Anabilim Dalı, Yozgat, Türkiye

² Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Klinik Bilimler Bölümü, Veterinerlik Doğum ve Jinekolojisi Anabilim Dalı, Hatay, Türkiye

Onur BAHAN ORCID No: 0000-0003-0878-6338

Ahmet GÖZER ORCID No: 0000-0001-8658-5916

Mustafa Kemal SARIBAY ORCID No: 0000-0002-9903-4942

Emre KARSAVURANOĞLU ORCID No: 0000-0002-9771-8750

*Sorumlu yazar: saribaymk@yahoo.com

(Alınış: 20.08.2020, Kabul: 09.03.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Periparturient Dönemde Süt Sığırlarında Sıklıkla Görülen Subklinik Metabolik Hastalıklara Güncel Yaklaşımlar

Current Approaches to Common Subclinical Metabolic Diseases in Dairy Cattle During the Periparturient Period

Kerim Emre YANAR^{1*}, Mustafa Sinan AKTAŞ¹

¹ Atatürk Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Klinik Bilimler Bölümü, Erzurum, Türkiye

Kerim Emre YANAR ORCID No: 0000-0001-7302-7077

Mustafa Sinan AKTAŞ ORCID No: 0000-0002-7206-5757

*Sorumlu yazar: emre.yanar@atauni.edu.tr

(Alınış: 22.10.2020, Kabul: 08.02.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Afet Yönetimi ve Kablosuz İletişim Sürekliliğine Genel Bakış

An Overview of Disaster Management and Wireless Communication Continuity

Gizem ORTAÇ¹, Derya YILTAŞ-KAPLAN^{1*}

¹ İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Gizem ORTAÇ ORCID No: 0000-0003-1228-9852

Derya YILTAŞ-KAPLAN ORCID No: 0000-0001-8370-8941

*Sorumlu yazar: dyiltas@iuc.edu.tr

(Alınış: 10.12.2020, Kabul: 30.04.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Türkiye Florasında Peyzaj Özelliği Gösteren Hiperakümülatör Bitkilerin Maden Alanlarının Onarımında Kullanımı

Use of Hypreaccumulator Plants With Landscape Features in Turkey Flora in the Restoration of Mining Areas

Aslıhan ESRİNGÜ^{1*}, Işık SEZEN¹

¹ Atatürk Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Erzurum, Türkiye

Aslıhan ESRİNGÜ ORCID No: 0000-0002-7930-5290

Işık SEZEN ORCID No: 0000-0003-0304-9072

*Sorumlu yazar: esringua@atauni.edu.tr

(Alınış: 06.11.2020, Kabul: 15.06.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

298

304

316

327



Merkapto-Fonksiyonlu Kaliks[4]aren Bazlı Polimer İçerikli Membranın Ağır Metal Taşıma Verimliliği

Mehmet Soner ENGIN^{1*}, Serkan SAYIN², Seydahmet CAY²

¹Department of Food Engineering, Faculty of Engineering, Giresun University, 28200 Güre, Giresun, Turkey.

²Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Giresun

Mehmet Soner ENGIN: ORCID NO 0000-0001-5954-5628

Serkan SAYIN: ORCID NO 0000-0003-0518-3208

Seydahmet CAY: ORCID NO 0000-0003-0045-8217

*Sorumlu yazar: soner.engin@giresun.edu.tr

(Alınış: 15.05.2020, Kabul: 01.04.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Anahtar Kelimeler

Kaliksaren,
İyon taşınımı,
Ağır metaller,
Polimer
içerikli
membran

Öz: Bu çalışmada, bazı ağır metallerin, yeni bir membran (HS-C@PIM) kullanılarak sulu ortamdan verimli bir şekilde taşınması tasarlanmıştır. Bu amaçla; ağır metaller için uygun bir bağlanma yeri olan bir merkapto-süstitüe kaliksaren türevi polimer içeren membranda taşıyıcı olarak kullanıldı. HS-C@PIM'in yapısını ve yüzey morfolojisini değerlendirmek için taramalı elektron mikroskopisi (SEM), Termogravimetrik analiz (TGA) ve elementel analiz teknikleri kullanıldı. HS-C@PIM' nin Cu(II), Zn(II), Pb(II), Ni(II), Cd(II) ve Co(II) ye karşın katyon taşıma etkinliğini değerlendirmek için Donnan diyaliz yöntemi uygulanmıştır. Sonuçlar, sırasıyla %48.6, %43.63, %47.08, %53.31, %39.00 and %49.42 olarak hesaplanmıştır.

1

Heavy Metal Transport Efficiency of Mercapto-Functionalized Calix[4]arene Based Polymer Inclusion Membrane

Keywords

Calixarene,
Ion
transportation,
Heavy metals,
Polymer
inclusion
membrane

Abstract: In this study, an efficient transportation of some heavy metals from aqueous media by using a novel membrane (HS-C@PIM) is designed. To this end, a mercapto-substituted calixarene derivative having a convenient binding sites for heavy metals was used as carrier in polymer inclusion membrane. Scanning electron microscopy (SEM), Thermogravimetric analysis (TGA) and elemental analysis techniques were used to assess the structure and surface morphology of HS-C@PIM. Donnan dialysis method was carried out to evaluate the cation transport efficiency of HS-C@PIM against Cu(II), Zn(II), Pb(II), Ni(II), Cd(II) and Co(II). The results were calculated as 48.64%, 43.63%, 47.08%, 53.31%, 39.00% and 49.42% respectively.

1. INTRODUCTION

The rapid development of industry is the primary source of heavy metal ions. In addition to increasing contamination of industrial wastewater, it contributes to anthropogenic sources and agricultural wastes. Its accumulation in humans causes kidney failure, nervous system damage and bone damage and other serious diseases [1]. So far, a number of effective methods have been reviewed for the removal of heavy metals such as ion exchange, chemical precipitation, electrodialysis, reverse osmosis, nanofiltration, ultrafiltration, flocculation, flotation, coagulation, etc [2].

Membrane separation is a very important process for water purification. The high performance polymer membranes cost-effective, energy-efficient and environmentally friend. Various types of membranes continue to be developed for treatment applications [3]. Polymer inclusion membranes (PIMs) have better stability compared with other types of liquid membranes including BLMs (bulk liquid membranes), ELMs (emulsion liquid membranes) and SLMs (supported liquid membranes) due to negligible loss of carrier reagent from the membrane. Therefore, PIMs are becoming of great interest for the transport and separation of chemical species [4-7].

The elemental chemical composition of PIM is of the high-molecular-weight base polymer (cellulose triacetate

(CTA) or polyvinylchloride (PVC)), a plasticizer, and a carrier. In the literature, there are many chemicals used as carriers, oximes, [8] thiocrown ethers, [9] calixarenes, [10; 11] azo-compounds, [12] dithiocarbamates [20] and thiophosphorus species [13]. In this work, we have developed a novel polymer inclusion membrane embedded mercapto derivative of calixarene was fabricated to investigate its transport efficiency towards some heavy metals. For this aim, synthesis of a mercapto-substituted calix[4]arene containing dicarboxylic acid units (5) was performed according to the literature [14-18]. Next, the mercapto-substituted calix[4]arene containing dicarboxylic acid units (5) was used to prepare the embedded mercapto derivative of calixarene (HS-C@PIM) in the media of 2-nitrophenyl octyl ether (o-NPOE) and cellulose triacetate (CTA). TGA, SEM and elemental analysis techniques were used to elucidate the structure and surface morphology of C@PIM. In addition, the capacity of HS-C@PIM to transport trace metals has been successfully investigated using a Donnan dialysis system.

2. EXPERIMENTAL

2.1. Chemicals and Materials

N,N-dimethylformamide (DMF), dichloromethane (DCM), hydrochloric acid (HCl), lead(II) nitrate ((Pb(NO₃)₂), cadmium(II) nitrate tetrahydrate ((Cd(NO₃)₂·4H₂O)), Copper sulphate pentahydrate (CuSO₄·5H₂O) and cobalt sulphate hexahydrate (CoSO₄·7H₂O), were purchased from Merck. Nickel(II) sulfates (NiSO₄) and Zinc(II) nitrate (Zn(NO₃)), cellulose triacetate (CTA-678.6 g/mol), 2-nitrophenyl octyl ether (o-NPOE) was purchased from Sigma-Aldrich. TLC silica gel plates (SiO₂, Merck PF254) were performed for thin layer chromatography studies. The Gallenkamp instrument was used for melting point determination. Bruker 400 MHz spectrometer was used for NMR spectra. All solutions were prepared from a Milli-Q (Millipore Corp.) using ultrapure water.

2.2. Synthesis

Literature procedures was applied to synthesize p-tert-butylcalix[4]arene (1), 5,11,17,23-tetra-tert-butyl-25,27-bis-(bromopropoxy)-26,28-dihydroxycalix[4]arene (2), 5,11,17,23-tetra-tert-butyl-25,27-bis(3-thiol-1-oxypropane)-26,28-dihydroxycalix[4]arene (3), 5,17-bis-tert-butyl-11,23-dicarboxaldehyde-25,27-dihydroxy-26,28-bis(3-thiol-1-oxypropane)calix[4]arene (4) and 5,17-bis-tert-butyl-11,23-dicarboxylic acid-25,27-dihydroxy-26,28-bis(3-thiol-1-oxypropane)calix[4]arene (5) were synthesized by procedures published in the literature [14-18].

2.2.1. 5,17-Bis-tert-butyl-11,23-dicarboxaldehyde-25,27-dihydroxy-26,28-bis(3-thiol-1-oxypropane)-calix[4]arene (4)

Yield: 0.15 g (55.6%), m.p.; 262-264 oC. ¹H NMR (400 MHz, CDCl₃): δ 9.71 (s, 2H, -CHO), 7.59 (s, 4H, ArH), 7.14 (s, 4H, ArH), 4.22 (d, 4H, J = 12.8 Hz, CH₂), 4.06

(t, 4H, J = 4.8 Hz, O-CH₂), 3.53 (d, 4H, J = 12.8 Hz, CH₂), 3.44-3.46 (m, 4H, CH₂-S), 3.44-3.45 (m, 4H, CH₂), 2.42-2.48 (m, 2H, -SH), 1.19 (s, 18H, (CH₃)₃C). ¹³C NMR (400 MHz, CDCl₃): δ 190.79, 159.40, 148.95, 148.81, 132.61, 130.97, 129.15, 128.68, 126.53, 75.16, 34.43, 33.82, 32.10, 31.29, 28.22. Anal. Calcd for C₄₄H₅₂O₆S₂: C, 71.32; H, 7.07; S, 8.65. Found (%); C, 71.29; H, 7.17; S, 8.56.

2.2.2. 5,17-Bis-tert-butyl-11,23-dicarboxylic acid-25,27-dihydroxy-26,28-bis(3-thiol-1-oxypropane)-calix[4]arene (5)

Yield: 0.015 g (43%), m.p.; 160-162 oC. ¹H NMR (400 MHz, DMSO): δ 7.82 (s, 4H, ArH), 7.16 (s, 4H, ArH), 4.08-4.22 (m, 8H, CH₂ and O-CH₂), 3.48-3.68 (m, 8H, CH₂ and CH₂-S), 2.27-2.47 (m, 4H, CH₂), 1.99 (brs, 2H, -SH), 1.11 (s, 18H, (CH₃)₃C). ¹³C NMR (400 MHz, DMSO): δ 167.66, 157.56, 149.95, 147.86, 132.77, 130.81, 128.45, 126.51, 121.98, 76.20, 34.54, 34.11, 31.53, 31.38, 26.52. Anal. calcd for C₄₄H₅₂O₈S₂: C, 68.37; H, 6.78; S, 8.30. Found (%); C, 68.31; H, 6.67; S, 8.48.

2.3. Polymer inclusion membrane preparation

Polymer inclusion membranes with calixarene additive were fabricated according to our previous study [19]. Support CTA (0.2 g) and ion carrier (10 mg) were dissolved in dichloromethane (20 mL), and the mercapto-substituted calix[4]arene containing dicarboxylic acid units (5) (10 mg) were dissolved in dichloromethane (20 mL), and then a solution was prepared by adding plasticizer (o-NPPE, 0.3 mL). Obtained mixture was poured onto a glass petri dish and then the volatile component was evaporated under room temperature. Finally, calixarene-based membrane was easily taken up after pouring pure water on glass petri dish (Zawierucha et al., 2013). The thickness of the calixarene-based membrane was determined with a digital micrometer (Mitutoyo). No significant flow was observed from the membrane in the control experiments.

2.4. Characterization

Thermogravimetric analysis, elemental analysis (TGA) and scanning electron microscope (SEM) techniques were performed to characterize HS-C@PIM.

2.5. Transport Experiments

Donnan dialysis method as the transport of heavy metal ions to an aqueous solution was carried out using a cell consisting of two detachable sections made of Teflon [3]. The Membrane, with a surface area of 7 cm², is firmly clamped between two 40 mL chambers. Both chambers were mixed with a magnetic stirrer at 500 rpm during the experiment. All measurements were carried out at 24°C. While the receiving phase contains deionized water, the feed phase contains 10-5 mol / L heavy metal solutions complexed with picric acid. The solution (1 mL) was sampled at regular intervals (every 2 hours) and the amount of heavy metal ions passing

through the membrane was measured with UV-VIS. (Hach Lange DR 6000 model).

The value of the starting flux (J_0 , mol m²-s⁻¹) was used to evaluate the transition rate of HS-C@ PIMs in the PIM / solution interface, calculated using the equation below:

$$J_0 = -\left(\frac{V}{A}\right)\left(\frac{dC}{dt}\right)_{t=0} = -\left(\frac{V}{A}\right)\left(\frac{C_t - C_{t=0}}{t}\right)$$

where $A = 7.0 \times 10^3$ m², the feed solution is exposed to the membrane area, $V = 0.4 \times 10^5$ m³ is the feed solution volume, $C_{t=0}$ and C_t are the initial and final metal concentrations in the feed solution (mol m³-), respectively, $t = 144$ h.

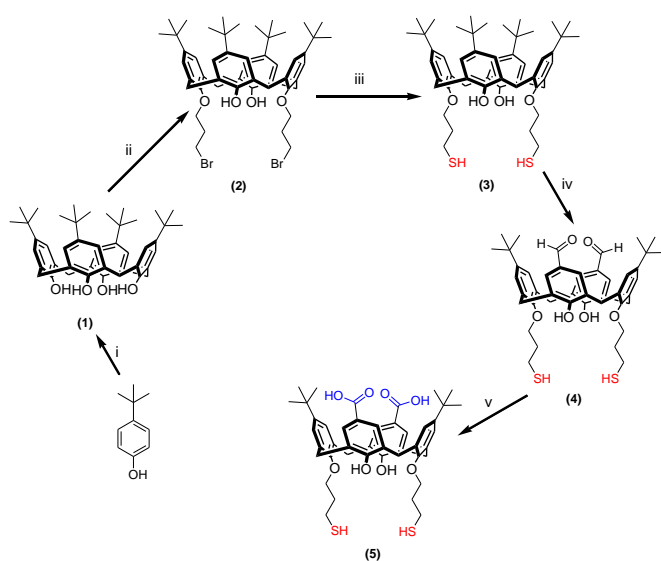
The recovery factors (% RF) of trace metals were calculated from the following equation:

$$\%RF = \left(1 - \frac{C_r}{C_f}\right) \cdot 100$$

where C_r and C_f (mol/L) were metal concentrations in the receiver and the feed phases, respectively.

3. RESULT AND DISCUSSION

3.1. Synthesis and Characterization



Scheme 1. Synthesis of the mercapto-substituted calix[4]arene containing dicarboxylic acid units (5). Reaction conditions: (i) HCHO; NaOH; (ii) K₂CO₃; 1,3-dibromopropane; (iii) thiourea, KOH; (iii) TFA, hexamethylenetetramine; and (iv) sulfamic acid, sodium chlorite.

The carrier employed in the study is depicted in Scheme 1. In order to synthesis target calixarene derivative, convenient literature procedures were applied. Incorporated mercapto derivative of calixarene was then used as an additive in the media of cellulose triacetate (CTA) and o-NPOE to afford a new polymer inclusion membrane embedded calixarene(HS-C@PIM). A combination of TGA, SEM and elemental analysis

techniques was used to assess the structure and surface morphology of HS-C@PIM.

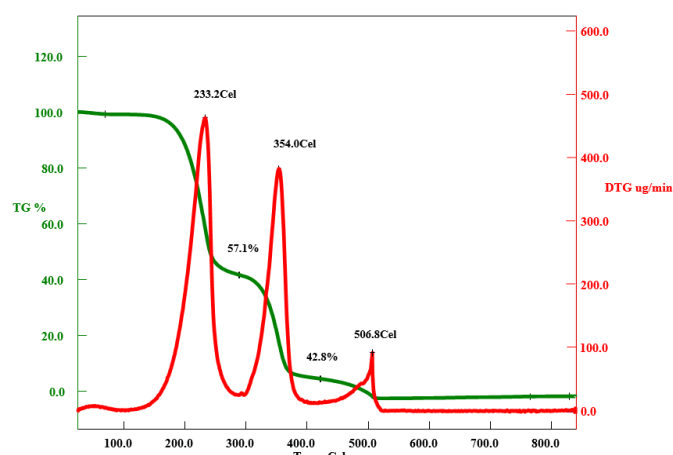


Figure 1. The TGA curves of HS-C@PIM

Thermogravimetric analysis (TGA) was performed to determine the thermal properties of new calix[4]arene-based polymer inclusion membrane (HS-C@PIM). As shown in Fig.1, almost complete thermal decomposition of HS-C@PIM was found at 130-520 oC. It was assumed that the decomposition the mercapto-substituted calix[4]arene containing dicarboxylic acid units (5) as well as thermal depolymerisation of CTA might be resulted the weight loss in a large scale.

The morphology of the polymer inclusion membrane without HS-C@PIM and calixarene was evaluated by scanning electron microscopy (SEM) (see Figure 2-a,b). When comparing both images, prominent differences over morphology associating shape and distribution for HS-C@PIM are seen (Figure 2b). This finding clearly ascribed that the mercapto-substituted calix[4]arene containing dicarboxylic acid units (5) was successfully embedded in the polymer inclusion membrane.

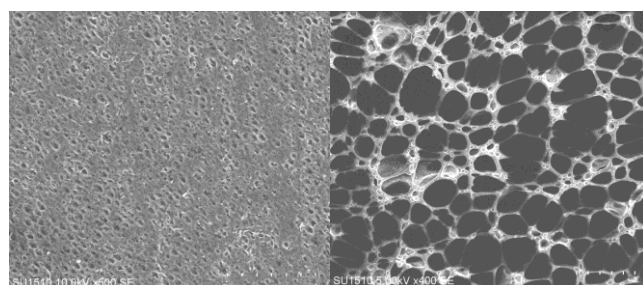


Figure 2. The SEM images (a) the polymer inclusion membrane without calixarene (b) HS-C@PIM

The amount of charged 5,17-bis-tert-butyl-11,23-dicarboxylic acid-25,27-dihydroxy-26,28-bis(3-thiol-1-oxypropane) calix[4]arene on HS-C@PIM was determined using elemental analysis technique. As given in Table 1, result regarding the sulfur amount of 5,17-bis-tert-butyl-11,23-dicarboxylic acid-25,27-dihydroxy-26,28-bis(3-thiol-1-oxypropane) calix[4]arene showed that HS-C@PIM has 0.44% sulfur content which corresponds to 0.28mmol of HS-C@PIM/g of support (Table 1).

Table 1. Elemental analysis results of HS-C@PIM.

| | C(%) | H(%) | S(%) | N(%) | Amount of the loaded calix[4]arene (mmol/g) |
|-----------------|-------|------|------|------|---|
| Blank | 62.07 | 7.40 | - | 3.86 | - |
| HS-C@PIM | 52.07 | 6.33 | 0.44 | 1.40 | ~0.28 |

3.2. Transport Studies

The flux values of heavy metals were calculated by using the initial phase technique and time profile of the receiver phase concentration. The results given in Table 2 were obtained at the 95% confidence level (N = 3). The RF values of the, Cu(II), Zn(II), Pb(II), Ni(II), Cd(II) and Co(II) were also shown in Table 2. It was found that the highest RF and flux values of heavy metals were obtained with Cu (II).

Table 2. Fluxes and values of different ions for HS-C@PIM

| Ion | Jx1015 (mol.cm ⁻² .s ⁻¹) | RF |
|--------|---|-------|
| Pb(II) | 1524.00 (± 0.01) | 47.08 |
| Zn(II) | 1211.00 (± 0.01) | 43.63 |
| Cu(II) | 1602.00 (± 0.01) | 48.64 |
| Ni(II) | 1767.00 (± 0.01) | 53.31 |
| Cd(II) | 1416.00 (± 0.01) | 39.00 |
| Co(II) | 1795.00 (± 0.01) | 49.42 |

3.3. Stability of HS-C@PIM

Under the same experimental conditions, to assess the life of HS-C@PIM, the carrying capacity of the membrane for Ni(II) was examined (Feed phase: 0.1 mol / L HCl solution; Receptor phase: 10-4 mol / L Ni (II)). Transport experiments were carried out using the same membrane and renewed solutions in four runs that lasted 24 hours. The transport of Ni(II) ions was observed to decrease with the number of studies and was approximately 53% lower than the initial concentration. When the experiments lasting 2 months were completed, no structural deformation was observed in the membranes. In addition, membranes were kept in pure water after each experiment.

4. CONCLUSION

A synthesis of a new calixarene-based polymer inclusion membrane was introduced, and spectroscopic and other techniques were carried out to characterize it. Donnan dialysis method was applied to evaluate the metal transport efficiency of HS-C@PIM against Cu (II), Zn (II), Pb (II), Ni (II), Cd (II) and Co (II). The findings are given below:

- 1) SEM images showed that the calixarene derivative was successfully embedded in the membrane compared to the control membrane.
- 2) It was observed that the highest flux and RF values among heavy metals were obtained with Ni(II). In these

experiments, transport was carried out using Donnan dialysis.

3) Transport experiments were carried out six times in 24-hour periods using the same membrane. The amount of Ni (II) obtained was approximately 53% lower than the initial concentration.

4) It seems to be a feasible method with HS-C@PIM to remove six metal ions, especially Ni(II) from the aqueous solution by Donnan dialysis method.

Acknowledgement

In this study, for financial support we would like to thank to Turkey's Scientific and Technological Research Council (TUBITAK Grant Number 215Z570).

REFERENCES

- [1] Ferguson JE. The Heavy Elements: Environment Impact and Health Effects. Pergamon Press, Oxford 1990.
- [2] Khulbe KC, Matsuura T. Removal of heavy metals and pollutants by membrane adsorption techniques. *Appl Water Sci* 2018; 8(1).
- [3] Koseoglu TS, Kir E, Ozkorucuklu SP, Karamizrak E. Preparation and characterization of P2FAn/PVDF composite cation-exchange membranes for the removal of Cr(III) and Cu(II) by Donnan dialysis. *React Funct Polym* 2010; 70(11): 900-7.
- [4] Bonggotgetsakul YYN, Cattrall RW, Kolev SD. Recovery of gold from aqua regia digested electronic scrap using a poly (vinylidene fluoride-co-hexafluoropropene) (PVDF-HFP) based polymer inclusion membrane (PIM) containing Cyphos (R) IL 104. *J Membrane Sci* 2016; 514: 274-81.
- [5] Mahanty B, Mohapatra PK, Rant DR, Das DK, Behere PG, Afzal M, et al. Polymer Inclusion Membrane Containing a Tripodal Diglycolamide Ligand: Actinide Ion Uptake and Transport Studies. *Ind Eng Chem Res* 2016; 55(7): 2202-9.
- [6] Kebiche-Senhadji O, Mansouri L, Tingry S, Seta P, Benamor M. Facilitated Cd(II) transport across CTA polymer inclusion membrane using anion (Aliquat 336) and cation (D2EHPA) metal carriers. *J Membrane Sci* 2008; 310(1-2): 438-45.
- [7] Nghiem LD, Mornane P, Potter ID, Perera JM, Cattrall RW, Kolev SD. Extraction and transport of metal ions and small organic compounds using polymer inclusion membranes (PIMs). *J Membrane Sci* 2006; 281(1-2): 7-41.
- [8] Cooper CA, Lin YS, Gonzalez M. Separation properties of surface modified silica supported liquid membranes for divalent metal removal/recovery. *J Membrane Sci* 2004; 229(1-2): 11-25.
- [9] Bagheri M, Mashhadizadeh MH, Razee S. Solid phase extraction of gold by sorption on octadecyl silica membrane disks modified with pentathia-15-crown-5 and determination by AAS. *Talanta* 2003; 60(4): 839-44.

- [10] Bozkurt S, Yilmaz M, Sirit A. Chiral calix[4]arenes bearing amino alcohol functionality as membrane carriers for transport of chiral amino acid methylesters and mandelic acid. *Chirality* 2012; 24(2): 129-36.
- [11] Cay S, Sayin S, Engin MS. Calix[4]arene Embedded Polyamide Supported Liquid Membrane for Separation of Heavy Metals from Aqueous Solutions. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology* 2020; 8(2): 387-91.
- [12] Nisola GM, Cho E, Beltran AB, Han M, Kim Y, Chung WJ. Dye/water separation through supported liquid membrane extraction. *Chemosphere* 2010; 80(8): 894-900.
- [13] Rovira M, Sastre AM. Modelling of mass transfer in facilitated supported liquid-membrane transport of palladium(II) using di-(2-ethylhexyl) thiophosphoric acid. *J Membrane Sci* 1998; 149(2): 241-50.
- [14] Gutsche CD, Nam KC. Calixarenes .22. Synthesis, Properties, and Metal Complexation of Aminocalixarenes. *J Am Chem Soc* 1988; 110(18): 6153-62.
- [15] Vanloon JD, Arduini A, Coppi L, Verboom W, Pochini A, Ungaro R, et al. Selective Functionalization of Calix[4]Arenes at the Upper Rim. *J Org Chem* 1990; 55(21): 5639-46.
- [16] Demirtas HN, Bozkurt S, Durmaz M, Yilmaz M, Sirit A. Chiral calix[4]azacrowns for enantiomeric recognition of amino acid derivatives. *Tetrahedron* 2009; 65(15): 3014-8.
- [17] Kurzatowska K, Sayin S, Yilmaz M, Radecka H, Radecki J. Calix[4]arene derivatives as dopamine hosts in electrochemical sensors. *Sensor Actuat B-Chem* 2015; 218: 111-21.
- [18] Akin S, Gulen M, Sayin S, Azak H, Yildiz HB, Sonmezoglu S. Modification of photoelectrode with thiol-functionalized Calix[4]arenes as interface energy barrier for high efficiency in dye-sensitized solar cells. *J Power Sources* 2016; 307: 796-805.
- [19] Engin MS, Sayin S, Cay S, Kir E, Sardohan-Koseoglu T. Preparation and characterisation of thiol functionalised p-tert-butylcalix[4]arene-embedded polymer inclusion membranes: performance and selectivity. *Int J Environ an Ch* 2019; 99(11): 1103-11.
- [20] Arslan G, Yilmaz A, Tor A, Ersoz M. Preparation of polymer inclusion membrane with sodium diethyldithiocarbamate as a carrier reagent for selective transport of zinc ions. *Desalination and Water Treatment* 2017; 75: 348-356.



Geopolimer Beton ve Geleneksel Beton Üretim Süreçlerinden Kaynaklı CO₂ Salınımının Metasezgisel Yöntemlerle Belirlenmesi

Alper ÇAKMAK¹, Mücteba UYSAL^{2*}

¹ İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

² Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Alper ÇAKMAK ORCID No: 0000-0001-6642-0807

Mücteba UYSAL ORCID No: 0000-0002-6827-9904

*Sorumlu yazar: mucteba@yildiz.edu.tr

(Alınış: 15.06.2020, Kabul: 22.03.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Anahtar Kelimeler

CO₂ emisyonu, geopolimer beton, Geleneksel beton, Öğretme-öğrenme tabanlı algoritma, Çiçek tozlaşma algoritması

Öz: Bu çalışmada, metasezgisel algoritmalarla öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon (TLBO) ve çiçek tozlaşma algoritması (FPA) kullanılarak; geopolimer beton ve geleneksel beton üretim süreçlerinden kaynaklı CO₂ salınımı karşılaştırması; betonarme kolon, kiriş ve tekil temel tasarımı üzerinden yapılmıştır. Optimizasyonun amacı; tasarım şartlarına uygun bir şekilde, betonarme malzemeleri üretim süreçlerinden kaynaklı minimum CO₂ emisyonu verecek boyutlandırmayı bulmaktır. Optimum tasarımlar, geleneksel beton kullanılması ve geopolimer beton kullanılması durumlarına göre ayrı ayrı irdelenmiştir. Çalışma sonucunda, betonarme eleman üretimi sırasında, geleneksel beton yerine geopolimer betonun kullanımının CO₂ emisyon miktarının %40-%58 arasında düşürdüğü tespit edilmiştir.

6

Determination of CO₂ Emissions Depending Geopolymer Concrete and Conventional Concrete Production Provided Metaheuristic Algorithms

Keywords

CO₂ emission, geopolymer concrete, Conventional concrete, Teaching learning based algorithm, Flower pollination algorithm

Abstract: In this study, using teaching-learning based optimization (TLBO) algorithm and flower pollination algorithm (FPA) which are the metaheuristic algorithms, reinforced concrete column, beam and column footing are designed by comparing to determine CO₂ emissions occurred due to geopolymer concrete and conventional concrete production processes. The aim of the optimization is to find the dimensioning that will give minimum CO₂ emissions from the production processes of reinforced concrete materials in accordance with the design requirements. Optimum designs have been found separately according to the use of conventional concrete and geopolymer concrete. At the end of the study, it was found that using geopolymer concrete instead of conventional concrete during the production of reinforced concrete elements reduced CO₂ emission amount between 40% and 58%.

1. GİRİŞ

Önceki zamanlarda medeni ihtiyaç olarak mağaralar, çalılık, ağaçlar kullanılırken bu süreç çadır ile devam etmiş ve günümüzde ise yerini ağırlıklı olarak betonarme ve çelik yapılara bırakmıştır. Uygarlığın gelişmesi, getirdiği kolaylıkların yanında, evrenin düzenine etki edecek bazı oluşumlara da sebep olmuştur. Sera gazı ise bu düzene etkiyecek önemli sebeplerden biri olarak kabul edilmektedir. Karbon dioksit (CO₂), metan (CH₄),

nitrik oksit (N₂O), hidroflorür karbonlar (HFCs) gibi sera gazları, atmosferdeki kızıl ötesi ışınlarını tutarak küresel ısınmaya neden olur. Küresel ısınmaya neden olan sera gazı kaynaklarının sektörlerimize göre dağılımı incelendiğinde ise yapı sektörü etkisinin %8 olduğu belirlenmiştir [1].

Yapı sektörü incelediğinde ise dayanıklılığı, imalat kolaylığı ve ekonomikliği nedeniyle özellikle gelişmekte olan ülkeler tarafından betonarme yapıların daha çok tercih edildiği görülmektedir. Yaygın olarak tercih edilen

bu yapı türünü oluşturan malzemelerin küresel ısınmaya etkisi birçok araştırmaya konu olmuştur. Yapılan araştırmalara göre tek başına çimento sektörünün, dünyadaki toplam CO₂ salınımına etkisinin yaklaşık olarak %5-7 iken demir çelik sektörünün toplam salınımına etkisinin %4 ve %7 arasında olduğu tespit edilmiştir [2,3].

Daha çok uçucu kül ve yüksek fırın cürufu kullanılarak üretilen geopolimer beton, geleneksel betona göre çevreci olduğu için dikkat çekmektedir. Bu beton türünü üretmek için hem atık malzemelerin kullanılması hem de bağlayıcıları üretim aşamasındaki yakıt karşılaştırıldığında geleneksel betona göre 6 kat daha az CO₂ salınımına neden olmasıyla sera gazı etkisi açısından önemlidir [4]. Geleneksel Portland çimentosu üretilirken, 1 ton kalkerin yakılması sonucunda; direkt kalker kaynaklı 0,55 ton, fırınlama işleminde kullanılan yakıt kaynaklı ise 0,40 ton CO₂ ortaya çıkmaktadır [5]. Başka bir ifadeyle yaklaşık olarak 1 ton geleneksel Portland çimentosu üretimi için atmosfere 1 ton CO₂ salınmaktadır. Geopolimer üretiminde ise; direkt olarak reaksiyon kaynaklı CO₂ salınımı meydana gelmemektedir [5]. Geopolimer betonlar geleneksel betonlar kadar henüz popüler olmamakla birlikte yol kaplamalarında, dayanma duvarlarında, su tanklarında, prefabrik köprü tabliyelerinde kullanılmaktadır [6]. Dünyanın ilk geopolimer betondan üretilmiş yapısı ise The University of Queensland's Global Change Institute (GCI) binasıdır [7].

Mühendisliğin temel işlevlerinden birisi optimizasyondur; çözümlenmeleri yapılırken optimum sonucu bulma amacıyla yöntemler geliştirilmektedir. Optimum çözümü bulmaya yönelik yapılan çalışmalardan biri sezgisel algoritmalarıdır. Sezgisel algoritmalar, genellikle matematiksel olarak net bir sonucu bulunamayan problemlere kesin sonuca yakın bir çözüm bulma amacıyla kullanılır. Bu yapılırken, doğada gerçekleşen bir takım olaylardan ilham alınır. Metasezgisel algoritmalarda ise oluşturulan yöntem, sezgisel algoritmadaki gibi probleme özgü olmayıp farklı problemlere uyarlanabilir. Bu yöntemde izlenecek metod daha belirgin ve kontrollüdür.

Gerçekleştirilen çalışmada; geopolimer beton üzerine yapılmış literatür çalışmaları gündeme getirilmiş olup, kullanım alanları ve avantajları belirtilmiştir. Sonrasında metasezgisel algoritmalar detaylandırılarak öğretme-öğrenme tabanlı ve çiçek tozlaşma algoritmaları aktarılmıştır. Bu algoritmalar kullanılarak, önceden belirlenen tasarım şartları altında, dörtgen kesitli betonarme kolon, dörtgen kesitli betonarme kiriş ve kare tabanlı betonarme tekil temel tasarımı yapılmıştır. Algoritma amacı olarak betonarme elemanların üretim aşaması sırasında ortaya çıkacak minimum CO₂ emisyonunu veren tasarım seçilmiştir. Geopolimer beton ve geleneksel beton kullanım durumlarına göre iki farklı tasarım yapılmış olup, elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.

1970-1973 yılları arasında, Fransa'da daha çok organik plastik kaynaklı ortaya çıkan devasa yangınlar nedeniyle Prof. Dr. Joseph Davidovits yanmayan plastikler üzerine

araştırmalara odaklanmıştır. Jeokimya alanında, zeolitlerin sentezinin ve moleküler eleklerin; mineral bağlayıcı ile mineral polimer üretimleri için araştırılmadığını farketmiştir. Yarı kristalize üç boyutlu siliko-alüminat amorf malzemeleri geliştirerek geopolimerleri geliştirmiştir [8].

1973-1976 yıllarında, yapı malzemesi olarak kullanılan, reçine ile yapıştırılmış odun talaşlarının yüzeylerine siliko-alüminat mineralinin yerleştirilmesiyle yanmaya dirençli geopolimer suntalar elde edilmiştir. 1983 yılında Joseph Davidovits ve James Sawyer erken yüksek dayanımlı geopolimer bağlayıcılar ve çimentolar üzerine çalışmalar yapmıştır. Yüksek fırın cürufu kullanarak; priz süresini hızlandıran, basınç ve eğilme dayanımını arttıran geopolimer elde edilmiştir. Tehlikeli ve zehirli atıkların uzun süre saklanabilmesi için ise aside karşı dirençli, zeolit özellikli geopolimer bağlayıcılar geliştirilmiştir [8]. Kömür kullanılan endüstriden kaynaklı uçucu kül, sodyum hidroksit ve sodyum silikat ile birleştirilerek çevre dostu geopolimer malzeme elde edilmektedir. Geleneksel Portland çimentosunun yaklaşık %40'ı oranında yüksek hacimli uçucu kül kullanılarak yüksek dayanıma sahip betonlar elde edilmektedir. Bu alanda yapılan araştırmalar, yüksek uçucu kül ile üretilen betonların geleneksel Portland çimentosuyla üretilmiş betonlardan daha dayanıklı olduğunu göstermektedir [9]. Geopolimer betonlar kısa sürede yüksek dayanıma sahip olabilmektedir. Köprüler, hava yolları, dayanma duvarları, atık tankları, karayolu, restorasyon gibi birçok alanda kullanılmaktadır. 2014 yılında Avustralya'da açılan Brisbane West Wellcamp Havalimanı, Dünya'nın en geniş geopolimer beton projesidir. 40.000 m³ geopolimer beton; uçak dönüş alanlarında, apronlarda, taksi yollarında kullanılmıştır [10]. Havalimanı yol kaplaması için 435 mm kalınlığında geopolimer beton, kayan kaplama makinesiyle yerinde dökülmüştür [11]. Geleneksel Portland çimentosu ile üretilen betonun uygulanabilirlik, işlenebilirlik, ekonomiklik gibi birçok avantajı olmasına karşın; üretimi aşamasında sebep olduğu CO₂ salınımı nedeniyle çevreyi olumsuz yönden etkilemektedir. Çin'de yapılan bir araştırmaya göre; 1 ton klinker üretimi sırasında 0,822 ton, 1 ton çimento üretimi sırasında ise 0,657 ton CO₂ salınımı gerçekleşmektedir [12]. Türk çimento firmasının raporuna göre 2017 yılında 1 ton çimento üretimi sırasında 0,776 ton CO₂ salınımı olmaktadır [13]. Geopolimer üretimi aşamasında, geleneksel Portland çimentosundaki gibi yüksek sıcaklıklarda fırınlama aşaması olmadığı için, üretimi sırasındaki CO₂ salınımı açısından avantaj sağlamaktadır. Üretim aşamasındaki CO₂ emisyon miktarları incelendiğinde, geopolimerin geleneksel Portland çimentosuna göre yaklaşık %64 daha az emisyonu sebep olduğu belirlenmiştir [14].

Çalışmada yapılan hesaplarda sadece fabrikada beton ve çelik donatının üretimi aşamasında ortaya çıkan CO₂ emisyon miktarları göz önüne alınmıştır. İmalat yerine ulaştırma, yerleştirme, kütleme gibi nedenlerden dolayı ortaya çıkacak emisyon miktarları dikkate alınmamıştır. Ayrıca etriye, çiroz gibi beton metrajını düşürüp; donatı miktarını arttıran etkenler hesaba katılmamıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Metasezgisel Yöntemler

Sezgisel yöntemler, bir problemi çözmeye veya keşfetmeye yaklaşmak amacıyla kullanılan metotlardır. Ancak optimum sonucu, mükemmel veya gerçekçi sonucu vereceğini garanti etmez. Yine de kısa zamanda bir veriye ulaşabilmek için kullanılmaktadır. Sezgisel yöntemler, optimum sonucun imkansız ya da uygulanamaz olduğu problemlerde, hızlı bir şekilde tatmin edici çözümler bulabilmek için uygulanır [15].

Sezgisel yöntemler, belli bir problem üzerine sonuçlar bulurken; bu yöntemlerin parametrelere bağlanarak ve varsayımlar kullanılarak çeşitli problemler üzerinde optimuma yakın çözümü verecek şekilde geliştirilmesiyle metasezgisel (sezgi üstü) yöntemler elde edilmiştir. Metasezgisel yöntemler oluşturulurken, arama uzayında kullanılan değerler ve sonuçlar hafızada tutulur ve bir sonraki iterasyonla karşılaştırılarak iyileştirme yapılır. Metasezgisel yöntemler oluşturulurken doğada gerçekleşen bir takım olaylardan yararlanır. Doğada gözlemlenen olaylar, matematiksel formüllere dökülerek metotlar oluşturulmuştur. Metasezgisel yöntemler; esinlendikleri kaynaklara, aramada kullandıkları çözüm sayısına, amaç fonksiyonu özelliğine, komşuluk yapısına, hafıza kullanımına göre sınıflandırılır [16].

2.1.1. Öğretme-Öğrenme Tabanlı Algoritma

Öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon algoritması, öğretmenin öğrenciler üzerindeki etkisinden yararlanarak, çözüm popülasyonunu kullanarak çözüme ulaşmayı hedeflemektedir.

Algoritmada, öğretmenin tecrübesinden yararlanılarak öğrencilerin bilgi birikiminin artması, böylelikle optimum sonuca ulaşılması amaçlanmaktadır. Öğretmenin ve öğrencilerin kalitesi ne kadar yüksekse öğrenme miktarı yükselir, sınıf kalitesi artar ve algoritma daha iyi sonuçlar verir. Öğretme-öğrenme tabanlı algoritma, “öğretmen aşaması” ve “öğrenci aşaması” olmak üzere iki kısımdan oluşur. “Öğretmen aşaması”, öğretmenden öğrenmeyi, “öğrenci aşaması” ise öğrencilerin birbirleri ile etkileşiminden kaynaklı öğrenmeyi ifade eder [17].

Öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon; mekanik tasarım, kümeleme, yapısal makas tasarımı, biyoinformatik, ağ dağılımı, enerji yönetimi, maliyet ve emisyon minimizasyonu, çelik çerçeve tasarımı, hidrotermal planlama, veri madenciliğinde sinir ağı sınıflandırma, sabit mesnetli yapı tasarımı gibi birçok alanda kullanılmaktadır [18].

TLBO algoritması yardımıyla literatürdeki çeşitli yapılar tekrar tasarlanmış ve etkili sonuçlar elde edilmiştir [19]. Bir başka çalışmada ise betonarme konsol dayanma duvarının tasarımı için de önerilmiş uygulanabilir değerlere ulaşılmıştır [20]. Çelik yapılar alanında,

konstrüksiyon ağırlığını en az tutan optimum tasarımın elde edilmesi amacıyla da çeşitli çalışmalar yapılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir [21, 22, 23, 24]. TLBO algoritmasının, başka metasezgisel algoritmalarla birlikte hibrit olarak kullanılabilirliği ile başka algoritmalarla kıyaslanması da yapılan araştırmalar arasındadır [25, 26].

2.1.2. Çiçek Tozlaşma Algoritması

Çiçek tozlaşma algoritması, çiçekli bitkilerin tozlaşmasından yararlanılarak oluşturulmuştur. Çiçekli bitki tozlaşması ağırlıklı olarak kuş, arı, kelebek, sinek gibi hayvanların polenleri başka çiçeklere taşımasıyla oluşur. Bazı tozlaşmalar ise; yağmur, rüzgar gibi hayvansal olmayan etkenler sayesinde sağlanır. Canlılar tarafından gerçekleşen tozlaşmalara “biyotik”, canlılar tarafından gerçekleşmeyen tozlaşmalara ise “abiyotik” denilmektedir.

Tozlaşma şekli; çapraz tozlaşma ve kendi kendine tozlaşma (öz tozlaşma) olarak da ayrılabilir. Çapraz tozlaşma, farklı bitkilere ait çiçekler arasında; kendi kendine tozlaşma ise aynı bitkinin farklı çiçekleri arasında gerçekleşir. Çapraz tozlaşmada polenler uzun mesafeler kat ettiği için “küresel tozlaşma”, kendi kendine tozlaşmada ise polenler yakın çevrede hareket ettiği için “yerel tozlaşma” olarak adlandırılmaktadır. Küresel tozlaşma genellikle biyotik etkenler sayesinde, yerel tozlaşma ise abiyotik etkenler yardımıyla gerçekleşir. “Levy uçuşu” ise; doğadaki hayvanların, genellikle yiyecek bulma amacıyla, uzun mesafe seyahatleri sırasında izlediği rotayı ifade etmektedir. Yukarıdaki bilgiler esas alınarak çiçek tozlaşma algoritması dört kurala göre oluşturulmuştur [27]:

- Biyotik ve çapraz tozlaşma, Levy uçuşu yapan canlılar tarafından yapılan küresel tozlaşma olarak kabul edilmiştir.
- Abiyotik ve kendi kendine tozlaşma, yerel tozlaşma olarak kabul edilmiştir.
- Polenin tek bir çiçek türüne gitme sadakatı, iki çiçeğin benzerlik oranı olarak dikkate alınabilir.
- Yerel ve küresel tozlaşma, [0,1] aralığında bir değişken yardımı ile kontrol edilir.

Çiçek tozlaşma algoritması meteorolojik tahminde, boyutlandırma ve yerleştirme problemlerinde, ekonomik tahminlerde, enerji sistemleri tasarımında, çizelgeleme problemlerinde, yapı tasarımında kullanılmaktadır [28].

Yapı tasarım alanında; optimum betonarme dayanma duvarı ve temel tasarımı üzerine çalışmalar bulunmaktadır [29, 30].

2.2. Dörtgen Betonarme Kolon Tasarımı

Dörtgen kesite sahip betonarme kolona ait malzeme özellikleri ve maruz kalan yükler Tablo 1’de verilmektedir.

Tablo 1. Betonarme kolon özellikleri ve etkiyen yükler

| Beton Sınıfı | Donatı Sınıfı | Paspayı | Tasarım Momentleri | Tasarım Normal Kuvveti |
|--------------|---------------|---------|--|-------------------------|
| C25/30 | B420C | 4 cm | M _{xd} =150 kNm M _{yd} =600 kNm | N _d =1000 kN |

Kodlama sürecinde anlamlı olmayan kolon boyutları ataması yapılmaması amacıyla maksimum kolon boyutları 70 cm olarak belirlenmiştir. “for” döngüsü içerisinde, rastgele sayı atamaya yarayan “rand” komutu kullanılarak, belirlenen popülasyon sayısı kadar rastgele kolon boyutu atamaları yapılmıştır. Bu atama yapılırken TBDY-2018 yönetmeliği gereğince, atanacak boyutların en az 30 cm olması göz önüne alınmıştır. Rastgele kolon boyutları ataması yapıldıktan sonra; Aydın/Akgün/Topçu tabloları yardımıyla, gerekli donatı alanları bulunmuştur. “rand” komutu tam sayı vermediği için “ceil” kodu yardımıyla bulunan sayılar, tam sayıya yuvarlanmıştır. Kolon donatısı dağılımında, her kenara eşit olarak dağıtılmış donatı tasarımı seçilmiştir.

Kodlamadaki amaca göre; birim miktar beton üretim aşamasından ve çelik üretim aşamasından kaynaklı CO₂ emisyon miktarını, tasarım çözümleri kümesindeki beton ve çelik metrajlarıyla çarpıp, yapı elemanı imalatı nedeniyle ortaya çıkan toplam emisyonunun bulunması gerekmektedir. Toplam emisyon miktarının minimum olduğu donatı alanı ve beton metreküpü amaç değerleridir.

Geleneksel Portland çimentolu betondan ve geopolimer betondan kaynaklı emisyon miktarları kodlamada sabit değerler Tablo 2’de verilmektedir. Geleneksel beton üretim aşamasından kaynaklı CO₂ emisyon miktarı 316 kg/m³, geopolimer beton üretim aşamasından kaynaklı CO₂ emisyon miktarı ise 115 kg/m³ olarak tanımlanmıştır. Betonarme çelik donatısı üretim aşamasından kaynaklı CO₂ emisyon miktarı ise 0,76 kg/m³ olarak kabul edilmiştir [31].

Tablo 2. Geleneksel Portland çimentolu ve geopolimer betonların CO₂ emisyonları [14]

| Bileşen Ağırlıkları (kg/m ³) | | |
|--|-------------------------------------|------------------|
| Bileşen | Geleneksel Portland Çimentolu Beton | Geopolimer Beton |
| Çimento | 340 | |
| Cüruf | | 230 |
| Uçucu Kül | | 57 |
| Reaktif Atık | | 83 |
| Sodyum Silikat (%37) | | 33 |
| NaOH (%50) | | 24 |
| İyonsuz Su | 170 | 99 |
| Çakıl | 1878 | 1878 |
| Hammadde Kaynaklı CO ₂ Emisyonu | 316 | 115 |

h=3 m. yüksekliğinde bir kolon tasarımı yapıldığı varsayılmıştır. TS500:2000 ve TBDY-2018

yönetmeliklerine göre, yönetmelik şartları kodlanmıştır. Uygulanan yönetmelik şartları Tablo 3’te verilmektedir.

Tablo 3. Kolon için TS500:2000 ve TBDY-2018’e göre tasarım şartları

| Kolon için TS500:2000 ve TBDY-2018 Yönetmelik Şartları | |
|--|--|
| 1. | $N_d \leq 0,9 \times f_{cd} \times A_c$ |
| 2. | $N_d \leq 0,4 \times f_{ck} \times A_c$ |
| 3. | $M_{xd} \geq (15+0.03h) \times N_d$ |
| 4. | $M_{yd} \geq (15+0.03b) \times N_d$ |
| 5. | $b \geq 300$ mm |
| 6. | $h \geq 300$ mm |
| 7. | $\rho = A_{st} / (b \times h)$ ve $0,01 < \rho < 0,04$ |

N_d, tasarım normal kuvvetini; f_{cd}, beton tasarım basınç dayanımını; A_c, beton en kesit alanını; f_{ck}, beton karakteristik basınç dayanımını; M_{xd}, x eksenindeki tasarım moment değerini; M_{yd}, y eksenindeki tasarım moment değerini; b ve h, kolon kesit ebatlarını; ρ, enkesitteki donatı oranını; A_{st}, enkesitteki donatı alanını ifade etmektedir.

2.3. Dörtgen Betonarme Kiriş Tasarımı

Dörtgen şekilli betonarme kirişe ait malzeme özellikleri ve etkiyen yükler Tablo 4’te verilmektedir.

Tablo 4. Betonarme kiriş özellikleri ve etkiyen yükler

| Beton Sınıfı | Donatı Çeliği Sınıfı | Paspayı | Kiriş Uzunluğu | Tasarım Moment Değeri |
|--------------|----------------------|---------|----------------|-----------------------|
| C30/37 | B420C | 4 cm | 300 cm | 500 kNm |

C30/37 sınıfı beton ve B420C sınıfı donatı çeliğine ait dayanım değerleri Tablo 5’te sunulmaktadır.

Tablo 5. C30/37 beton ve B420C donatı çeliği mukavemet özellikleri

| | |
|---|-------------------------|
| Beton tasarım basınç dayanımı | $f_{cd}=30$ MPa |
| Çelik tasarım akma dayanımı | $f_{yd}=365,22$ MPa |
| Beton karakteristik eksenel çekme dayanımı | $f_{ctk}=1,9$ MPa |
| Beton tasarım eksenel çekme dayanımı | $f_{ctd}=1,28$ MPa |
| Ortalama basınç gerilmesi ve maksimum gerilme arasındaki oran | $k_1=0,82$ |
| Maksimum beton basınç gerilmesi ile betonun silindirik mukavemeti arasındaki oran | $k_3=0,85$ |
| Donatı çeliği elastisite modülü | $E_s=2 \times 10^5$ MPa |

TS500:2000 ve TBDY 2018 yönetmeliklerine göre; betonarme kiriş tasarımı için istenen şartlar, MATLAB

kodları içerisine yazılmıştır. Tablo 6’da betonarme kiriş için tasarım şartları belirtilmiştir.

Tablo 6. Betonarme kiriş için TS500:2000 ve TBDY-2018’e göre tasarım şartları

| Kiriş İçin TS500:2000 ve TBDY-2018 Şartları | |
|---|---|
| 1. | $\rho_{min} = 0,8 \times \left(\frac{f_{ctd}}{f_{yd}} \right)$ |
| 2. | $\rho_{maks} = 0,02$ |
| 3. | $\rho'_{maks} = 0,02$ |
| 4. | $(\rho - \rho')_{maks} = 0,85 \times \rho_b$ |
| 5. | $b_{wmin} = 25$ cm |
| 6. | $h_{min} = 30$ cm |
| 7. | $\rho'_{min} = \min. \text{montaj donatısı alanı} / (b_w \times h)$ |

ρ , kirişin alt tarafındaki çekme donatısı oranını; ρ' , kirişin üst taraftaki basınç donatısı oranını, b_w , kiriş genişliğini; h , kiriş yüksekliğini ifade etmektedir. Tablo 6’da belirtilen yönetmelik şartları haricinde maksimum b_w ve h kiriş enkesit boyutları 60 cm olarak seçilmiştir. Kiriş boyutları keyfi olarak atandıktan sonra, kirişin tek donatılı ya da çift donatılı olma durumu irdelenmiştir. Bu amaca yönelik olarak moment kontrolü yapılmıştır. Elde edilen moment, tasarım momentinden fazlaysa tek donatılı, az ise çift donatılı tasarım yapılmıştır.

$L=3$ m. uzunluğunda bir kiriş tasarımı yapıldığı varsayılmıştır. Yapılacak tasarımlarda beton kaynaklı ve donatı kaynaklı emisyon miktarları bulunmuştur. “GBE” harfleriyle kodlanan değere ilk olarak geleneksel beton

birim emisyon miktarı girilip program çalıştırılmış, daha sonra geopolimer beton birim emisyon miktarı girilip program tekrar çalıştırılmıştır. Sonuçlar “CM” isimli çözüm matrisi içerisine kaydedilmiştir. Tabloya ek olarak, taşıma gücü kontrolü de yapılmıştır. Kiriş tasarım değerleri yönetmelik şartlarına uymuyorsa, tasarımcının belirlediği maksimum kiriş boyutlarına uymuyorsa ve M_r taşıma gücü momenti M_d tasarım momentinden az ise; emisyon miktarına aşırı yüksek bir değer atanarak elenmesi sağlanmıştır.

2.4. Betonarme Kare Tekil Temel Tasarımı

Betonarme kare tekil temele ait malzeme özellikleri ve etkiyen yükler Tablo 7’de verilmektedir.

Tablo 7. Betonarme kare tekil temel özellikleri ve etkiyen yükler

| Beton Sınıfı | Donatı Çeliği Sınıfı | Zemin Emniyet Gerilmesi | Kolon Boyutları | Kolon Tasarım Yükü | Paspayı |
|--------------|----------------------|-------------------------|-----------------|--------------------|---------|
| C25/30 | B420C | 360 kN/m ² | 70x70 cm | 4500 kN | 5 cm |

Kolon boyutu 70 x 70 cm olduğu için, tekil temelin boyutları da minimum 70 x 70 cm olmalıdır. Minimum temel kalınlığı ise 25 cm olmalıdır. Algoritma iterasyonları sırasında atanacak maksimum temel uzunluğu ve kalınlığı ise 5’er metre olarak belirlenmiştir. Paspayı 5 cm, eğilme etkisi katsayısı $\gamma=1$, C25/30 beton sınıfı için tasarım çekme dayanımı $f_{ctd}=1,15$ MPa, B420C çeliğin tasarım çekme dayanımı $f_{yd}=365$ MPa olarak kodlanmıştır.

Bulunan zemin gerilmesi; zımbalama alanı, çevresi ve kuvvetleri; zemin dayanımı; kolon yüzünde kesme kuvveti; temel boyutları ve donatı alanları dikkate

Tablo 8. Betonarme kare tekil temel tasarım şartları

| | |
|--------------------------------------|--|
| Maksimum zemin gerilmesi kontrolü | $\sigma_{zmaxs} \leq f_{zu}$ |
| Zımbalama denetimi | $V_{pd} \leq V_{pr}$ |
| Net zemin dayanımı denetimi | $\sigma_{zmaxs} \leq f_{zn}$ |
| Kolon yüzünde kesme kuvveti denetimi | $v_d \leq v_{cr}$ |
| Minimum donatı kontrolü | $A_{s_x} \geq \min A_{s_x}$ |
| Boyut kontrolü | $b_x \geq 0,70$ m ; $b_x \times b_y \geq 1$ m ² ; $h \geq 0,25$ m ; $b_x \leq 5$ m ; $h \leq 5$ m |

alınarak, Tablo 8’deki tasarım şartlarının kontrolü yapılmıştır. Minimum donatı kontrolü aşaması hariç, tasarım şartlarına uymayan değere sahip çözümlerin toplam emisyon miktarları aşırı yüksek yapılmıştır. Sadece minimum donatı alanını sağlamayan değerler atandığında, toplam emisyon değeri aşırı yüksek olarak atanmayıp, donatı alanı minimum donatı alanına eşitlenerek tekrardan emisyon hesabı yapılmıştır. Tasarım şartları kontrolleri sonrasında, TLBO algoritmasından önceki “for” döngüsü “end” komutuyla kapatılmıştır.

2.5. TLBO Algoritmasının Oluşturulması

TLBO algoritmasının oluşturulması aşamasında tekrar bir “for” döngüsü başlatılmış ve belirlenen iterasyon sayısı kadar tekrarlanmıştır. Önceki aşamadaki kodlarla üretilen ilk popülasyon arasından minimum emisyon miktarını veren boyutlar ve donatı alanı “öğretmen” olarak seçilmiştir. Öğretmen değerlerinden yararlanılarak, sınıf popülasyonunun bilgi birikimi güncellenmiştir. Güncellenen sınıftaki öğrenci değerleri, tekrardan yönetmelik kontrolünden geçirilmiştir.

Öğrenci fazında sınıftaki öğrencilerden rastgele iki tanesi seçilerek ve birbirlerinden yararlanarak yeni çözüm kümesi oluşturulmuştur. Rastgele seçimde aynı öğrencinin tekrar denk gelmemesine dikkat edilmiştir. Öğrenci fazıyla oluşturulan yeni sınıf, yönetmelik şartlarıyla kontrol edilmiştir. Yine öğretmen fazındaki gibi, yeni ve eski çözümlerden iyi olan “CM” isimli çözüm matrisine atanmıştır.

Tasarım için anlatılan yukarıdaki aşamalar, iterasyon sayısı kadar tekrar edilmiş ve iterasyon sonunda optimum sonuca ulaşılmıştır.

2.6. FPA Oluşturulması

Bu aşamada TLBO algoritması kodları silinerek, çiçek tozlaşma algoritması kodları yazılmıştır. FPA kodları, iterasyon döngüsü içerisinde yazılmıştır. Tozlaşma türünün küresel ya da yerel olup olmadığına karar vermek için [0,1] aralığında rastgele sayılar üreten MATLAB komutu kullanılmıştır. Oluşturulan rastgele sayı 0,5 değerinden küçük ise küresel tozlaşma, aksi halde yerel tozlaşma olarak kabul edilmiştir. Küresel tozlaşma seçilirken Levy uçuşu formülü kullanılmıştır. Levy uçuşundaki adım büyüklüğü, en iyi çözüm ve mevcut çözüm değerleri kullanılarak yeni kolon eni, boyu ve donatısı belirlenmiştir. Küresel tozlaşma aşamasından sonra oluşturulan değerler yönetmelik şartlarında geçirilmiştir. Yönetmelik şartından geçirilen çözüm, mevcut en iyi çözümden iyiyse hafızaya kaydedilmiştir.

“rand” komutu ile oluşturulan sayının 0,5 değerine eşit ya da büyük olması durumunda lokal tozlaşma kodları çalışacaktır. Lokal tozlaşma kodları, öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon algoritmasının öğrenci aşamasına benzer şekildedir. Popülasyon içerisinden seçilen rastgele iki polenin arasındaki fark kullanılarak lokal tozlaşma sonucu oluşacak çözüm değerleri oluşturulmuştur. Oluşturulan çözüm değerleri TLBO algoritmasındaki gibi yönetmelik şartlarından geçirilmiş ve iyi olan çözüm hafızada tutulmuştur.

3. BULGULAR

Bu kısımda belirtilen tasarım kriterleri esas alınarak, MATLAB kodları betonarme kolon, betonarme kiriş ve betonarme kare tekil temel için çalıştırılmıştır. İlk olarak, yapı elemanlarının geleneksel beton kullanılarak tasarlandığı varsayılmıştır ve bu durumda minimum emisyonu veren tasarım değerleri bulunmuştur. Daha sonra geopolimer beton kullanılması durumunda minimum emisyonu veren tasarım değerleri bulunmuştur. Emisyon miktarları hesaplanırken, betonarme donatısı kaynaklı emisyon miktarı da hesaba katılmıştır. Betonarme elemanda yer alan donatı üretiminden kaynaklı emisyon miktarı ile toplam kesit alanından donatı alanı çıkarılarak geriye kalan beton miktarından kaynaklı emisyon miktarı toplanarak, tablolarda “TE” toplam emisyon satırında gösterilmiştir. Donatı kaynaklı emisyon hesaplanırken; donatı bindirme payı, betonarme etriyesi ve çirozu hesaba katılmamıştır.

3.1. Betonarme Kolon Optimizasyonu

Tablo 9’da ve Tablo 10’da geleneksel beton ile tasarlanmış kolonun 10, 50, 100, 500, 1000, 5000, 10000 iterasyon sonucunda minimum CO₂ emisyonunu veren tasarım değerleri ile emisyon miktarları verilmiştir. Kolon boyutları tam sayı olacak şekilde, donatı alanı virgülden sonra iki hane hassaslığına sahiptir. Kolon boyutları ve donatı alanı dışındaki değerler ise virgülden sonra iki haneye yuvarlanmıştır.

Geleneksel beton ve geopolimer beton kullanılarak yapılan kolon tasarımında TLBO algoritma değişkenleri; kolon genişliği (b), kolon yüksekliği (h), donatı alanıdır (A_{st}). Beton kaynaklı emisyon (BK), donatı kaynaklı emisyon (DK) ve toplam emisyon (TE) miktarları, algoritma değişkenlerine göre Eşitlik 1-3. yardımıyla hesaplanmıştır.

$$BK = (b \times h - A_{st}) \times h_k \times GBE \quad (1)$$

$$DK = (A_{st}) \times h_k \times doa \times DE \quad (2)$$

$$TE = BK + DK \quad (3)$$

h_k , kolon yüksekliğini; GBE , geleneksel ya da geopolimer betonun birim miktarından kaynaklanan emisyon miktarını; doa , betonarme donatısı özgül ağırlığını; DE , donatı birim miktarından kaynaklanan emisyon miktarını göstermektedir.

Tablo 11 ve Tablo 12’de geopolimer beton ile tasarlanmış kolonun 10, 50, 100, 500, 1000, 5000, 10000 iterasyon sonucunda minimum CO₂ emisyonunu veren tasarım değerleri ile emisyon miktarları verilmiştir. Kolon boyutları tam sayı olacak şekilde, donatı alanı virgülden sonra iki hane olacak şekilde yukarıya yuvarlanmıştır. Kolon boyutları ve donatı alanı dışındaki değerler ise virgülden sonra iki haneye yuvarlanmıştır.

Tablo 9. TLBO algoritmasına göre geleneksel beton ile tasarlanmış kolon tasarım sonuçları

| | İterasyon Sayısı | | | | | | |
|---|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 10 | 50 | 100 | 500 | 1000 | 5000 | 10000 |
| Tasarım Değerleri | | | | | | | |
| kolon genişliği, b (cm) | 34,00 | 30,00 | 30,00 | 30,00 | 30,00 | 30,00 | 30,00 |
| kolon yüksekliği, h (cm) | 63,00 | 66,00 | 66,00 | 66,00 | 66,00 | 66,00 | 66,00 |
| donatı alanı, A_{st} (cm ²) | 76,94 | 76,23 | 76,71 | 76,93 | 76,93 | 76,93 | 76,93 |
| beton kaynaklı emisyon, BK (kg) | 192,43 | 180,90 | 179,44 | 178,87 | 178,87 | 178,87 | 178,87 |
| donatı kaynaklı emisyon, DK (kg) | 137,71 | 136,42 | 137,29 | 137,68 | 137,68 | 137,68 | 137,68 |
| toplam emisyon, TE (kg) | 330,14 | 317,32 | 316,73 | 316,55 | 316,55 | 316,55 | 316,55 |

Tablo 10. FPA'ya göre geleneksel beton ile tasarlanmış kolon tasarım sonuçları

| | İterasyon Sayısı | | | | | | |
|---|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 10 | 50 | 100 | 500 | 1000 | 5000 | 10000 |
| Tasarım Değerleri | | | | | | | |
| kolon genişliği, b (cm) | 31,00 | 31,00 | 31,00 | 31,00 | 31,00 | 31,00 | 30,00 |
| kolon yüksekliği, h (cm) | 68,00 | 66,00 | 68,00 | 68,00 | 66,00 | 66,00 | 66,00 |
| donatı alanı, A_{st} (cm ²) | 71,92 | 77,48 | 74,04 | 74,11 | 76,93 | 76,93 | 76,93 |
| beton kaynaklı emisyon, BK (kg) | 193,02 | 179,21 | 185,93 | 185,81 | 178,87 | 178,87 | 178,86 |
| donatı kaynaklı emisyon, DK (kg) | 128,71 | 138,67 | 132,51 | 132,64 | 137,68 | 137,68 | 137,68 |
| toplam emisyon, TE (kg) | 321,73 | 317,88 | 318,44 | 318,45 | 316,55 | 316,55 | 316,54 |

Tablo 11. TLBO algoritmasına göre geopolimer beton ile tasarlanmış kolon tasarım sonuçları

| | İterasyon Sayısı | | | | | | |
|---|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 10 | 50 | 100 | 500 | 1000 | 5000 | 10000 |
| Tasarım Değerleri | | | | | | | |
| kolon genişliği, b (cm) | 37,00 | 41,00 | 42,00 | 43,00 | 43,00 | 43,00 | 43,00 |
| kolon yüksekliği, h (cm) | 70,00 | 70,00 | 70,00 | 70,00 | 70,00 | 70,00 | 70,00 |
| donatı alanı, A_{st} (cm ²) | 59,45 | 53,66 | 50,68 | 48,60 | 48,54 | 48,51 | 48,51 |
| beton kaynaklı emisyon, BK (kg) | 86,19 | 95,26 | 98,17 | 101,68 | 101,76 | 101,81 | 101,81 |
| donatı kaynaklı emisyon, DK (kg) | 106,39 | 96,03 | 90,69 | 86,97 | 86,86 | 86,81 | 86,81 |
| toplam emisyon, TE (kg) | 192,58 | 191,29 | 188,86 | 188,65 | 188,62 | 188,62 | 188,62 |

Tablo 12. FPA'ya göre geopolimer beton ile tasarlanmış kolon tasarım sonuçları

| | İterasyon Sayısı | | | | | | |
|---|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 10 | 50 | 100 | 500 | 1000 | 5000 | 10000 |
| Tasarım Değerleri | | | | | | | |
| kolon genişliği, b (cm) | 49,00 | 37,00 | 43,00 | 43,00 | 43,00 | 41,00 | 43,00 |
| kolon yüksekliği, h (cm) | 70,00 | 70,00 | 70,00 | 70,00 | 70,00 | 70,00 | 70,00 |
| donatı alanı, A_{st} (cm ²) | 52,55 | 58,25 | 48,61 | 49,54 | 49,14 | 51,84 | 48,51 |
| beton kaynaklı emisyon, BK (kg) | 113,42 | 85,70 | 101,77 | 100,02 | 100,70 | 96,07 | 101,80 |
| donatı kaynaklı emisyon, DK (kg) | 94,05 | 104,24 | 86,99 | 88,66 | 87,95 | 92,78 | 86,82 |
| toplam emisyon, TE (kg) | 207,47 | 189,94 | 188,76 | 188,68 | 188,65 | 188,85 | 188,62 |

3.2. Betonarme Kiriş Optimizasyonu

Tablo 13 ve Tablo 14'te geleneksel beton ile tasarlanmış kirişin 10, 50, 100, 500, 1000, 5000, 10000 iterasyon sonucunda minimum CO₂ emisyonunu veren tasarım değerleri ile emisyon miktarları verilmiştir. Kiriş boyutları tam sayı olacak şekilde, donatı alanı virgülden sonra iki hane olacak şekilde yukarıya yuvarlanmıştır. Donatı oranları virgülden sonra dört haneye, kalan değerler ise virgülden sonra iki haneye yuvarlanmıştır. Geleneksel beton ve geopolimer beton kullanılarak yapılan kiriş tasarımında algoritma değişkenleri; kiriş L, kiriş uzunluğunu; GBE, geleneksel ya da geopolimer betonun birim miktarından kaynaklanan emisyon miktarını; doa, betonarme donatısı özgül ağırlığını; DE, donatı birim miktarından kaynaklanan emisyon miktarını göstermektedir.

Tablo 15 ve Tablo 16'da geopolimer beton ile tasarlanmış kirişin 10, 50, 100, 500, 1000, 5000, 10000

genişliği (b_w), kiriş yüksekliği (h), kiriş alt kısmındaki donatı oranı (ρ) ve kiriş üst kısmındaki donatı oranı (ρ'). Toplam donatı alanı (TDA), beton kaynaklı emisyon (BK), donatı kaynaklı emisyon (DK) ve toplam emisyon (TE), miktarları, algoritma değişkenlerine göre Eşitlik 4-7. yardımıyla hesaplanmıştır.

$$TDA = (\rho + \rho') \times b_w \times h \quad (4)$$

$$BK = (b_w \times h - A_{st}) \times L \times GBE \quad (5)$$

$$DK = TDA \times L \times doa \times DE \quad (6)$$

$$TE = BK + DK \quad (7)$$

iterasyon sonucunda minimum CO₂ emisyonunu veren tasarım değerleri ile emisyon miktarları verilmiştir. Kiriş boyutları tam sayı olacak şekilde, donatı alanı virgülden sonra iki hane olacak şekilde yukarıya yuvarlanmıştır. Donatı oranları virgülden sonra dört haneye, kalan değerler ise virgülden sonra iki haneye yuvarlanmıştır.

Tablo 13. TLBO algoritmasına göre geleneksel beton ile tasarlanmış kiriş tasarım sonuçları

| | İterasyon Sayısı | | | | | | |
|---|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 10 | 50 | 100 | 500 | 1000 | 5000 | 10000 |
| Tasarım Değerleri | | | | | | | |
| Kiriş genişliği, bw (cm) | 27,00 | 26,00 | 26,00 | 26,00 | 26,00 | 25,00 | 25,00 |
| Kiriş yüksekliği, h (cm) | 59,00 | 59,00 | 60,00 | 60,00 | 60,00 | 60,00 | 60,00 |
| Alt taraftaki donatı oranı, ρ | 0,0190 | 0,0192 | 0,0196 | 0,0200 | 0,0200 | 0,0200 | 0,0200 |
| Üst taraftaki donatı oranı, ρ' | 0,0061 | 0,0052 | 0,0035 | 0,0021 | 0,0021 | 0,0021 | 0,0021 |
| Toplam donatı alanı, TDA (cm ²) | 37,28 | 36,52 | 34,56 | 33,13 | 33,10 | 33,10 | 33,10 |
| Beton kaynaklı emisyon, BK (kg) | 147,48 | 138,51 | 138,49 | 139,02 | 139,07 | 139,06 | 139,06 |
| Donatı kaynaklı emisyon, DK (kg) | 66,72 | 65,36 | 61,84 | 59,29 | 59,24 | 59,24 | 59,24 |
| Toplam emisyon, TE (kg) | 214,20 | 203,87 | 200,33 | 198,31 | 198,31 | 198,30 | 198,30 |

Tablo 14. FPA'ya göre geleneksel beton ile tasarlanmış kiriş tasarım sonuçları

| | İterasyon Sayısı | | | | | | |
|---|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 10 | 50 | 100 | 500 | 1000 | 5000 | 10000 |
| Tasarım Değerleri | | | | | | | |
| Kiriş genişliği, bw (cm) | 38,00 | 26,00 | 28,00 | 25,00 | 25,00 | 26,00 | 25,00 |
| Kiriş yüksekliği, h (cm) | 51,00 | 57,00 | 60,00 | 60,00 | 60,00 | 60,00 | 60,00 |
| Alt taraftaki donatı oranı, ρ | 0,0185 | 0,0197 | 0,0181 | 0,0200 | 0,0200 | 0,0200 | 0,0200 |
| Üst taraftaki donatı oranı, ρ' | 0,0056 | 0,0084 | 0,0020 | 0,0023 | 0,0021 | 0,002 | 0,002 |
| Toplam donatı alanı, TDA (cm ²) | 45,63 | 40,13 | 32,52 | 33,30 | 33,11 | 33,09 | 33,15 |
| Beton kaynaklı emisyon, BK (kg) | 175,60 | 131,44 | 150,95 | 138,83 | 139,04 | 139,14 | 138,99 |
| Donatı kaynaklı emisyon, DK (kg) | 81,66 | 71,83 | 58,20 | 59,59 | 59,26 | 59,22 | 59,32 |
| Toplam emisyon, TE (kg) | 257,26 | 203,27 | 209,15 | 198,42 | 198,30 | 198,36 | 198,31 |

Tablo 15. TLBO algoritmasına göre geopolimer beton ile tasarlanmış kiriş tasarım sonuçları

| | İterasyon Sayısı | | | | | | |
|---|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 10 | 50 | 100 | 500 | 1000 | 5000 | 10000 |
| Tasarım Değerleri | | | | | | | |
| Kiriş genişliği, b (cm) | 34,00 | 27,00 | 26,00 | 26,00 | 26,00 | 25,00 | 25,00 |
| Kiriş yüksekliği, h (cm) | 59,00 | 59,00 | 60,00 | 60,00 | 60,00 | 60,00 | 60,00 |
| Alt taraftaki donatı oranı, ρ | 0,0153 | 0,0191 | 0,0194 | 0,0200 | 0,0200 | 0,0200 | 0,0200 |
| Üst taraftaki donatı oranı, ρ' | 0,0024 | 0,0044 | 0,0025 | 0,0021 | 0,0021 | 0,0021 | 0,0021 |
| Toplam donatı alanı, TDA (cm ²) | 33,02 | 36,70 | 33,59 | 33,11 | 33,10 | 33,10 | 33,10 |
| Beton kaynaklı emisyon, BK (kg) | 68,07 | 52,62 | 51,91 | 50,61 | 50,62 | 50,61 | 50,61 |
| Donatı kaynaklı emisyon, DK (kg) | 59,10 | 65,67 | 60,11 | 59,35 | 59,24 | 59,24 | 59,24 |
| Toplam emisyon, TE (kg) | 127,17 | 118,29 | 112,02 | 109,96 | 109,86 | 109,85 | 109,85 |

Tablo 16. FPA'ya göre geopolimer beton ile tasarlanmış kiriş tasarım sonuçları

| | İterasyon Sayısı | | | | | | |
|---|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 10 | 50 | 100 | 500 | 1000 | 5000 | 10000 |
| Tasarım Değerleri | | | | | | | |
| Kiriş genişliği, b (cm) | 28,00 | 26,00 | 25,00 | 26,00 | 25,00 | 25,00 | 26,00 |
| Kiriş yüksekliği, h (cm) | 56,00 | 60,00 | 60,00 | 60,00 | 60,00 | 60,00 | 60,00 |
| Alt taraftaki donatı oranı, ρ | 0,02 | 0,0182 | 0,0187 | 0,0200 | 0,0198 | 0,0200 | 0,0200 |
| Üst taraftaki donatı oranı, ρ' | 0,0085 | 0,0058 | 0,0052 | 0,0016 | 0,0023 | 0,0021 | 0,002 |
| Toplam donatı alanı, TDA (cm ²) | 42,62 | 35,87 | 35,53 | 33,13 | 33,21 | 33,10 | 32,97 |
| Beton kaynaklı emisyon, BK (kg) | 50,2 | 50,32 | 50,12 | 51,68 | 50,60 | 50,61 | 50,89 |
| Donatı kaynaklı emisyon, DK (kg) | 76,27 | 64,2 | 63,58 | 59,28 | 59,44 | 59,24 | 58,99 |
| Toplam emisyon, TE (kg) | 126,47 | 114,52 | 113,7 | 110,96 | 110,04 | 109,85 | 109,88 |

3.3. Betonarme Kare Tekil Temel Optimizasyonu

Tablo 17 ve Tablo 18'de geleneksel beton ile tasarlanmış temelin 10, 50, 100, 500, 1000, 5000, 10000 iterasyon sonucunda minimum CO₂ emisyonunu veren tasarım değerleri ile emisyon miktarları verilmiştir. Temel boyutları ve donatı alanı virgülden sonra iki hane olacak şekilde yukarıya yuvarlanmıştır. Kalan değerler ise virgülden sonra iki haneye yuvarlanmıştır.

Geleneksel beton ve geopolimer beton kullanılarak yapılan temel tasarımında TLBO algoritması değişkenleri; temel eni ve boyu (b_x, b_y), temel kalınlığı (h) ve temel eksenleri donatı alanlarıdır (As_x, As_y). Toplam donatı alanı (TDA), beton kaynaklı emisyon (BK), donatı kaynaklı emisyon (DK) ve toplam emisyon (TE) miktarları, algoritma değişkenlerine göre Eşitlik 8-11. yardımıyla hesaplanmıştır.

$$TDA = As_x + As_y \quad (8)$$

$$BK = b_x \times b_y \times h - TDA \times (b_x + 2 \times (h - 2 \times pp)) \times GBE \quad (9)$$

$$DK = (TDA \times (b_x + 2 \times (h - pp))) \times doa \times DE \quad (10)$$

$$TE = BK + DK \quad (11)$$

pp, paspayını; GBE, geleneksel ya da geopolimer betonun birim miktarından kaynaklanan emisyon miktarını; doa, betonarme donatısı özgül ağırlığını; DE, donatı birim miktarından kaynaklanan emisyon miktarını göstermektedir.

Tablo 19 ve Tablo 20'de geopolimer beton ile tasarlanmış temelin 10, 50, 100, 500, 1000, 5000, 10000 iterasyon sonucunda minimum CO₂ emisyonunu veren tasarım değerleri ile emisyon miktarları verilmiştir.

Temel boyutları ve donatı alanı virgülden sonra iki hane olacak şekilde yukarıya yuvarlanmıştır. Kalan değerler ise virgülden sonra iki hane yuvarlanmıştır.

Tablo 17. TLBO algoritmasına göre geleneksel beton ile tasarlanmış temel tasarım sonuçları

| | İterasyon Sayısı | | | | | | |
|---|------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 10 | 50 | 100 | 500 | 1000 | 5000 | 10000 |
| Tasarım Değerleri | | | | | | | |
| temel eni, b_x (m) | 3,22 | 3,04 | 3,04 | 3,03 | 3,03 | 3,03 | 3,03 |
| temel boyu, b_y (m) | 3,22 | 3,04 | 3,04 | 3,03 | 3,03 | 3,03 | 3,03 |
| temel kalınlığı, h (m) | 0,68 | 0,67 | 0,66 | 0,66 | 0,66 | 0,66 | 0,66 |
| x eksen boyunca donatı alanı, As_x (cm ²) | 71,37 | 37,71 | 36,83 | 36,74 | 36,74 | 36,74 | 36,74 |
| y eksen boyunca donatı alanı, As_y (cm ²) | 71,37 | 37,71 | 36,83 | 36,74 | 36,74 | 36,74 | 36,74 |
| toplam donatı alanı, TDA (cm ²) | 142,74 | 75,42 | 73,66 | 73,48 | 73,48 | 73,48 | 73,48 |
| beton kaynaklı emisyon, BK (kg) | 2193,79 | 1904,36 | 1889,68 | 1888,19 | 1888,19 | 1888,19 | 1888,19 |
| donatı kaynaklı emisyon, DK (kg) | 372,10 | 186,64 | 181,84 | 181,33 | 181,33 | 181,33 | 181,33 |
| toplam emisyon, TE (kg) | 2565,89 | 2091,00 | 2071,52 | 2069,52 | 2069,52 | 2069,52 | 2069,52 |

Tablo 18. FPA'ya göre geleneksel beton ile tasarlanmış temel tasarım sonuçları

| | İterasyon Sayısı | | | | | | |
|---|------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 10 | 50 | 100 | 500 | 1000 | 5000 | 10000 |
| Tasarım Değerleri | | | | | | | |
| temel eni, b_x (m) | 3,15 | 3,04 | 3,03 | 3,03 | 3,03 | 3,03 | 3,03 |
| temel boyu, b_y (m) | 3,15 | 3,04 | 3,03 | 3,03 | 3,03 | 3,03 | 3,03 |
| temel kalınlığı, h (m) | 0,76 | 0,67 | 0,67 | 0,66 | 0,66 | 0,66 | 0,66 |
| x eksen boyunca donatı alanı, As_x (cm ²) | 55,52 | 36,77 | 36,75 | 36,74 | 36,74 | 36,74 | 36,74 |
| y eksen boyunca donatı alanı, As_y (cm ²) | 55,52 | 36,77 | 36,75 | 36,74 | 36,74 | 36,74 | 36,74 |
| toplam donatı alanı, TDA (cm ²) | 111,04 | 73,54 | 73,50 | 73,48 | 73,48 | 73,48 | 73,48 |
| beton kaynaklı emisyon, BK (kg) | 2346,87 | 1891,33 | 1888,63 | 1888,19 | 1888,19 | 1888,19 | 1888,19 |
| donatı kaynaklı emisyon, DK (kg) | 295,24 | 181,61 | 181,41 | 181,33 | 181,33 | 181,33 | 181,33 |
| toplam emisyon, TE (kg) | 2642,11 | 2072,95 | 2070,04 | 2069,52 | 2069,52 | 2069,52 | 2069,52 |

Tablo 19. TLBO algoritmasına göre geopolimer beton ile tasarlanmış temel tasarım sonuçları

| | İterasyon Sayısı | | | | | | |
|---|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 10 | 50 | 100 | 500 | 1000 | 5000 | 10000 |
| Tasarım Değerleri | | | | | | | |
| temel eni, b_x (m) | 3,23 | 3,04 | 3,03 | 3,03 | 3,03 | 3,03 | 3,03 |
| temel boyu, b_y (m) | 3,23 | 3,04 | 3,03 | 3,03 | 3,03 | 3,03 | 3,03 |
| temel kalınlığı, h (m) | 0,70 | 0,67 | 0,67 | 0,66 | 0,66 | 0,66 | 0,66 |
| x eksen boyunca donatı alanı, As_x (cm ²) | 41,90 | 40,72 | 36,76 | 36,74 | 36,74 | 36,74 | 36,74 |
| y eksen boyunca donatı alanı, As_y (cm ²) | 41,90 | 40,72 | 36,76 | 36,74 | 36,74 | 36,74 | 36,74 |
| toplam donatı alanı, TDA (cm ²) | 83,80 | 81,44 | 73,52 | 73,48 | 73,48 | 73,48 | 73,48 |
| beton kaynaklı emisyon, BK (kg) | 832,30 | 697,59 | 687,61 | 687,16 | 687,16 | 687,16 | 687,16 |
| donatı kaynaklı emisyon, DK (kg) | 221,13 | 202,08 | 181,48 | 181,33 | 181,33 | 181,33 | 181,33 |
| toplam emisyon, TE (kg) | 1053,43 | 899,67 | 869,09 | 868,49 | 868,49 | 868,49 | 868,49 |

Tablo 20. FPA'ya göre geopolimer beton ile tasarlanmış temel tasarım sonuçları

| | İterasyon Sayısı | | | | | | |
|---|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 10 | 50 | 100 | 500 | 1000 | 5000 | 10000 |
| Tasarım Değerleri | | | | | | | |
| temel eni, b_x (m) | 3,32 | 3,04 | 3,03 | 3,03 | 3,03 | 3,03 | 3,03 |
| temel boyu, b_y (m) | 3,32 | 3,04 | 3,03 | 3,03 | 3,03 | 3,03 | 3,03 |
| temel kalınlığı, h (m) | 0,75 | 0,67 | 0,67 | 0,66 | 0,66 | 0,66 | 0,66 |
| x eksen boyunca donatı alanı, As_x (cm ²) | 52,64 | 37,32 | 36,96 | 36,74 | 36,74 | 36,74 | 36,74 |
| y eksen boyunca donatı alanı, As_y (cm ²) | 52,64 | 37,32 | 36,96 | 36,74 | 36,74 | 36,74 | 36,74 |
| toplam donatı alanı, TDA (cm ²) | 105,28 | 74,64 | 73,92 | 73,48 | 73,48 | 73,48 | 73,48 |
| beton kaynaklı emisyon, BK (kg) | 933,20 | 697,96 | 687,29 | 687,16 | 687,16 | 687,16 | 687,16 |
| donatı kaynaklı emisyon, DK (kg) | 288,97 | 185,16 | 182,45 | 181,33 | 181,33 | 181,33 | 181,33 |
| toplam emisyon, TE (kg) | 1222,17 | 883,12 | 869,74 | 868,49 | 868,49 | 868,49 | 868,49 |

3.4. Algoritmaların Çevrimli Çalıştırılması

Önceki bölümlerde oluşturulan algoritmaların birbirinden bağımsız şekilde 30 kez çalıştırılmasıyla elde edilen aritmetik ortalama, standart sapma, minimum emisyonu veren iterasyon sayısı gibi değerler Tablo 21-23'te verilmiştir.

4. Bölümün önceki başlıklarında algoritmalar, önceden belirlenen iterasyonlar tamamlanana kadar devam ederken; bu başlıkta, maksimum iterasyon sayıları kolon ve kiriş için 5000, temel için 500 olacak ve çevrimli çalıştırma sonucunda minimuma ulaşılan ilk iterasyon sayısını gösterecek şekilde ayarlanarak sonuçlar sunulmuştur.

Tablo 21. Kolon tasarımı için istatistiksel sonuçlar

| | TLBO Geleneksel | FPA Geleneksel | TLBO Geopolimer | FPA Geopolimer |
|--|-----------------|----------------|-----------------------|----------------|
| Kolon eni (cm) | 30 | 30 | 43 | 43 |
| Kolon boyu (cm) | 66 | 66 | 70 | 70 |
| Toplam donatı alanı (cm ²) | 76,93 | 76,93 | 48,51 | 48,51 |
| Minimum emisyon (kg) | 316,55 | 316,55 | 188,62 | 188,62 |
| Aritmetik ortalama (kg) | 316,55 | 316,68 | 188,62 | 188,69 |
| Standart sapma | 0 | 0,48 | 2,24x10 ⁻⁸ | 0,14 |
| İterasyon sayısı | 1984 | 512 | 4447 | 755 |

Tablo 22. Kiriş tasarımı için istatistiksel sonuçlar

| | TLBO Geleneksel | FPA Geleneksel | TLBO Geopolimer | FPA Geopolimer |
|--|------------------------|----------------|------------------------|----------------|
| Kiriş eni (cm) | 25 | 25 | 25 | 25 |
| Kiriş boyu (cm) | 60 | 60 | 60 | 60 |
| Toplam donatı alanı (cm ²) | 33,10 | 33,10 | 33,10 | 33,10 |
| Minimum emisyon (kg) | 198,30 | 198,30 | 109,85 | 109,85 |
| Aritmetik ortalama (kg) | 198,30 | 198,41 | 109,85 | 110,07 |
| Standart sapma | 3,59x10 ⁻¹⁰ | 0,27 | 5,41x10 ⁻¹¹ | 0,92 |
| İterasyon sayısı | 4777 | 1029 | 4882 | 947 |

Tablo 23. Temel tasarımı için istatistiksel sonuçlar

| | TLBO Geleneksel | FPA Geleneksel | TLBO Geopolimer | FPA Geopolimer |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Temel eni (m) | 3,03 | 3,03 | 3,03 | 3,03 |
| Temel boyu (m) | 3,03 | 3,03 | 3,03 | 3,03 |
| Temel kalınlığı (m) | 0,66 | 0,66 | 0,66 | 0,66 |
| Toplam donatı alanı (cm ² , her iki eksendeki) | 73,47 | 73,47 | 73,47 | 73,47 |
| Minimum emisyon (kg) | 2069,51 | 2069,51 | 868,48 | 868,48 |
| Aritmetik ortalama (kg) | 2069,51 | 2069,51 | 868,48 | 868,48 |
| Standart sapma | 8,67x10 ⁻⁶ | 2,29x10 ⁻⁶ | 8,13x10 ⁻⁷ | 2,07x10 ⁻⁶ |
| İterasyon sayısı | 483 | 305 | 480 | 313 |

4. SONUÇLAR

FPA ve TLBO algoritmaları sonucunda tasarım şartlarını sağlayan ve minimum emisyonu amaçlayan boyutlandırmalar elde edilmiştir.

Geleneksel betonlu kolon tasarlama algoritmaları incelendiğinde; tek seferli çalıştırmada TLBO'da 500 iterasyona, FPA'da 1000 iterasyona yaklaşınca optimuma yakınsayan tasarım değerleri elde edilmeye başlanmıştır. 30 kez çevrimli çalışma yapıp en küçük iterasyonlara bakıldığında TLBO 1984'üncü, FPA ise 512'inci iterasyonda minimum emisyon değerlerini vermiştir. Her iki algoritmanın standart sapmaları incelendiğinde TLBO algoritması FPA'ya göre daha iyi sonuç vermiştir. Önceden belirtilen yük ve tasarım şartları altında her iki algoritma da; optimum kolon boyutunu 30 x 66 cm ve optimum donatı alanını 76,93 cm² olarak vermiştir. Bu değerlere göre ise minimum CO₂ emisyonu olan 316,55 kg değeri elde edilmiştir.

Geleneksel betonun kullanıldığı kolon ile aynı tasarım şartlarına sahip, geopolimer betonlu kolon tasarım algoritmalarına göre; tek seferli çalıştırmada TLBO'da 1000 iterasyona, FPA'da ise 10000 iterasyona yaklaşınca optimuma yakınsayan tasarım değerleri elde edilmeye başlanmıştır. 30 kez çevrimli çalışma yapıp en küçük iterasyonlara bakıldığında TLBO 4447'inci, FPA ise 755'inci iterasyonda minimum emisyon değerlerini vermiştir. Her iki algoritmanın standart sapmalarını incelediğimizde; TLBO algoritması FPA'ya göre daha iyi sonuç vermiştir. Önceden belirtilen yük ve tasarım şartları altında her iki algoritma da; optimum kolon boyutunu 43 x 70 cm ve optimum donatı alanını 48,51 cm² olarak vermiştir. Bu değerlere göre ise fabrikada

beton ve çelik donatı üretimi kaynaklı toplam CO₂ salınımı 188,62 kg'dır.

Geleneksel betonlu kiriş tasarlama algoritmaları incelendiğinde; TLBO algoritmasında tek seferli çalıştırma sonucunda, 5000 iterasyona yaklaşınca optimuma yakın değerler elde edilmeye başlanmıştır. FPA ile tasarımda; TLBO ile elde edilene değerlere yakın sonuçlar elde edilmiştir fakat TLBO algoritması gibi 5000 iterasyondan itibaren kararlı sonuçlar vermemiştir. 30 kez çevrimli çalıştırma yapıldığında; en küçük iterasyon sayılarına bakıldığında TLBO 4777'inci, FPA ise 1029'uncu iterasyonda minimum emisyon değerlerini vermiştir. Her iki algoritmanın standart sapmalarını incelediğimizde TLBO algoritması, FPA'ya göre daha iyi sonuç vermiştir. Önceden belirtilen yük ve tasarım şartları altında her iki algoritma da; optimum kiriş boyutunu 25 x 60 cm ve optimum donatı alanını 33,10 cm² olarak vermiştir. Bu değerlere göre ise minimum CO₂ emisyonu olan 198,30 kg değeri elde edilmiştir.

Geleneksel betonlu kiriş ile aynı tasarım şartları altında, geopolimer betonlu kiriş tasarım algoritmaları incelendiğinde; tek seferli çalıştırılınca TLBO algoritması 5000 iterasyona yaklaşınca FPA'ya göre daha istikrarlı sonuçlar vermiştir. 30 defa çevrimli çalıştırma yapıldığında; en küçük iterasyon sayılarına bakıldığında TLBO 4882'inci, FPA ise 947'inci iterasyonda minimum emisyon değerlerini vermiştir. Her iki algoritmanın standart sapmalarını incelendiğinde TLBO algoritması FPA'ya göre daha iyi sonuç vermiştir. Önceden belirtilen yük ve tasarım şartları altında her iki algoritma da; optimum kiriş boyutunu 25 x 60 cm ve optimum donatı alanını 33,10 cm² olarak vermiştir. Bu tasarım değerlerine göre ise fabrikada geopolimer beton

ve çelik donatı üretimi kaynaklı minimum toplam emisyon 109,85 kg olarak bulunmuştur.

Geleneksel betonlu kiriş ile aynı tasarım şartlarına sahip, geopolimer betonun kullanıldığı kiriş tasarım algoritmaların sonuçlarına bakıldığında da; tek seferli çalıştırma şartı altında, TLBO algoritması FPA'ya göre 5000 iterasyon civarlarında daha istikrarlı sonuçlar vermiştir. 30 kez çevrimli sonuçlar incelendiğinde ise TLBO algoritması 4882. iterasyonda, FPA ise 947. iterasyonda minimum sonuçları vermektedir. Standart sapmalar incelendiğinde ise TLBO'nun FPA'ya göre daha iyi olduğu görülmüştür. Her iki algoritma sonuçları incelendiğinde, optimum tasarımı 25 x 60 cm kiriş boyutlarına ve 33,10 cm² donatı alanına sahiptir. Fabrikada beton ve donatı malzemeleri üretimi kaynaklı toplam emisyon ise 109,85 kg'dır.

Geleneksel betonlu kare tekil temel tasarım algoritmalar incelendiğinde; tek seferli çalıştırmada tasarım değişkenleri 500 iterasyona yaklaşıncaya optimuma yakın değerler elde edilmeye başlanmıştır. 30 kez çevrimli çalıştırma yapıldığında; TLBO 483'üncü, FPA ise 305'inci iterasyonda minimum emisyon değerlerini vermiştir. Her iki algoritmanın standart sapmalarını incelendiğimizde FPA, TLBO algoritmasına göre daha iyi sonuç vermiştir. Önceden belirtilen yük ve tasarım şartları altında her iki algoritma da; optimum temel boyutlarını 3,03 x 3,03 x 0,66 m ve donatı alanını 73,47 cm² olarak vermiştir. Bu değerlere göre ise minimum CO₂ emisyonu olan 2069,51 kg değeri elde edilmiştir.

Geleneksel betonunlu kare tekil temel ile aynı tasarım şartları altındaki geopolimer betonlu kare tekil temel tasarım algoritmaları incelendiğinde; tek seferli çalıştırmada tasarım değişkenleri 500 iterasyona yaklaşıncaya optimuma yakınsayan değerler elde edilmeye başlanmıştır. 30 kez çevrimli çalıştırma yapıldığında; en küçük iterasyon sayılarına bakıldığında TLBO 480'inci, FPA ise 313'üncü iterasyonda minimum emisyon değerlerini vermiştir. Her iki algoritmanın standart sapmalarını incelediğimizde TLBO algoritması, FPA'ya göre daha iyi sonuç vermiştir. Önceden belirtilen yük ve tasarım şartları altında her iki algoritma da; optimum temel boyutlarını 3,03 x 3,03 x 0,66 m ve optimum donatı alanını 73,47 cm² olarak vermiştir. Fabrikada üretilen geopolimer beton ve çelik donatı malzemeleri üretimi sırasında ortaya çıkan toplam CO₂ emisyonu ise 868.48 kg olarak elde edilmiştir.

Algoritmalar oluşturulurken, geleneksel beton üretimi sırasında ortaya çıkan CO₂ emisyon miktarı 316 kg/m³, geopolimer beton üretimi sırasında ortaya çıkan CO₂ emisyon miktarı ise 115 kg/m³ sabit değerler olarak kabul edilmiştir. Sadece betondan üretilen donatısız bir yapı düşünülürse, geopolimer kullanılmasıyla CO₂ emisyon miktarı %64 oranında azalmaktadır. Bu çalışmada kullanılan algoritmalar dikkate alındığında; çelik donatının da hesaba katıldığı geopolimer betonlu tasarım sonuçlarını incelediğimizde yaklaşık olarak; kolon imalatında %40, kiriş imalatında %45, temel imalatında ise %58 oranlarında CO₂ emisyon miktarı azalmaktadır.

Sonuç olarak minimum CO₂ emisyonunu verecek tasarımı amaçlayan algoritmalar incelendiğinde; kolon tasarımında geopolimer beton kullanılması, kolon boyutlarında artışa neden olurken, donatı miktarında azalmaya neden olmuştur. Kiriş ve temel tasarımlarını incelediğimizde ise, geopolimer beton kullanılması, boyutları ve donatı miktarında değişikliğe sebep olmamıştır. Dolayısıyla kiriş ve temel tasarımında minimum CO₂ emisyonunu veren dizayn, beton türüne göre değişmemiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Climate action and support trends; 2019. United Nations: Climate Change.
- [2] He Z, Zhu X, Wang J, Mu M, Wang Y. Comparison of CO₂ emissions from OPC and recycled cement production. Elsevier: Construction and Building Materials. 2019;211: 965-973.
- [3] Energy Efficiency and CO₂ Reduction in the Iron and Steel Industry; 2019. European Commission.
- [4] Davidovits J. Environmentally Driven Geopolymer Cement Applications, Geopolymer 2002 Conference. Melbourne: 2002. p.145-156.
- [5] Shayan A, Xu A, Phaedonos AF. Field performance of geopolymer concrete, used as a measure towards reducing carbon dioxide emission. Materials Science. 2013;3:245-52.
- [6] Mishra G. [Internet]; 2014 [cited 2019 December 3] Geopolymer Concrete – Properties, Composition and Applications. Available from: <https://theconstructor.org/concrete/geopolymer-concrete-ecofriendly-construction-material/9430/>
- [7] Greenroofs [Internet]; 2015 [cited 2019 December]. Available from: <https://www.greenroofs.com/projects/global-change-institute/>
- [8] Davidovits J. 30 Years of Successes and Failures in Geopolymer Applications. Market Trends and Potential Breakthroughs, Geopolymer 2002 Conference. 2002. Melbourne: p.176-83.
- [9] Hardjito D, Wallah SE, Sumajouw DMJ, Rangan V. On the Development of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete. ACI Materials Journal. 2004;101(52): 467-472.
- [10] Geopolymer. [Internet]; 2016 [cited 2019 December 3]. Available from: <https://www.geopolymer.org/applications/geopolymer-cement/>
- [11] Geopolymer. [Internet]; 2016 [cited 2019 December 3]. Available from: <https://www.geopolymer.org/library/technical-papers/technical-paper-on-geopolymer-aircraft-pavement/>
- [12] Li C, Gong X, Cui S, Wang Z, Zheng Y, Chi B. CO₂ Emissions due to Cement Manufacture, Material Science Forum. 2011;685: 181-187.
- [13] Akçansa. [Internet]; 2018 [cited 2019 November 27]. Sürdürülebilirlik raporu 2016-2017. Available from: <http://www.akcansa.com.tr/downloads/surdurebilirlik/AKC-surdurulebilirlikRapor-261118.pdf>

- [14] McLellan BC, Williams RP, Lay J, Riessen AV, Corder GD. Costs and carbon emissions for geopolymer pastes in comparison to ordinary portland cement. *Journal of Cleaner Production*. 2011;19(9-10): 1080-1090.
- [15] Heuristic. [Internet]; 2015 [cited 2019 December 3]. Available from: <https://en.wikipedia.org/wiki/Heuristic>
- [16] Blum C, Roli A. Metaheuristics in combinatorial optimization: overview and conceptual comparison. *ACM Computing Surveys*. 2001;35: 268-308.
- [17] Rao RV, Savsani VJ, Vakharia DP. Teaching-learning-based optimization: A novel method for constrained mechanical design optimization problems. *Computer-aided Design*. 2011;43: 303-315.
- [18] Rao RV. Review of applications of TLBO algorithm and a tutorial for beginners to solve the unconstrained and constrained optimization problems. *Decision Science Letters*. 2016;5: 1-30.
- [19] Dede T. Optimum design of grillage structures to LRFD-AISC with teaching-learning based optimization. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, – Springer. 2013; 48:955–964.
- [20] Temür R, Bekdaş G. Teaching learning-based optimization for design of cantilever retaining walls. *Structural Engineering and Mechanics*. 2016; 57(4): 763-783.
- [21] Dede T, Ayvaz Y. Structural optimization with teaching-learning-based optimization algorithm. *Structural Engineering and Mechanics - koreascience.or.kr*. 2013; 495-511.
- [22] Aydogdu I, Akin A. Teaching and learning-based optimization algorithm for optimum design of steel buildings. *International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*, 2014. Reston, Virginia: ASCE; 2014. p. 2167-2175.
- [23] Toğan V. Design of planar steel frames using teaching-learning based optimization. *Engineering Structures - Elsevier*. 2012; 34: 225-232.
- [24] Degertekin SO, Hayalioglu MS. Sizing truss structures using teaching-learning-based optimization. *Computers & Structures - Elsevier*. 2013; 119: 177-188.
- [25] Akin A, Aydogdu I. Optimum design of steel space frames by hybrid teaching-learning based optimization and harmony search algorithms. *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*. 2015; 9(7): 1318-1325.
- [26] Daloglu AT, Artar M, Ozgan K, Karakas AI. Optimum design of braced steel space frames including soil-structure interaction via teaching-learning-based optimization and harmony search algorithms. *Advances in Civil Engineering - Hindawi.com*. 2018.
- [27] Yang XS. Flower pollination algorithm for global optimization. *Unconventional Computation and Natural Computation*. 2012; 7445:240-249.
- [28] Nigdeli SM, Bekdaş G, Yang XS. Application of the flower pollination algorithm in structural engineering. *Metaheuristics and Optimization in Civil Engineering – Springer*. 2016; 25-42.
- [29] Mergos PE, Mantoglou F. Optimum design of reinforced concrete retaining walls with the flower pollination algorithm. *Structural and Multidisciplinary Optimization – Springer*. 2020; 61: 575-585.
- [30] Nigdeli SM, Bekdaş G, Yang XS. Metaheuristic optimization of reinforced concrete footings. *KSCE Journal of Civil Engineering – Springer*. 2018; 22: 4555-4563.
- [31] Roh S, Tae S, Suk SJ, Ford G, Shin S. Development of a building life cycle carbon emission assessment program (BEGAS2.0) for Korea's green building index certification system. *Renewable and sustainable energy reviews*. 2016;53:954-965.



Bingöl Ovası'nda Yetiştiriciliği Yapılan Yoncaların (*Medicago sativa* L.) Verim ve Kalitelerinin Belirlenmesi

Erdal ÇAÇAN^{1*}, İhsan ARSLAN²

¹ Bingöl Üniversitesi, Gıda Tarım ve Hayvancılık Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Bingöl, Türkiye

² Bingöl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Bingöl, Türkiye

Erdal ÇAÇAN ORCID No: 0000-0002-9469-2495

İhsan ARSLAN ORCID No: 0000-0003-4790-0711

*Sorumlu yazar: ecacan@bingol.edu.tr

(Alınış: 24.06.2020, Kabul: 24.02.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Anahtar Kelimeler

Yonca,
Bingöl ovası,
Ot verimi,
Ot kalitesi

Öz: Bu çalışma, Bingöl ovası köylerinde yetiştiriciliği yapılan yoncaların, verim ve kalitesinin belirlenmesi amacıyla 2018 yılında yürütülmüştür. Çalışma kapsamında, Bingöl ovasında yer alan 39 adet yonca tarlası ziyaret edilmiştir. Ziyaret edilen tarlalarda bitki boyu ölçülmüş, tesadüfi üç tekerrürlü olarak alınan örnekler üzerinden yeşil ot ve kuru ot verimleri hesaplanmıştır. Kurutulan ve öğütülen ot örneklerine ait kalite parametreleri, NIRS cihazı ile analiz edilmiştir. İncelenen tüm özellikler arasında tespit edilen farkların istatistiksel olarak anlamlı olduğu ($P < 0,01$) görülmüştür. Çalışmada; bitki boyu 59,3-109,3 cm, yeşil ot verimi 1016-4683 kg da⁻¹, kuru ot verimi 230-1050 kg da⁻¹, ham protein oranı %16,2-23,5, ham protein verimi 44,3-193,2 kg da⁻¹, ADF (asit deterjanda çözünmeyen lif) oranı %25,7-35,7, NDF (nötral deterjanda çözünmeyen lif) oranı %33,9-46,4, SKM (sindirilebilir kuru madde) oranı %61,1-68,9, KMT (kuru madde tüketimi) oranı %2,59-3,57 ve NYD (nispi yem değeri) ise 123-191 arasında değişim göstermiştir. En yüksek verim (yeşil ve kuru ot verimi) Garip köyüne ait birinci tarladan, en yüksek kalite ise (düşük ADF, NDF ile yüksek SKM, KMT ve NYD) Kumgeçit köyüne ait ikinci tarladan elde edilmiştir. Bölgede yonca yetiştiriciliği yapan çiftçilerin sertifikalı tohumluk kullanmaları tavsiye edilmektedir. Ancak çeşitli nedenlerden dolayı yerel genotiplere ait tohumlukların tercih edilmesi durumunda, Garip köyü ve Kumgeçit köylerinde kullanılan tohumlukların tercih edilmesi verim ve kalite açısından avantajlı olacağı anlaşılmıştır.

Determination of Yield and Quality of Alfalfa Cultivated In Bingöl Plain

Keywords

Alfalfa,
Bingöl plain,
Forage
quality,
Forage yield

Abstract: This study was carried out in 2018 to determine the yield and forage quality of the alfalfa that was grown in villages in the Bingöl plain. Within the scope of the study, 39 alfalfa fields in Bingöl plain were visited. In the fields visited, the plant height was measured, and the forage and dry matter yields were calculated from the samples taken as random three replications. Quality parameters of dried and ground forage samples were analyzed with NIRS device. The differences between the examined features were found to be statistically significant ($P < 0.01$). In the study; plant height 59.3-109.3 cm, forage yield 1016-4683 kg da⁻¹, dry matter yield 230-1050 kg da⁻¹, crude protein ratio 16.2-23.5%, crude protein yield 44.3-193.2 kg da⁻¹, ADF (insoluble fiber in acid detergent) ratio 25.7-35.7%, NDF (insoluble fiber in neutral detergent) ratio 33.9-46.4%, DDM (digestible dry matter) ratio 61.1-68.9%, DMI (dry matter intake) 2.59-3.57% and RFV (relative feed value) varied between 123-191. The highest yield (forage and dry matter yield) was obtained from the first field of Garip village and the highest quality (low ADF, NDF and high DDM, DMI and RFV) was obtained from the second field of Kumgeçit village. Farmers growing alfalfa in the region are recommended to use certified seeds. However, if the seeds of local genotypes are preferred for various reasons, it is understood that the seeds used in Garip village and Kumgeçit villages will be preferred in terms of yield and quality.

1. GİRİŞ

Yonca, yem bitkilerinin en değerlisi ve kültürü yapılan en eski yem bitkisidir. Adını Medya Otu anlamına gelen *Herba Medica*'dan almaktadır. Yonca M.Ö. 1350 yıllarında Hitit Uygarlığı döneminde Anadolu'da yetiştiriciliği yapıldığı daha sonra M.Ö. 490 yılında Medler ve Persler tarafından anavatanından (Trans-Kafkaslar, İran ve Anadolu) Yunanistan'a, oradan da Roma'ya götürüldüğü bilinmektedir. Dünyada 18. yüzyılda bilinçli bir şekilde tarımı yapılmaya başlanmış ve bir üretim dalı haline gelmiştir (1).

Yonca cinsi içerisinde yaklaşık olarak 50 tür bulunmaktadır. Bu 50 türün sadece on tanesi tarımsal açıdan önem taşımaktadır. Bunlar; *Medicago sativa*, *M. falcata*, *M. varia*, *M. lupulina*, *M. hispida*, *M. maculata*, *M. tuberculata*, *M. scutellata*, *M. elegans* ve *M. orbicularis*'tir. Yonca türleri içerisinde en çok önem taşıyan ve en çok yetiştiriciliği yapılan yaygın yonca (*Medicago sativa*)'dır. Yaygın yonca çok yıllık olup, hemen hemen dünyanın her yerinde yetişebilen tipleri bulunmaktadır (2).

Dünyada en çok yetiştirilen yem bitkisi yonca olup, diğer yem bitkilerine göre daha yüksek yem değerine sahiptir. Yonca, birim alanda yüksek verim verir ve gerek yeşil otu gerekse kuru otu tüm hayvanlar için hem lezzetli hem de besleyicidir. Ancak otu, yeşil olarak fazla yedirildiğinde ruminant hayvanlarda şişkinlik yapmaktadır (3).

Yoncadan çiftlik hayvanlarının beslenmesinin yanı sıra, bazı uygulamalar sonucunda elde edilen yonca küplerinden petlerin beslenmesinde (tavşan, hamster, vb) ve yonca unundan ise kanatlıların beslenmesinde yararlanılmaktadır. Son zamanlarda yonca yapraklarından plastik hammaddesi, saplarından ise etanol üretilmektedir (2).

Yonca uzun ömürlü bir bitki olduğundan, iyi adapte olduğu yerlerde uzun yıllar yaşarsa da normal olarak 7-10 yıl ekonomik ürün verir. Bir mevsimde birçok defa biçilebilir. Bir mevsimde ve sulu şartlarda Doğu Anadolu Bölgesinde 2-3, İç Anadolu Bölgesinde 4-5, Ege ve Marmara Bölgelerinde 7-8 ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinde ise 8-10 defa biçim alınabilmektedir (4).

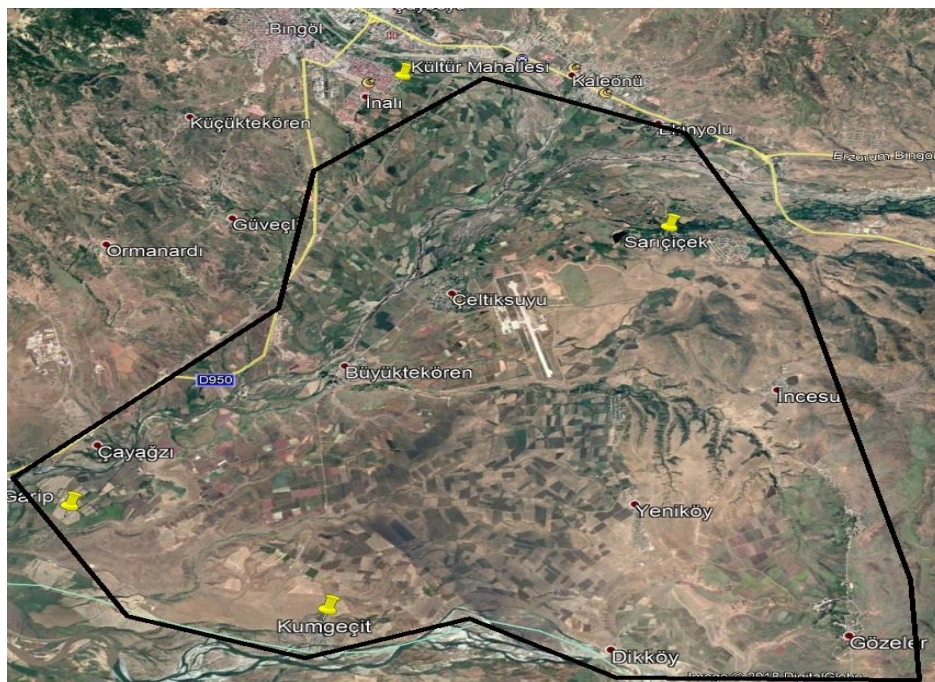
Yoncanın; Doğu Anadolu Bölgesinde yeşil ot veriminin 3106-3795 kg/da, kuru ot veriminin 1102-1315 kg/da (5,6), İç Anadolu Bölgesinde kuru ot veriminin 1499-1761 kg/da (7), Ege Bölgesinde yeşil ot veriminin 9515-11885 kg/da, kuru ot veriminin 2031-2710 kg/da (8,9), Akdeniz Bölgesinde yeşil ot veriminin 4443 kg/da ve kuru ot verimi 1139 kg/da (10) arasında olduğu bildirilmiştir.

Bingöl ilinde Doğu Anadolu Bölgesinin diğer illerinde olduğu gibi hayvancılığın temel girdisi olan kaba yem ihtiyacının karşılanması için yonca yetiştiriciliği yapılmaktadır. Yoncanın Bingöl ovasında çiftçi şartlarında elde edilen verim ve kalitenin belirlenmesi amacıyla bu çalışma yürütülmüştür.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Araştırmanın materyalini; Bingöl Ovası'nda yonca tarımının yoğun olarak yapıldığı Ekinyolu, Sarıççek, Yeniköy, Dik, Çeltiksuyu, Büyüktekören, Çayağzı, Kumgeçit, Garip, Ormanardı ve Güveçli köyleri ile Bingöl il merkezine bağlı Kültür mahallesi ile tarlalardan alınan yonca örnekleri oluşturmaktadır. Örneklemenin yapıldığı lokasyon haritası Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Bingöl ovasına ait uydu görüntüsü

Bingöl ovasında ziyaret edilen tarlalara ait enlem, boylam ve rakım bilgileri Tablo 1'de verilmiştir. Buna göre 12 farklı lokasyonda bulunan 39 adet yonca tarlası

ziyaret edilerek yerel yoncalar ile ilgili gözlemler yapılmış ve numuneler alınmıştır.

Tablo 1. Bingöl Ovası'nda bulunan yonca tarlalarına ait konum bilgileri

| | Mahalle / Köy | Enlem-Boylam | Rakım | No | Mahalle / Köy | Enlem-Boylam | Rakım |
|----|--------------------------|-------------------|-------|----|--------------------|-------------------|-------|
| 1 | Kültür Mahallesi Tarla 1 | 38.89610-40.54067 | 1055 | 20 | Çayağzı Tarla 1 | 38.79164-40.54766 | 1000 |
| 2 | Kültür Mahallesi Tarla 2 | 38.89755-40.54519 | 1031 | 21 | Ormanardı Tarla 1 | 38.81860-40.55639 | 1013 |
| 3 | Kültür Mahallesi Tarla 3 | 38.88614-40.53582 | 1055 | 22 | Çeltiksuyu Tarla 1 | 38.87028-40.60964 | 1093 |
| 4 | Kültür Mahallesi Tarla 4 | 38.88311-40.54418 | 1036 | 23 | Çeltiksuyu Tarla 2 | 38.86288-40.61286 | 1087 |
| 5 | Kültür Mahallesi Tarla 5 | 38.88188-40.55136 | 1035 | 24 | Çeltiksuyu Tarla 3 | 38.85879-40.58092 | 1052 |
| 6 | Kültür Mahallesi Tarla 6 | 38.86585-40.54032 | 1026 | 25 | Çeltiksuyu Tarla 4 | 38.85565-40.56434 | 1023 |
| 7 | Kültür Mahallesi Tarla 7 | 38.86330-40.53316 | 1048 | 26 | Çeltiksuyu Tarla 5 | 38.84095-40.57355 | 1022 |
| 8 | Kumgeçit Tarla 1 | 38.80339-40.62371 | 1045 | 27 | Çeltiksuyu Tarla 6 | 38.84683-40.57334 | 1030 |
| 9 | Kumgeçit Tarla 2 | 38.80470-40.62567 | 1051 | 28 | Sarıççek Tarla 1 | 38.88459-40.60665 | 1085 |
| 10 | Ekinyolu Tarla 1 | 38.90205-40.56402 | 1042 | 29 | Sarıççek Tarla 2 | 38.88582-40.60733 | 1086 |
| 11 | Güveçli Tarla 1 | 38.84628-40.54765 | 1030 | 30 | Sarıççek Tarla 3 | 38.88031-40.60824 | 1088 |
| 12 | Güveçli Tarla 2 | 38.84428-40.55406 | 1025 | 31 | Sarıççek Tarla 4 | 38.89874-40.60876 | 1052 |
| 13 | Büyüktökren Tarla 1 | 38.82454-40.58627 | 1068 | 32 | Sarıççek Tarla 5 | 38.89880-40.60816 | 1051 |
| 14 | Büyüktökren Tarla 2 | 38.82604-40.58529 | 1065 | 33 | Dikköy Tarla 1 | 38.84271-40.63778 | 1086 |
| 15 | Garip Tarla 1 | 38.79567-40.56308 | 1003 | 34 | Dikköy Tarla 2 | 38.84234-40.63742 | 1084 |
| 16 | Garip Tarla 2 | 38.79460-40.56303 | 1000 | 35 | Dikköy Tarla 3 | 38.83768-40.63170 | 1084 |
| 17 | Garip Tarla 3 | 38.78687-40.56329 | 994 | 36 | Yeniköy Tarla 1 | 38.85300-40.62359 | 1079 |
| 18 | Garip Tarla 4 | 38.79277-40.56924 | 1003 | 37 | Yeniköy Tarla 2 | 38.85392-40.62023 | 1082 |
| 19 | Garip Tarla 5 | 38.78836-40.56675 | 994 | 38 | Yeniköy Tarla 3 | 38.85192-40.61748 | 1080 |
| | | | | 39 | Yeniköy Tarla 4 | 38.85354-40.62053 | 1082 |

Bingöl iline ait bazı iklim verileri incelendiğinde; uzun yıllar (1975-2009) aylık ortalama sıcaklığın 11,5 °C, toplam yağış miktarının 962,9 mm ve ortalama nispi nem değerinin ise %56,7 olduğu rapor edilmiştir. Araştırmanın yürütüldüğü 2018 yılının, uzun yıllar ortalamasından daha sıcak (14,6 °C), daha az yağışlı (905,0 mm) ve nispi nem değerinin de daha düşük (%54,1) olduğu görülmüştür (Tablo 2).

Bingöl ovası topraklarının pH'sının 6,37 ile 8,18, kireç içeriklerinin %0,04 ile %9,90, EC değerinin 102,6 µS/cm ile 624,5 µS/cm, organik madde oranlarının %0,35 ile %2,78, B oranlarının %0,33 ile %0,48, N oranlarının %0,17 ile %0,22, P oranlarının %4,13 ile %7,86, Fe oranlarının %12,78 ile %18,24, Zn oranlarının %0,32 ile %0,41, Cu oranlarının %0,33 ile %1,37 ve Mn oranlarının %3,96 ile %4,63 arasında değişim gösterdiği bildirilmiştir (12).

Tablo 2. Bingöl iline ait bazı iklim verileri (11)

| Aylar | Ortalama Sıcaklık C | | Ortalama Nispi Nem (%) | | Toplam Yağış (mm) | |
|--------------------|---------------------|-------------|------------------------|-------------|-------------------|--------------|
| | Uzun Yıllar | 2018 | Uzun Yıllar | 2018 | Uzun Yıllar | 2018 |
| Ocak | -2,6 | 2,0 | 72,2 | 72,7 | 121,6 | 204,0 |
| Şubat | -1,6 | 5,2 | 71,5 | 65,8 | 144,7 | 74,9 |
| Mart | 3,6 | 10,3 | 66,9 | 59,1 | 130,2 | 72,2 |
| Nisan | 10,2 | 14,4 | 59,2 | 44,1 | 120,8 | 57,1 |
| Mayıs | 17,4 | 16,4 | 53,1 | 67,9 | 77,1 | 163,0 |
| Haziran | 21,3 | 22,6 | 43,3 | 47,4 | 21 | 33,3 |
| Temmuz | 25,0 | 27,1 | 35,1 | 30,6 | 8,4 | 4,6 |
| Ağustos | 24,6 | 27,4 | 37,5 | 31,1 | 5,1 | 11,7 |
| Eylül | 20,3 | 22,6 | 43,1 | 37,0 | 11,5 | 11,7 |
| Ekim | 13,5 | 15,9 | 57,3 | 55,6 | 69,1 | 104,5 |
| Kasım | 6,2 | 7,9 | 68,0 | 72,4 | 113,6 | 83,6 |
| Aralık | 0,4 | 3,2 | 73,6 | 65,4 | 139,8 | 84,4 |
| Ort./Toplam | 11,5 | 14,6 | 56,7 | 54,1 | 962,9 | 905,0 |

2.2. Metot

Araştırmada bitki örnekleme ve ölçümler; yonca yetiştiriciliğinin yapıldığı toplam 39 üretici tarlasından, yoncaların ikinci biçiminde, çiçeklenme başlangıcında yapılmıştır. Her tarladan rastgele seçilen 30 adet bitkinin toprak seviyesi ile en yüksek noktaya kadar olan kısmı ölçülerek bitki boyu değerleri belirlenmiştir. Her tarlaya rastgele atılan üç adet 33 cm x 33 cm ebatlarındaki metal çerçeve içerisinde kalan bitkiler, toprak yüzeyinden biçilerek çerçevelerin yeşil ot ağırlıkları belirlenmiş, çerçeve alanı dikkate alınarak her bir örnekleme noktasına ait yoncaların dekara yeşil ot verimleri tespit edilmiştir. Biçilen bu otlardan 0,5 kg'lık örnekler alınarak kurutma dolabında 48 saat 70 °C'de kurutulduktan sonra tartım yapılmış ve kuru ot ağırlığı elde edilmiştir. Elde edilen kuru ot değerleri daha sonra dekara verime çevrilmiştir (13).

Kuru ot ağırlığı tespit edilen otlar öğütülerek analize hazır hale getirilmiştir. Kuru ot örneklerinin ham protein (HP), asit deterjanda çözünmeyen lif (ADF) ve nötral deterjanda çözünmeyen lif (NDF) oranı analizleri, Dicle Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi Laboratuvarında NIRS (Near Infrared Spectroscopy-Foss Model 6500) cihazı yardımıyla yapılmıştır.

Kuru otta tespit edilen HP oranlarının dekara kuru ot verimleri ile çarpılarak dekara HP verimleri hesaplanmıştır (14,15). Yonca örneklerinde sindirilebilir kuru madde (SKM), kuru madde tüketimi (KMT) ve nispi yem değeri (NYD) aşağıdaki eşitlikler yardımıyla belirlenmiştir (16,17).

$$\begin{aligned} SKM &= 88,9 - (0,779 \times \%ADF), \\ KMT &= 120 / \%NDF, \\ NYD &= (SKM \times KMT) / 1,29. \end{aligned}$$

Elde edilen verilere, JMP istatistik paket programı yardımıyla varyans analizi uygulanmış, grupların farklılıkları Tukey testi ile karşılaştırılmıştır (18).

3. BULGULAR

3.1.Bitki Boyu, Yeşil Ot ve Kuru Ot Verimleri

Bingöl Ovası'nda yetiştiriciliği yapılan yonca genotiplerinin bitki boyları, yeşil ot verimleri, kuru ot verimleri, ham protein oranları ve ham protein verimlerine ait değerler ve ortalamalar Tablo 3'te, ADF, NDF, SKM ve KMT oranları ile nispi yem değerleri ile ilgili değerler ve ortalamalar ise Tablo 4'te verilmiştir. İncelenen bu özellikler arasındaki farkların istatistik açıdan %1 düzeyinde önemli olduğu görülmüştür.

Bingöl Ovası'nda yetiştiriciliği yapılan yonca genotiplerine ait bitki boylarının 59,3-109,3 cm arasında değiştiği ve ortalamasının da 82,1 cm olduğu tespit edilmiştir. En yüksek bitki boyunun Kültür Mahallesi'nde yer alan yedinci tarladan, en düşük bitki boyunun ise Çeltiksuyu Köyü'ne ait birinci tarladan ve Kumgeçit Köyü'ne ait ikinci tarladan elde edildiği görülmüştür (Tablo 3).

Daha önce yapılan çalışmalar, farklı çeşitlerle ve farklı yetiştirme koşullarında yürütüldüğünden bitki boyu ile ilgili farklı değerler elde edilmesi beklenen bir durumdur. Örneğin Bingöl koşullarında yürütülen bu çalışmada yoncanın bitki boyu ortalaması 82,1 cm olarak elde edilirken, İzmir koşullarında 68,8-71,1 cm (8), Erzurum koşullarında 67,7 cm (19) ve Yozgat koşullarında 70,4-78,3 cm (7) olarak elde edilmiştir.

Yonca genotiplerine ait yeşil ot verimleri 1016-4683 kg da⁻¹, kuru ot verimleri ise 230-1050 kg da⁻¹ arasında değişmiştir. Yeşil ot verimi ortalaması 2817 kg da⁻¹, kuru ot verimi ortalaması ise 684 kg da⁻¹ olarak elde edilmiştir. En yüksek yeşil ot veriminin Garip Köyü'nde yer alan birinci tarladan, en düşük yeşil ot veriminin ise Kumgeçit Köyü'ne ait birinci tarladan elde edildiği görülmüştür. En yüksek kuru ot veriminin Garip Köyü'nde yer alan birinci ve beşinci tarlalardan, en düşük kuru ot veriminin ise Kumgeçit Köyü'nün ikinci tarlasından elde edildiği belirlenmiştir (Tablo 3).

Daha önce yapılan çalışmalara bakıldığında; Şanlıurfa koşullarında yoncanın yeşil ot verimi 2796 kg da⁻¹, kuru ot verimi 817 kg da⁻¹ (20), Bingöl koşullarında yeşil ot verimi 2735-3591 kg da⁻¹, kuru ot verimi 924,1-1227,3 kg da⁻¹ (6), Van koşullarında yeşil ot verimi 2922-4358 kg da⁻¹, kuru ot verimi ise 787-1620 kg da⁻¹ (5) olarak elde edilmiştir. Daha önce yapılan bu çalışmalarda elde edilen yeşil ot ve kuru ot verimlerinin yüksekliği biçim sayısının fazlalığından kaynaklanmaktadır.

Mevcut çalışmada sadece yoncaların ikinci biçimine denk gelen bir adet biçim sonuçları değerlendirilmeye alınmıştır. Bingöl koşullarında yılda ortalama dört biçim alınmaktadır (6). Ancak genel olarak ilk biçim ve son biçimden elde edilen yeşil ot verimi ve kuru ot verimleri daha düşük olmaktadır. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda, esasında bu çalışmadan elde edilen yeşil ot ve kuru ot verimlerinin, ortalama üç katı ile çarpılması durumunda gereceğe yakın verim değerleri elde edilecektir.

3.2.Ham Protein Oranları ve Verimleri

Yonca genotiplerine ait ham protein oranları %16,2-23,5, ham protein verimleri ise 44,3-193,2 kg da⁻¹ arasında değişmiştir. Ham protein oranı ortalaması %19,0, ham protein verimi ortalaması ise 129,5 kg da⁻¹ olarak elde edilmiştir. En yüksek ham protein oranı Çeltiksuyu Köyü'nde yer alan üçüncü tarladan, en düşük ham protein oranı Garip Köyü'nde yer alan üçüncü tarladan, en yüksek ham protein verimi Sarıçiçek Köyü'nde yer alan birinci tarladan, en düşük ham protein verimi ise Kumgeçit Köyü'nde yer alan birinci tarladan elde edilmiştir (Tablo 3).

Ham protein oranları, İzmir koşullarında %17,9-20,3 (21), Doğu ve Güneydoğu Anadolu'dan toplanan bazı yonca klonlarında %17,1-23,2 (22) ve Tokat koşullarında %17,1-18,8 (23) olarak elde edilen değerler ile benzerlik göstermektedir. Bitkiler, çevre koşullarının etkisi ve genetik yapılarındaki farklılıklardan dolayı

farklı ekolojilerde farklı verimler vermektedirler. Ham protein verimi de ham protein oranı ve kuru ot verimi ile elde edilen bir parametre olduğundan, bu değerlerin farklılık gösterdiği yerlerde ham protein verimi de farklılıklar göstermektedir.

Tablo 3. Yonca genotiplerine ait bitki boyları, yeşil ot verimleri, kuru ot verimleri, ham protein oranları, ham protein verimleri ve oluşan gruplar**

| | Köy Adı | Bitki Boyu (cm) | Yeşil Ot Verimi (kg da ⁻¹) | Kuru Ot Verimi (kg da ⁻¹) | Ham Protein Oranı (%) | Ham Protein Verimi (kg da ⁻¹) |
|----|---------------------|-----------------|--|---------------------------------------|-----------------------|---|
| 1 | Büyüktekören-1 | 74,4 k-q | 2610 b-j | 723 a-f | 18,3 c-i | 134,1 a-g |
| 2 | Büyüktekören-2 | 81,2 g-k | 2247 c-j | 626 a-h | 17,9 e-i | 112,2 a-h |
| 3 | Cayağzı | 67,3 n-q | 1263 hij | 346 fgh | 17,3 f-i | 59,8 fgh |
| 4 | Celtiksuyu-1 | 59,3 q | 1842 e-j | 995 c-h | 20,2 b-f | 100,2 c-h |
| 5 | Celtiksuyu-2 | 79,9 h-l | 3580 a-d | 894 abc | 18,4 c-i | 165,1 a-d |
| 6 | Celtiksuyu-3 | 76,9 j-m | 3080 a-g | 543 c-h | 23,5 a | 127,6 a-h |
| 7 | Celtiksuyu-4 | 85,0 e-j | 3597 a-d | 839 a-d | 19,4 c-h | 162,8 a-e |
| 8 | Celtiksuyu-5 | 69,8 m-p | 1603 g-j | 404 e-h | 20,1 b-g | 81,1 d-h |
| 9 | Celtiksuyu-6 | 74,0 k-o | 3917 abc | 832 a-e | 20,2 b-f | 167,7 a-d |
| 10 | Dik-1 | 90,2 c-g | 3187 a-g | 823 a-e | 18,2 d-i | 150,6 a-e |
| 11 | Dik-2 | 65,2 opq | 1647 g-j | 432 d-h | 18,1 d-i | 77,6 e-h |
| 12 | Dik-3 | 85,1 e-j | 2880 b-i | 777 a-f | 19,8 c-h | 153,9 a-e |
| 13 | Ekinyolu | 78,0 i-m | 2187 c-j | 543 c-h | 19,2 c-i | 105,0 b-h |
| 14 | Garip-1 | 93,2 cde | 4683 a | 1050 a | 17,9 e-i | 187,1 ab |
| 15 | Garip-2 | 91,2 c-f | 2977 a-h | 743 a-f | 19,8 c-h | 146,4 a-f |
| 16 | Garip-3 | 87,8 d-h | 3637 a-d | 871 abc | 16,2 i | 140,9 a-f |
| 17 | Garip-4 | 93,0 cde | 3820 abc | 819 a-e | 18,6 c-i | 153,6 a-e |
| 18 | Garip-5 | 105,0 ab | 4310 ab | 1050 a | 17,7 e-i | 186,2 ab |
| 19 | Güveçli-1 | 62,3 pq | 1907 d-j | 477 c-h | 20,1 b-f | 96,0 c-h |
| 20 | Güveçli-2 | 97,2 bc | 2923 b-h | 730 a-f | 20,6 a-e | 150,0 a-e |
| 21 | Kumgeçit-1 | 66,3 n-q | 1016 j | 261 gh | 16,9 ghi | 44,3 h |
| 22 | Kumgeçit-2 | 59,9 q | 1187 ij | 230 h | 23,1 ab | 52,9 gh |
| 23 | Kültür-1 | 66,1 n-q | 2340 c-j | 650 a-h | 16,8 hi | 108,0 a-h |
| 24 | Kültür-2 | 89,6 c-g | 2893 b-i | 750 a-f | 18,3 c-i | 137,2 a-f |
| 25 | Kültür-3 | 85,4 e-j | 1773 f-j | 530 c-h | 18,1 d-i | 95,7 c-h |
| 26 | Kültür-4 | 81,2 g-k | 2613 b-j | 613 b-h | 21,1 a-d | 129,3 a-h |
| 27 | Kültür-5 | 86,2 e-i | 2580 b-j | 661 a-h | 19,0 c-i | 125,4 a-h |
| 28 | Kültür-6 | 95,8 cd | 3537 a-e | 839 a-d | 21,4 abc | 182,2 abc |
| 29 | Kültür-7 | 109,3 a | 2977 a-h | 783 a-e | 17,4 e-i | 136,4 a-f |
| 30 | Ormanardı | 74,8 k-n | 3463 a-f | 673 a-g | 18,4 c-i | 123,8 a-h |
| 31 | Sarıççek-1 | 90,8 c-f | 4097 ab | 1016 ab | 18,9 c-i | 193,2 a |
| 32 | Sarıççek-2 | 85,8 e-j | 2723 b-j | 780 a-e | 19,0 c-i | 147,8 a-e |
| 33 | Sarıççek-3 | 97,4 bc | 3113 a-g | 752 a-f | 18,7 c-i | 141,2 a-f |
| 34 | Sarıççek-4 | 82,8 f-k | 2617 b-j | 583 c-h | 18,3 c-i | 107,0 a-h |
| 35 | Sarıççek-5 | 86,2 e-i | 3050 b-g | 719 a-f | 17,7 e-i | 127,7 a-h |
| 36 | Yeniköy-1 | 90,3 c-g | 3283 a-g | 815 a-e | 19,0 c-i | 154,8 a-e |
| 37 | Yeniköy-2 | 81,4 g-k | 2830 b-i | 666 a-g | 19,9 c-h | 131,3 a-h |
| 38 | Yeniköy-3 | 85,2 e-j | 3167 a-g | 747 a-f | 18,4 c-i | 137,9 a-f |
| 39 | Yeniköy-4 | 71,4 l-p | 2663 b-j | 600 b-h | 19,6 c-h | 117,6 a-h |
| | Ortalama | 82,1 | 2817 | 684 | 19,0 | 129,5 |
| | ** : P≤0,01, CV (%) | 3,39 | 18,70 | 19,17 | 4,03 | 20,22 |

3.3. ADF, NDF, SKM ve KMT Oranları ile Nispi Yem Değerleri

Yonca genotiplerine ait asit deterjanda çözünmeyen lif oranları %25,7-35,7 arasında değiştiği ve ortalamasının %29,6, nötral deterjanda çözünmeyen lif oranlarının %33,9-46,4 arasında değiştiği ve ortalamasının da %39,2 olduğu tespit edilmiştir. En yüksek ADF ve NDF oranları Ormanardı Köyü'nde yer alan tarladan, en düşük

ADF ve NDF oranları da Kumgeçit Köyü'nde yer alan ikinci tarladan elde edildiği görülmüştür (Tablo 4).

Yonca genotiplerinin ortalama olarak SKM oranları %65,9, KMT oranları %3,09 ve nispi yem değerleri ise 158 olarak elde edilmiştir. En düşük SKM ve KMT oranları Ormanardı köyüne ait tarladan, en yüksek SKM ve KMT oranları ile nispi yem değerleri ise Kumgeçit köyüne ait ikinci tarladan elde edilmiştir (Tablo 4).

Daha önce yapılan çalışmalarda yonca bitkisinde ADF oranları %18,7-34,9, NDF oranları %27,1-47,1, SKM oranları %63,6-74,4, KMT oranları %2,60-4,53 ve nispi yem değeri 126-262 arasında değiştiği bildirilmiştir (6,10,24-26). ADF ve NDF bitki hücre çeperini oluşturan bileşiklerdir. Yemlerde ADF ve NDF oranlarının mümkün olduğunca düşük olması istenir.

ADF oranının düşüklüğü sindirilebilir kuru madde oranının yüksek olmasını, NDF oranının düşüklüğü ise kuru madde tüketimi oranının yüksek olmasını sağlar. Bu iki faktör sayesinde belirlenen sindirilebilir kuru madde ve kuru madde tüketim oranları da nispi yem değerinin yüksek veya düşük olması üzerinde doğrudan etkili olmaktadır.

Tablo 4. Yonca genotiplerine ait ADF, NDF, SKM ve KMT oranları, nispi yem değerleri ve oluşan gruplar

| | Köy Adı | ADF (%) | NDF (%) | SKM (%) | KMT (%) | NYD |
|----|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| 1 | Büyüktekören-1 | 27,7 bcd | 37,0 c-f | 67,3 abc | 3,25 a-e | 170 a-e |
| 2 | Büyüktekören-2 | 27,5 bcd | 36,1 c-f | 67,5 abc | 3,32 a-d | 174 a-d |
| 3 | Cayağzı | 30,9 a-d | 41,7 a-f | 64,8 ab | 2,88 b-e | 145 b-e |
| 4 | Celtiksuyu-1 | 28,0 bcd | 37,4 b-f | 67,1 abc | 3,22 a-e | 168 a-e |
| 5 | Celtiksuyu-2 | 27,8 bcd | 36,9 c-f | 67,2 abc | 3,25 a-e | 169 a-e |
| 6 | Celtiksuyu-3 | 27,1 bcd | 36,0 c-f | 67,8 ab | 3,34 abc | 175 a-d |
| 7 | Celtiksuyu-4 | 28,3 bcd | 39,6 a-f | 66,9 abc | 3,04 a-e | 157 a-e |
| 8 | Celtiksuyu-5 | 28,3 bcd | 37,5 b-f | 66,8 abc | 3,20 a-e | 166 a-e |
| 9 | Celtiksuyu-6 | 30,3 a-d | 39,2 a-f | 65,3 a-d | 3,07 a-e | 156 a-e |
| 10 | Dik-1 | 29,8 a-d | 38,9 a-f | 65,7 a-d | 3,09 a-e | 158 a-e |
| 11 | Dik-2 | 28,4 bcd | 37,5 b-f | 66,8 abc | 3,21 a-e | 167 a-e |
| 12 | Dik-3 | 27,1 bcd | 35,8 def | 67,8 abc | 3,35 abc | 176 abc |
| 13 | Ekinyolu | 29,1 a-d | 38,7 a-f | 66,2 a-d | 3,10 a-e | 159 a-e |
| 14 | Garip-1 | 32,2 a-d | 43,4 a-d | 63,8 a-d | 2,78 cde | 138 cde |
| 15 | Garip-2 | 32,2 a-d | 40,5 a-f | 65,3 a-d | 2,99 a-e | 152 a-e |
| 16 | Garip-3 | 32,6 abc | 42,7 a-e | 63,5 bcd | 2,82 cde | 139 b-e |
| 17 | Garip-4 | 32,3 a-d | 41,6 a-f | 63,7 a-d | 2,90 b-e | 144 b-e |
| 18 | Garip-5 | 31,3 a-d | 41,1 a-f | 64,5 a-b | 2,93 a-e | 147 a-e |
| 19 | Güveçli-1 | 29,0 a-d | 38,7 a-f | 66,3 a-d | 3,10 a-e | 159 a-e |
| 20 | Güveçli-2 | 28,6 bcd | 38,1 a-f | 66,6 abc | 3,16 a-e | 163 a-e |
| 21 | Kumgeçit-1 | 28,9 a-d | 39,9 a-f | 66,4 a-d | 3,01 a-e | 155 a-e |
| 22 | Kumgeçit-2 | 25,7 d | 33,9 f | 68,9 a | 3,57 a | 191 a |
| 23 | Kültür-1 | 29,4 a-d | 38,6 a-f | 66,0 a-d | 3,12 a-e | 160 ab |
| 24 | Kültür-2 | 29,0 a-d | 39,1 a-f | 66,3 a-d | 3,08 a-e | 159 a-e |
| 25 | Kültür-3 | 29,9 a-d | 39,1 a-f | 65,6 a-d | 3,10 a-e | 158 a-e |
| 26 | Kültür-4 | 27,1 bcd | 34,5 ef | 67,8 abc | 3,49 ab | 184 ab |
| 27 | Kültür-5 | 28,1 a-d | 36,4 c-f | 67,0 abc | 3,33 abc | 173 a-d |
| 28 | Kültür-6 | 29,9 a-d | 39,5 a-f | 65,6 a-d | 3,07 a-e | 157 a-e |
| 29 | Kültür-7 | 32,5 a-d | 42,8 a-e | 63,6 a-d | 2,81 cde | 139 b-e |
| 30 | Ormanardı | 35,7 a | 46,4 a | 61,1 d | 2,59 e | 123 e |
| 31 | Sarıçiçek-1 | 30,5 a-d | 40,0 a-f | 65,1 a-d | 3,00 a-e | 152 a-e |
| 32 | Sarıçiçek-2 | 29,7 a-d | 38,6 a-f | 65,8 a-d | 3,11 a-e | 159 a-e |
| 33 | Sarıçiçek-3 | 29,8 a-d | 39,9 a-f | 65,7 a-d | 3,01 a-e | 154 a-e |
| 34 | Sarıçiçek-4 | 32,7 abc | 44,2 abc | 63,5 bcd | 2,72 cde | 134 cde |
| 35 | Sarıçiçek-5 | 33,9 ab | 45,7 ab | 62,5 cd | 2,64 de | 128 de |
| 36 | Yeniköy-1 | 29,0 a-d | 38,5 a-f | 66,3 a-d | 3,12 a-e | 160 a-e |
| 37 | Yeniköy-2 | 28,9 a-d | 37,9 b-f | 66,8 a-d | 3,17 a-e | 163 a-e |
| 38 | Yeniköy-3 | 27,8 bcd | 37,3 b-f | 67,2 abc | 3,22 a-e | 168 a-e |
| 39 | Yeniköy-4 | 28,1 bcd | 37,5 b-f | 67,0 abc | 3,21 a-e | 167 a-e |
| | Ortalama | 29,6 | 39,2 | 65,9 | 3,09 | 158 |
| | ** : P≤0,01, CV (%) | 10,61 | 8,72 | 2,20 | 8,81 | 10,91 |

4. SONUÇ

Elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda en yüksek yeşil ot ve kuru ot verimlerinin Garip köyüne ait birinci tarladan, en düşük ADF ve NDF oranları ile en yüksek sindirilebilir kuru madde, kuru madde tüketimi ve nispi yem değerlerinin de Kumgeçit köynüne ait ikinci tarladan elde edildiği belirlenmiştir. Yonca yetiştiriciliği yapacak üreticilere sertifikalı tohumluk kullanmaları tavsiye edilmektedir. Ancak herhangi bir nedenden dolayı sertifikalı tohumluk yerine yerel genotiplere ait

tohumluk tercih edilmesi durumunda Garip köyü ve Kumgeçit köyünde yetiştiriciliği yapılan yoncalara ait tohumlukların tercih edilmesinin üretici için daha avantajlı olacağı anlaşılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma, İhsan ARSLAN'ın yüksek lisans tezinin özeti olup, Bingöl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje No: BAP-GMYO.2019.00.001).

KAYNAKLAR

- [1] Soya H, Avcioğlu R, Geren H. Yem Bitkileri. Hasad Yayıncılık, İstanbul.; 2004.
- [2] Avcioğlu R, Geren H, Tamkoç A, Karadağ Y. Yonca (*Medicago* sp. L.). In: Avcioğlu R, Hatipoğlu R, Karadağ Y, editors. Yem Bitkileri Baklagil Yem Bitkileri Cilt II. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Tarımsal Üretim ve Geliştirme Genel Müdürlüğü, İzmir.; 2009.
- [3] Ünal S. Yem Bitkileri. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Teşkilatlanma ve Destekleme Genel Müdürlüğü Televizyon Yoluyla Yaygın Çiftçi Eğitimi Projesi (YAYÇEP) Yayın No: 55, Ankara.; 2010.
- [4] Ekiz H, Altınok S, Sancak C, Sevimay CS, Kendir H. Tarla Bitkileri (V. Yem Bitkileri Çayır ve Mera). Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın No: 1588, Ankara.; 2011.
- [5] Turan N, Celen AE, Ozyazıcı MA. Yield and Quality Characteristics of Some Alfalfa (*Medicago sativa* L.) Varieties Grown in the Eastern Turkey. 2017;22(2):160-5.
- [6] Cacan E, Kokten K, Kaplan M. Determination of yield and quality characteristics of some alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivars in the east Anatolia region of Turkey and correlation analysis between these properties. Appl Ecol Environ Res. 2018;16(2):1185-98.
- [7] Engin B, Mut H. Farklı Yonca Çeşitlerinin Ot Verimi ve Bazı Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilim Derg. 2017;27(2):212-9.
- [8] Demiroğlu G, Geren H, Avcioğlu R. Farklı Yonca (*Medicago sativa* L.) Genotiplerinin Ege Bölgesi Koşullarına Adaptasyonu. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Derg. 2008;45(1):1-10.
- [9] Kavut YT, Çelen AE, Demiroğlu Topçu G, Kır B. Bazı Yonca (*Medicago sativa* L.) Genotiplerinin Farklı Lokasyonlardaki Verim ve Verim Özellikleri Üzerinde Bir Araştırma. 2Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Derg. 2014;51(1):23-9.
- [10] Çınar S. Çukurova Taban Koşullarında Bazı Çok Yıllık Sıcak Mevsim Buğdaygil Yem Bitkilerinin Yonca (*Medicago sativa* L.) ile Uygun Karışımlarının Belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Adana.; 2012.
- [11] MGM. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, <http://www.mgm.gov.tr>. 2020.
- [12] Demir Y. Bingöl Ovası'nda farklı fizyolojik üniteler üzerinde oluşmuş toprakların sınıflandırılması ve hidrolik özelliklerinin belirlenmesi. Atatürk Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Erzurum.; 2016.
- [13] Anonim. Tarımsal Değerleri Ölçme Denemeleri Teknik Talimatı, Yonca Türleri (*Medicago* L. species). Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Tohumluk Tescil ve Sertifikasyon Merkezi Müdürlüğü, Ankara.; 2001.
- [14] Seydoşoğlu S, Avcioğlu R. Çalimsı Yonca (*Medicago arborea* L.)'nın Hasat Dönemi ile Biçim Oranının Verim ve Verime İlişkin Özelliklerine Etkisi Üzerinde Araştırmalar. Türk Tarım ve Doğa Bilim Derg. 2014;1(1):10-6.
- [15] Kökten K, Kaplan M, Seydoşoğlu S, Tutar H, Özdemir S. Bingöl Koşullarında Bazı Burçak (*Vicia ervilia* (L.) Willd) Genotiplerinin Tohum Verimi ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Derg. 2019;56(1):27-33.
- [16] Morrison JA. Hay and pasture management. Chapter 6. In: Illinois Agronomy Handbook, 72.; 2003.
- [17] Rohweder DA, Barnes RF, Jorgenses N. Proposed hay grading standards based on laboratory analyses for evaluating quality. J Anim Sci. 1978;47(3):747-59.
- [18] JMP 5.0.1. A Business Unit of SAS. USA:SAS Instute; 2002.
- [19] Yeşil M, Şengül S. Türkiye'nin Değişik Yörelere Toplanan Yonca Ekotiplerinin Bazı Morfolojik Özelliklerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. Alinteri Ziraat Bilim Derg. 2009;16(1):1-6.
- [20] Artan H, Polat T. Şanlıurfa Sulu Koşullarında Bazı Çok Yıllık Sıcak Mevsim Buğdaygil Yem Bitkisi Türleriyle Yoncanın Saf ve Karışık Ekimlerinde Yem Kalite Değerlerinin Belirlenmesi. Harran Üniversitesi Vet Fakültesi Derg. 2019;8(1):85-92.
- [21] Kır B. Kimi yonca çeşitlerinde tohum ve ot verimi ile kalite özellikleri üzerinde bir araştırma. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Doktora Tezi, İzmir.; 2006.
- [22] Basbag M, Demirel R, Avci M. Determination of Some Agronomical and Quality Properties of Wild Alfalfa (*Medicago sativa* L.) Clones in Turkey. J Food, Agric Environ. 2009;7(2):357-9.
- [23] Gökalp S, Yazıcı L, Çankaya N, İspirli K. Bazı Yonca (*Medicago sativa* L.) Çeşitlerinin Tokat-Kazova Ekolojik Koşullarında Ot Verimi ve Kalite Performanslarının Belirlenmesi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Derg. 2017;34(3):114-27.
- [24] Açıkbaş S, Albayrak S, Türk M. Doğal Vejetasyondan Toplanan Bazı Yonca (*Medicago sativa* L.) Genotiplerinin Ot Verim Ve Kalitelerinin Belirlenmesi. Türkiye Tarımsal Araştırmalar Derg. 2017;4(2):155-62.
- [25] Tan M, Severoğlu S, Yazıcı A. Çayır ve Meralarda Yetişen Bazı Baklagil ve Buğdaygil Yem Bitkilerinin Besleme Değerlerinin Belirlenmesi. Iğdır Üniversitesi Fen Bilim Enstitüsü Derg. 2019;9(3):1776-84.
- [26] Çağan E, Aydın A, Başbağ M. Bingöl Üniversitesi Yerleşkesinde Yer Alan Bazı Baklagil Yem Bitkilerine Ait Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. Türk Tarım ve Doğa Bilim Derg. 2015;2(1):105-11.



Türk Doğa ve Fen Dergisi

Turkish Journal of Nature and Science

www.dergipark.gov.tr/tdfd



Broiler Rasyonlarında Üzüm Posası ve Enzim Kullanımının Performans Parametreleri Üzerine Etkisi

Gökhan ŞEN^{1*}, Mehmet Naci OKTAY², Şevket EVCI³, Mehmet BAŞALAN¹

¹ Kırıkkale Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları AD, Kırıkkale, Türkiye

² Kırıkkale Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Zootekni AD, Kırıkkale, Türkiye

³ Kırıkkale Üniversitesi, Delice MYO, Laborant ve Veteriner Sağlık Programı, Kırıkkale, Türkiye

Gökhan ŞEN ORCID No: 0000-0001-6222-6986

Mehmet Naci OKTAY ORCID No: 0000-0002-1487-0096

Şevket EVCI ORCID No: 0000-0002-1512-3412

Mehmet BAŞALAN ORCID No: 0000-0003-4827-824X

*Sorumlu yazar: gokhansen@kku.edu.tr

(Alınış: 09.07.2020, Kabul: 31.03.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Anahtar Kelimeler

Broiler,
Üzüm posası,
Enzim,
Performans

Öz: Bu çalışmada, şarap endüstrisi yan ürünü olan ve yapısal karbonhidratlarca zengin üzüm posasının enzim ile broiler rasyonlarına ilavesinin canlı ağırlık, canlı ağırlık artışı, yem tüketimi ve yemden yararlanma oranı performans değerleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Çalışma üç ana grup ve her grup dört alt grup içerecek şekilde düzenlenmiştir. Bu amaçla 120 adet 0 günlük Ross 308 ırkı broilerler kullanılmıştır. Kontrol, Üzüm ve Enzim grupları adı altında her grupta 40 adet, her alt grupta 10 adet civciv olacak şekilde dağılım gerçekleştirildi. Kontrol grubu temel rasyonu tüketmiş olup, üzüm grubu temel rasyona %5 üzüm posası ilave edilen rasyonu, enzim grubu ise temel rasyona %0.1 enzim ve %5 üzüm posası ilave edilen rasyonu tüketmiştir. Çalışma sonunda enzim ilavesinin canlı ağırlık ve canlı ağırlık artışını olumlu etkilediği ($p < 0,05$), yem tüketiminin üzüm ve enzim gruplarında arttığı ($p < 0,05$), bununla birlikte yemden yararlanmanın ise tüm gruplarda benzer olduğu ($p > 0,05$) görülmüştür. Sonuç olarak yan ürün olarak açığa çıkan yapısal karbonhidratlarca zengin bir ürün olan üzüm posasının enzim ile rasyonlara katılmasının yararlı olacağı belirlenmiştir.

25

The Effect of Using Grape Pomace and Enzyme in Broiler Rations on Performance Parameters

Keywords

Broiler,
Grape
pomace,
Enzyme,
Performance

Abstract: In this study, the effects of the addition of grape pomace, which is a by-product of wine industry and rich in structural carbohydrates, and enzyme in broiler rations on body weight, body weight gain, feed consumption and feed conversion ratio having performance values were investigated. For this purpose, 120 0-day Ross 308 breed broilers were used. Broiler chicks as Control, Grape and Enzyme groups, were divided into 3 groups and these groups divided also into 4 subgroups consisting of 10 chicks in each group. The control group consumed the basic ration, the grape group consumed ration with 5% grape pomace added to the basic ration, the enzyme group, consumed 0.1% enzyme and 5% grape pomace added to the basic ration. At the end of the study, it was observed that the addition of enzymes positively affected the increase in body weight and body weight gain ($p < 0.05$), feed consumption increased in grape and enzyme groups ($p < 0.05$), and feed conversion ratio was similar in all groups ($p > 0.05$). As a result, it was determined that it would be beneficial to add grape pomace, which is a product with high structural carbohydrates, exposed as a by-product, to the rations with enzyme.

1. GİRİŞ

Ham haldeki materyalin son ürüne işlenmesi sonucu, son ürün için kullanılmayan, önemli düzeyde artık veya yan

ürün açığa çıkar. Açığa çıkan bu yan ürünler tarım alanlarında gübre olarak ya da etanol ve biyogaz gibi biyoteknolojik ürün üretimi için kullanılmasının yanında hayvan yemi olarak da değerlendirilmektedir [1,2]. Tarımsal ürünlerin işlenmesi sonucu açığa çıkan yan

ürünlerin hayvan besleme için kullanılması hem yem maliyetini düşürmede hem de açığa çıkan bu yan ürünün bertaraf edilme sorununun ortadan kaldırılmasında etkili faydaları olmaktadır [3].

Üzüm ülkemizde sofralık, kuru üzüm ve şarap üretiminde değerlendirilmek üzere yaklaşık dört milyon ton üretilmektedir. Bunun yaklaşık yarım milyon ton kadarı (üretilen üzümün yaklaşık ~%12'si) şarap üretiminde kullanılmaktadır [4]. Şarap sanayiinde üzümün sıkılarak suyunun alınmasından sonra geriye kalan kısım üzüm posası olarak adlandırılmaktadır. Yaş haldeki üzüm sıkılıp suyu alındıktan sonra geriye %11-15 düzeylerinde posa açığa çıkmaktadır. Açığa çıkan bu posanın %22.5'i çekirdek, %42.5'i kabuk ve %24.9'u saptan olmaktadır [5,6].

Üzüm kabukları kurutulmuş üzüm tanesinin %5-10'unu oluşturmakta ve bu kabukların da %30'u nötral polisakkaritler olan araban, ksilan, selüloz, ksiloglikan, galaktan, mannan polisakkaritleri ve bunlarla beraber pektinden meydana gelmektedir [7]. Kanatlılar sindirim sistemi mikrofloralarının ruminantları kadar gelişmiş olmaması ve daha kısa olması nedeniyle bu polisakkaritlerden yeterli miktarda yararlanamamaktadırlar. Bu yapılardan daha fazla yararlanabilmeleri amacıyla bu türlerin rasyonlarında yem katkı maddesi olarak enzim ilavesi etkili olmaktadır. Bu sayede sindirilmeyen bu polisakkaritlerin neden olduğu bağırsak viskozite artışı önlenmekte, bununla birlikte fosforun yararlanabilirliği de artırılarak yemden yararlanma oranı iyileştirilmektedir [8].

Bu çalışmanın amacı artık bir ürün olan üzüm posasının enzim ile broyler rasyonlarına ilavesinin broylerin canlı ağırlık, canlı ağırlık kazancı, yem tüketimi ve yemden yararlanma oranı performanslarına etkisini araştırmaktır.

2. MATERYAL VE METOT

Araştırma Kırıkkale Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Kanatlı Araştırma Ünitesinde gerçekleştirildi. Bu amaçla ticari bir firmadan 0 günlük yaşta 120 adet Ross 308 ırk broyler civciv temin edilmiştir. Araştırma ünitesine getirilen civcivler canlı ağırlıkları tartılarak gruplara ayrılmıştır. Araştırma 4 alt gruplu, 3 gruptan oluşturulmuş olup her alt grupta 10 civciv bulunacak şekilde eşit olarak dağılım yapılmıştır. Araştırmada şaraplık olarak kullanılan Hasandede ve Sungurlu çeşitlerinin yetiştirildiği Ankara'nın Kalecik ilçesinden alınan yaş üzüm posaları kullanılmıştır. Yaş olarak alınan posa açık havada kuru maddesi %90 seviyelerine gelinceye kadar kurutulduktan sonra 1 mm elekten geçirilerek öğütülmüş şekliyle kullanılmıştır. Enzim olarak ticari enzim karışımı (Fitaz; 1.000.000 U, Ksilanaz; 1.000.000 TXT, Glukanaz; 25.000 TGU, Mannanaz; 100.000 U, Proteaz; 100.000 U, Alfa-amilaz 150.000 U, Pektinaz; 80.000 U) kullanılmış ve tavsiye edilen miktar olan %0.1 düzeyinde ilave edilmiştir. Araştırmada kullanılan rasyonların ham madde içerikleri ile kimyasal bileşenleri Tablo 1'de verilmiştir. Gruplardan kontrol grubu temel rasyonu tüketmiş olup,

üzüm grubu temel rasyona %5 üzüm posası ilave edilen rasyonu, enzim grubu ise temel rasyona %0.1 enzim ve %5 üzüm posası ilave edilen rasyonu tüketmiştir. Kullanılan rasyonların kimyasal madde bileşenleri AOAC [9]'e, metabolize olabilir enerji (ME) düzeyleri ise Anonim [10]'e göre hesaplanmıştır.

Tablo 1. Araştırmada kullanılan rasyonların ham madde içerikleri ve kimyasal bileşenleri, %

| Maddeler | Kontrol | Üzüm | Enzim |
|-------------|---------|---------|---------|
| SFK | 39 | 39 | 39 |
| Mısır | 46,5 | 43 | 42,9 |
| Razmol | 5 | 3 | 3 |
| Soya yağı | 6 | 6,5 | 6,5 |
| DCP | 1,7 | 1,7 | 1,7 |
| Kireç taşı | 1,4 | 1,4 | 1,4 |
| Tuz | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| Üzüm posası | - | 5 | 5 |
| Enzim | - | - | 0,1 |
| Kuru Madde | 92,01 | 92,20 | 90,97 |
| Ham Protein | 23,77 | 23,94 | 24,45 |
| Ham Selüloz | 8,71 | 7,56 | 8,60 |
| Ham yağ | 9,35 | 8,58 | 9,13 |
| Ham kül | 6,89 | 6,61 | 7,53 |
| ME* | 3091,81 | 3176,89 | 3207,34 |

*ME(kcal/kg):[(0.1551*HP+0.3431*HY+0.1669*%Nişasta+0.1301*%Şeker)/4.184]*1000

Araştırma 21 gün süre ile gerçekleştirilmiş olup yerde yetiştirme uygulanmıştır. Civcivler ~1 m² alana sahip odun talaşının altlık olarak kullanıldığı bölmelerde ilk 10 gün civciv sulukları ve civciv yemlikleri ile daha sonra nipel suluk ve sarkıt yemlikleri ile *ad libitum* beslenmişlerdir. Kümes ortamı elektrikli radyant ısıtıcılarla ilk gün 33 °C'ye ısıtılmış daha sonraki günlerde kademeli olarak ısı düşürülmüştür. Aydınlatma 24 saat florasan lambalar ile sağlanmıştır. Kuluçkahaneden yumurtadan çıktığı gün alınarak getirilen civcivler 0 günlük canlı ağırlıkları tartılarak gruplara dağıtılmıştır. Civcivler bireysel olarak tartılıp grup ortalaması alınarak her hafta canlı ağırlıklar belirlenmiştir. Her hafta bir önceki hafta ile ortalama canlı ağırlıklar arasındaki fark hesaplanmış ve haftalık canlı ağırlık artışı olarak belirlenmiştir. Yem tüketimleri bir hafta süresince yemliklere konulan yem miktarından diğer haftanın başında yemliklerde kalan yemler arasındaki fark alınarak belirlenmiştir. Grupların ortalama yem tüketimleri ortalama canlı ağırlık artışları ile oranlanarak yemden yararlanma oranları hesaplanmıştır. Araştırma Kırıkkale Üniversitesi Hayvan Deneyleri Yerel Etik Kurulu'nun 2019/12 Toplantı Sayılı, 58 No'lu kararı ile onaylanmıştır.

Araştırma tesadüf blokları deneme deseninde planlanmış olup canlı ağırlık, canlı ağırlık artışı, yem tüketimi ve yemden yararlanma oranı verilerinin istatistikleri SPSS 15.0 for Wnindows programı kullanılarak Tek Yönlü Varyans Analizi (One-way ANOVA) ile yapılmıştır. Gruplar arası farklar Duncan testi ile gösterilmiştir. Sonuçlar ortalama ve standart hata olarak verilmiştir.

3. BULGULAR

Araştırma gruplarının haftalık ortalama canlı ağırlıkları Tablo 2'de verilmiştir. Araştırma başlangıcında civcivler

homojen olarak gruplara dağıtılmıştır. İlerleyen haftalarda gruplar arasında önemli farklar bulunmuştur ($p<0,001$). İlk iki hafta grupların ortalama canlı ağırlıkları kontrol ve üzüm grubunda benzer iken enzim grubunda ortalama canlı ağırlıkların önemli düzeyde

yüksek olduğu tespit edilmiştir ($p<0,001$). Son hafta ise üzüm grubunun da ortalama canlı ağırlığı enzim grubu ile benzer şekilde kontrol grubundan önemli düzeyde yüksek bulunmuştur ($p<0,001$).

Tablo 2. Kontrol ve Deneme Gruplarına ait haftalık ortalama canlı ağırlıklar, g

| Hafta | Deneme Grupları | | | |
|-------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-------|
| | Kontrol | Üzüm | Enzim | p |
| 0 | 40,13 ± 0,42 | 40,68 ± 0,45 | 40,73 ± 0,59 | 0,633 |
| 1 | 115,45 ± 1,86 ^a | 120,58 ± 1,74 ^a | 126,98 ± 1,94 ^b | 0,000 |
| 2 | 256,90 ± 6,14 ^a | 271,63 ± 4,67 ^a | 297,03 ± 5,41 ^b | 0,000 |
| 3 | 463,43 ± 10,35 ^a | 498,65 ± 9,88 ^b | 528,13 ± 11,53 ^b | 0,000 |

a,b: Aynı satırda farklı harf taşıyan değerler arasında istatistiksel olarak fark vardır ($p<0,05$)

Grupların haftalık ortalama canlı ağırlık artışı ve tüm çalışma süreci sonunda ortalama canlı ağırlık artış miktarları Tablo 3'de verilmiştir. Ortalama canlı ağırlık artışı yönünden gruplar arasında sadece son hafta önemli fark olmadığı görülmüştür ($p>0,05$). Ancak ilk iki hafta ve araştırmanın tüm süreci dikkate alındığında gruplar arasındaki fark önemlidir. İlk iki hafta enzim grubunun

ortalama canlı ağırlık artışı kontrol ve üzüm grubundan daha yüksek bulunmuştur ($p<0,01$). Tüm çalışma süresine bakıldığında ise enzim grubunun canlı ağırlık artışının kontrol grubundan önemli düzeyde yüksek olduğu ($p<0,05$), üzüm grubunun ise diğer iki grup ile benzer olduğu görülmektedir.

Tablo 3. Kontrol ve Deneme Gruplarına ait haftalık ortalama canlı ağırlık artışları, g

| Hafta | Deneme Grupları | | | |
|-------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-------|
| | Kontrol | Üzüm | Enzim | p |
| 1 | 75,33 ± 1,83 ^a | 79,90 ± 1,87 ^a | 86,25 ± 2,19 ^b | 0,001 |
| 2 | 141,45 ± 5,69 ^a | 151,05 ± 4,91 ^a | 170,05 ± 5,22 ^b | 0,001 |
| 3 | 206,53 ± 9,54 | 227,03 ± 10,95 | 231,10 ± 11,92 | 0,233 |
| 0-3 | 423,25 ± 24,70 ^a | 458,50 ± 2,50 ^{ab} | 487,75 ± 9,87 ^b | 0,047 |

a,b: Aynı satırda farklı harf taşıyan değerler arasında istatistiksel olarak fark vardır ($p<0,05$)

Grupların haftalık ortalama yem tüketimleri Tablo 4'de gösterilmiş olup, ilk hafta hariç diğer haftalar ve tüm çalışma süresinin ortalamasında grupların yem tüketimleri farklıdır ($p<0,05$). İkinci hafta enzim grubunun ortalama yem tüketim miktarı kontrol

grubundan daha yüksek iken ($p<0,05$), son hafta ve tüm çalışma süresince ortalama yem tüketimleri üzüm ve enzim gruplarının her ikisinde kontrol grubundan daha yüksek olduğu görülmektedir ($p<0,05$).

Tablo 4. Kontrol ve Deneme Gruplarına ait haftalık ortalama yem tüketimleri, g

| Hafta | Deneme Grupları | | | |
|-------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------|
| | Kontrol | Üzüm | Enzim | p |
| 1 | 113,80 ± 10,74 | 115,60 ± 5,87 | 112,00 ± 6,66 | 0,951 |
| 2 | 216,68 ± 10,52 ^a | 250,13 ± 6,76 ^{ab} | 266,48 ± 14,65 ^b | 0,031 |
| 3 | 340,10 ± 12,71 ^a | 398,48 ± 13,34 ^b | 407,40 ± 17,45 ^b | 0,020 |
| 0-3 | 670,58 ± 30,18 ^a | 764,20 ± 15,36 ^b | 785,88 ± 29,03 ^b | 0,026 |

a,b: Aynı satırda farklı harf taşıyan değerler arasında istatistiksel olarak fark vardır ($p<0,05$)

Araştırma gruplarına ait haftalık ortalama yemden yararlanma oranları Tablo 5'de verilmiştir. Tablo incelendiğinde hem haftalık olarak hem de tüm deneme

süresi sonunda grupların haftalık ortalama yemden yararlanma oranlarında önemli farklar olmadığı görülmektedir.

Tablo 5. Kontrol ve Deneme Gruplarına ait haftalık ortalama yemden yararlanma oranları, g g⁻¹

| Hafta | Deneme Grupları | | | |
|-------|-----------------|-------------|-------------|-------|
| | Kontrol | Üzüm | Enzim | p |
| 1 | 1,51 ± 0,10 | 1,44 ± 0,06 | 1,29 ± 0,04 | 0,148 |
| 2 | 1,54 ± 0,03 | 1,66 ± 0,05 | 1,56 ± 0,06 | 0,221 |
| 3 | 1,66 ± 0,08 | 1,76 ± 0,08 | 1,77 ± 0,10 | 0,623 |
| 0-3 | 1,59 ± 0,05 | 1,67 ± 0,03 | 1,61 ± 0,05 | 0,473 |

a,b: Aynı satırda farklı harf taşıyan değerler arasında istatistiksel olarak fark vardır ($p<0,05$)

3. TARTIŞMA

Endüstri yan ürünü olan üzüm posasının hayvan yemi olarak değerlendirilebilmesi hem artık bir ürünün değerlendirilmesi hem de hayvancılık işletmeleri giderlerinin önemli kısmını oluşturan yem giderini düşürmesi ile ülke hayvancılık ekonomisine önemli katkısı olacağı beklenmektedir. Mevcut çalışmadan elde

edilen ortalama canlı ağırlıklar ile broylerlerin rasyonlarına genç dönemlerinde üzüm posası ilavesinin herhangi olumsuz etkisinin olmadığı hatta üçüncü haftada iyileşme sağladığı görülmektedir. Bu sonuç Goni ve ark. [11] ve Viveros ve ark. [5] tarafından yapılan çalışmalar ile benzerlik göstermektedir. Üzüm posasının rasyona enzim ile ilave edilmesi canlı ağırlık artışını kontrol grubuna göre önemli düzeyde artırmış olup bu

sonuç Apperson ve Cherian [12] tarafından yürütülen çalışmanın sonucundan farklıdır. Enzim ilavesi canlı ağırlık artışı ile beraber ilk iki hafta ortalama canlı ağırlık artışını da diğer gruplara göre beklediği gibi anlamlı düzeyde artırmıştır. Tüm çalışma periyodu olan üç haftalık süreye bakıldığında ise üzüm ilavesi ile ortalama canlı ağırlık artışı kontrol grubuna göre sayısal olarak yükselmiş, enzim ilavesi ile kontrol grubuna göre anlamlı seviyede yükselme olduğu görülmüştür. Benzer durum Midilli ve Tuncer [13] tarafından yapılan arpa-buğday temelli rasyonlara enzim ilavesi sonucunda da görülmüş olup, Apperson ve Cherian [12] tarafından farklı seviyelerde tüm keten tohumu içeren rasyonlara enzim ilavesi ile yapılan çalışmada bu durum görülmemiştir. Mevcut çalışmada kullanılan üzüm posasının öğütülmüş olarak rasyona ilave edilmesi enzim substrat ilişkisinde iyileşme sağladığı düşünülmüştür. Kalantar ve ark. [14] tarafından yürütülen çalışmada buğday temelli ve arpa temelli farklı rasyonlara enzim ilavesi yapılmış ve ortalama canlı ağırlık artışların arpa temelli rasyona enzim ilavesine rağmen kontrole göre daha düşük olduğunu, buğday temelli rasyona enzim ilavesinin ise kontrol ile benzer sonuç sağladığını bildirmişlerdir. Mevcut çalışmada enzim ilaveli rasyonu tüketen grubun ortalama canlı ağırlık artışının kontrole göre daha yüksek olması kullanılan enzimin daha zengin olması veya rasyon enerji düzeyinin kontrol grubunun rasyon enerji düzeyi arasındaki farktan kaynaklanmış olabilir. Diğer yandan grupların yem tüketimlerine de bakıldığında üzüm posası içeren her iki grubun yem tüketimlerinin kontrol grubuna göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Yuan ve ark. [15]'nin yürüttüğü çalışmanın ilk üç haftalık sürecinde enzim ilavesi yem tüketimini değiştirmemiş, mevcut çalışmada üzüm posası ilavesinin yem tüketimini olumlu yönde etkilediği görülmüştür. Artık bir ürün olan üzüm posasının genç broylerler tarafından sevilerek tüketiliyor olması ve ortalama canlı ağırlık kazancında da olumsuz durum gerçekleşmemesi, üzüm posasının alternatif bir yem hammaddesi olabileceği durumunu gösterebilir. Mevcut çalışmanın aksine Apperson ve Cherian [12] ve Smeets ve ark. [16] tarafından yürütülen çalışmalarda yem tüketimi gruplar arasında değişiklik göstermemiştir. Yemden yararlanma oranları gruplar arasında farklılık göstermemesi yine üzüm posasının yem değerini olumlu yönde desteklemektedir. Artık bir ürün olan ve sindirimi olumsuz etkileyen yüksek selülozlu yapıya sahip olan üzüm posasının yemden yararlanma oranını olumsuz etkilememesi durumu yem değerinin de iyi yönde yorumlanmasını sağlamaktadır. Yapılan benzer çalışmalarla karşılaştırıldığında yemden yararlanma oranı değişik şekillerde etkilendiği görülmektedir. Kalantar ve ark. [14] tarafından gerçekleştirilen çalışmada buğday ve arpa temelli rasyonlarla beslenen grupların yemden yararlanma oranlarının enzim ilavesine rağmen kontrol grubuna göre olumsuz etkilendiğini bildirmişlerdir. Buna karşılık Smeets ve ark. [16] tarafından gerçekleştirilen buğday temelli rasyona enzim ilavesi ile yapılan çalışmanın ilk on üç günlük dönemi sonunda yemden yararlanma oranının enzim ilavesi ile olumlu değişiklik gösterdiği görülmüştür.

4. SONUÇ

Üzüm posası yüksek denilebilecek düzeyde yapısal karbonhidrata sahip olmasına rağmen broyler rasyonlarında ham madde olarak kullanıldığında canlı ağırlık ve canlı ağırlık artışını olumsuz etkilememesi avantaj olarak değerlendirilebilir. Enzim karışımı ile birlikte rasyonlara katılmasının ise canlı ağırlık ve canlı ağırlık artışını olumlu yönde değiştireceği görülmektedir. Üzüm posası ilavesi yem tüketimini artırmış olarak görülse de yemden yararlanma oranlarında olumsuz bir etkinin görülmemesi broyler rasyonlarında %5 düzeyine kadar kullanılabilmesini göstermektedir. Sonuç olarak, yapısal karbonhidrat içeriği kanatlı rasyonlarında kullanmak için yüksek denilebilecek düzeydeki üzüm posasının bu karbonhidratların sindiriminde etkili enzimlerin eksojen olarak rasyona ilavesi ile alternatif bir yem ham maddesi olabileceği görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Akyüz N. Süt endüstrisinde yan ürünlerin değerlendirilmesi ve önemi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 1979;10:207-16.
- [2] Aktaş B, Özdemir P, Basmacıoğlu-Malayoğlu H. Bazı agro-endüstriyel yan ürünlerin doğal antioksidan kaynağı olarak değerlendirilmesi. Hayvansal Üretim, 2013;54:30-5.
- [3] Vasta V, Nudda A, Cannas A, Lanza M, Priola A. Alternative feed resources and their effects on the quality of meat and milk from small ruminants, Anim Feed Sci Tech, 2008;147:223-46.
- [4] TÜİK [İnternet] Türkiye İstatistik Kurumu, 2019, [Erişim tarihi: 14.03.2019] Erişim: www.tuik.gov.tr
- [5] Viveros A, Chamorro S, Pizarro M, Arijia I, Centeno C, Brenes A. Effects of dietary polyphenol-rich grape products on intestinal microflora and gut morphology in broiler chicks, Poultry science, 2011;90:566-78.
- [6] Nerantzis E, Tataridis P. Integrated enology-utilization of winery by-products into high added value products, J. Sci. Tech, 2006;1:79-89.
- [7] Pinelo M, Arnous A, Meyer AS. Upgrading of grape skins: Significance of plant cell-wall structural components and extraction techniques for phenol release, Trends in Food Science & Technology, 2006;17:579-90.
- [8] Kocaoğlu Güçlü B, Kara K. Ruminant Beslemede Alternatif Yem Katkı Maddelerinin Kullanımı: 1. Probiyotik, Prebiyotik ve Enzim, Erciyes Üniv Vet Fak Derg. 2009;6(1):65-75.
- [9] AOAC Official Method of Analysis, The Association of Official Analytical Chemists, Ed. William Horwitz, Animal Feed, 18th ed., Maryland, Chapter 4; 2005. p. 1-72.
- [10] Anonim [İnternet]. Kanatlı Yemlerinde Enerji Tayini, 02/09/2004 tarihli Resmi Gazete, 2004, [Erişim tarihi: 12.05.2020] Erişim: <http://www.resmigazete.gov.tr/main.aspx?home=http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2004/09/20040902.htm&main=http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2004/09/20040902.htm>

- [11] Goni I, Brenes A, Centeno C, Viveros A, Saura-Calixto F, Rebole A ve ark. Effect of dietary grape pomace and vitamin e on growth performance, nutrient digestibility, and susceptibility to meat lipid oxidation in chickens, *Poultry science*, 2007;86:508-16.
- [12] Apperson KD, Cherian G. Effect of whole flax seed and carbohydrase enzymes on gastrointestinal morphology, muscle fatty acids, and production performance in broiler chickens, *Poultry Science*, 2017; 96:1228–34.
- [13] Midilli M, Tuncer ŞS. Broiler Rasyonlarına Katılan Enzim ve Probiyotiklerin Besi Performansına Etkileri, *Turk J Vet Anim Sci*, 2001;25:895-903.
- [14] Kalantar M, Schreurs NM, Raza SHA, Khan R, Ahmed JZ, Yaghobfar A, ve ark. Effect of different cereal-based diets supplemented with multi-enzyme blend on growth performance villus structure and gene expression (SGLT1, GLUT2, PepT1 and MUC2) in the small intestine of broiler chickens, *Gene Reports*, 2019;15:100376.
- [15] Yuan L, Wang M, Zhang X, Wang Z. Effects of protease and non-starch polysaccharide enzyme on performance, digestive function, activity and gene expression of endogenous enzyme of broilers, *PLoS ONE*, 2017;12(3):e0173941.
- [16] Smeets N, Nuyens F, Van Campenhout L, Delezie E, Niewold TA. Interactions between the concentration of non-starch polysaccharides in wheat and the addition of an enzyme mixture in a broiler digestibility and performance trial, *Poultry science*, 2018;97(6):2064-70.



Türk Doğa ve Fen Dergisi

Turkish Journal of Nature and Science

www.dergipark.gov.tr/tdfd



Cilt Lezyonlarının Sınıflandırılmasında Derin Öğrenme Tabanlı Bir Yöntem

Volkan GÖREKE^{1*}

¹ Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Teknik Bilimler MYO, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Sivas, Türkiye
Volkan GÖREKE ORCID No: 0000-0002-2418-8373

*Sorumlu yazar: vgoreke@cumhuriyet.edu.tr

(Alınış: 21.09.2020, Kabul: 05.01.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Anahtar Kelimeler

Cilt kanseri,
Derin sinir ağları,
Veri artırma,
Öznitelik çıkarma

Öz: Cilt kanseri kötü huylu tümörlerin kontrolsüz çoğalması nedeni ile başlar. Dünya çapında sık karşılaşılan bir kanser türüdür. Uzman hekimler tarafından çıplak gözle incelemesi ve teşhis konulması güçtür. Bu yüzden bilgisayar destekli teşhis sistemleri hekimlere tanı koymada yardımcı olabilir. Bu sistemler günümüzde yapay zekânın bir türü olan derin sinir ağlarını yaygın olarak kullanır. Pek çok derin sinir ağı içeren çalışmada derin sinir ağının girişinde veri girişi olarak doğrudan medikal görüntüler kullanılır. Bu çalışmada ise görüntü verisinden ön eğitilmiş derin sinir ağı ile elde edilmiş nümerik veri, ön işlemden geçirilerek sınıflandırıcı girişine uygulanmıştır. Ağ mimarisine bağlı olarak bu sistemler öznitelikleri kendi katmanlarında çıkarırlar. Bu çalışmada VGG16 ön eğitilmiş derin sinir ağı kullanılarak ilk önce ağ katmanlarından görüntülere ilişkin öznitelikler elde edilmiştir. Daha sonra yüksek miktarda veri içeren bu özniteliklerin boyutu azaltılmıştır. Böylece sınıflandırmada en iyi başarıyı sağlayacak öznitelikler elde edilmiştir. Veri artırma algoritması kullanılarak elde edilen nümerik veri artırılmış ve CNN tür derin sinir ağında %96 sınıflandırma doğruluğu ve %100 AUC başarımları elde edilmiştir.

30

A Method Based On Deep Learning For Classification Skin Lesions

Keywords

Skin cancer,
Deep neural networks,
Data augmentation,
Feature extraction

Abstract: Skin cancer which is a common type of cancer worldwide, occurs due to the uncontrolled proliferation of malignant tumors. Skin cancer is difficult to examine and diagnose by specialist physicians through the naked eye. Therefore, computer-aided diagnostic systems can assist physicians in diagnosing. These systems commonly use deep neural networks, a type of artificial intelligence nowadays. In studies involving many deep neural networks, medical images are used directly as data input at the entrance of the deep neural network. In this study, the numerical data obtained from image data by using a pre-trained deep neural network were applied to classifier input after pre-processing. Depending on the network architecture, these systems extract features in their own layers. In this study, using the VGG16 pre-trained deep neural network, firstly, the features related to the images were obtained from the network layers. Then, the size of these features containing large amounts of data was reduced. Thus, the features that will provide the best performance in classification were obtained. The numerical data obtained by using the data augmentation algorithm was increased and 96% classification accuracy and 100% AUC performance were obtained in CNN type deep neural network.

1. GİRİŞ

Cilt kanseri, dünya çapında en sık teşhis edilen kanserlerden biridir. Melanoma olarak da bilinen kötü huylu bir cilt tümörü, genellikle melanosit hücreleri kontrolden çıkmaya başladığında başlar. Çeşitli deri tümörleri arasında, malign melanoma, yakındaki dokulara üstün gelme duyarlılığı ve yüksek ölüm oranı nedeniyle en saldırgan öldürücü türdür [1]. Cilt kanserlerinin sağlık kontrolü sırasında çıplak gözle

görsel incelemesi, cilt lezyonları ve normal dokular arasında farklılıkları yeterince ortaya koyamadığı için yanlış bir tanıya neden olabilir. Bu nedenle, cilt kanseri tanıma için otomatik ve güvenilir bir bilgisayar destekli tanı (Computer Aided Diagnosis, CAD) sistemi, dermatologlara kararlarını desteklemek ve yardımcı olmak için ikinci bir görüş sağlayan önemli bir değerlendirme aracıdır [2]. Bu çalışmada kullanılan görüntü veri seti ile ilgili literatürde yapılan lezyon tespit çalışmaları aşağıda özetlendiği gibidir.

Codella ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada destek vektör makinesi sınıflandırıcı olarak kullanılmış %88,8 doğruluk elde edilmiştir [3]. Matsunaga ve arkadaşları yaptıkları çalışmada 1444 ek görüntü verisi kullanmışlardır. Sınıflandırıcı olarak derin evrişimli sinir ağı (convolutional neural network-CNN) yapısı ile melanoma sınıflandırmasında %82,8 doğruluk ve %95,8 ortalama eğri altında kalan alan (area under curve-AUC) değeri elde etmişlerdir [4]. Guo ve Yang tarafından yapılan çalışmada çoklu kanal ResNet derin sinir ağı mimarisi kullanılmıştır. Çalışmalarında %82,4 doğruluk, %91,7 AUC başarımları elde etmişlerdir [5]. Chen ve arkadaşları sınıflandırma işlemi için çok görevli bir yapı tasarlamışlardır. Tasarladıkları yapı bölütleme ağı ve sınıflandırma ağı olmak üzere iki bölümden oluşturulmuştur. Bu yapı ile gerçekleştirilen sınıflandırmada %80,1 doğruluk başarımları elde etmişlerdir [6]. Menegola ve arkadaşları ön eğitilmiş VGG yapısında derin sinir ağı kullanarak 7544 ek görüntü verisi ile ISIC 2017 veri seti üzerinde melanoma ve seboreik keratoz sınıflandırmasında %87,4 melanoma doğruluğu %89,5 seboreik keratoz doğruluğu ve ortalama %90,8 AUC başarımları elde etmişlerdir [7]. Yang ve arkadaşları derin CNN yapıda bir sınıflandırıcı kullanarak %88,6 doğruluk ve %91,1 AUC başarımlarına sahip sınıflandırma gerçekleştirmişlerdir [8]. Devries ve Ramachandram ön eğitilmiş Inception-v3 model derin sinir ağını 1341 ek görüntü verisi ile sınıflandırma için kullanmışlar ve %84,5 melanoma doğruluğu, %91,3 seboreik keratoz doğruluğu, ortalama %88,6 AUC başarımları elde etmişlerdir [9]. Diaz ve arkadaşları cilt lezyonlarının özelliklerini modelleyen özel alt sistemleri içeren ve teşhisinin yorumlanabilirliğini iyileştirmeyi amaçlayan CNN tabanlı bir CAD sistemi olan DermaKNet'i sunmuşlar, %91 AUC başarımları elde etmişlerdir [10]. Tang ve arkadaşları, deri lezyonu sınıflandırmasını gerçekleştirmek için yeni bir Global-Part CNN önermiş, geliştirdikleri algoritma, sıralı olarak eğitilmiş iki alt modelden oluşmuştur. İlk model (Global-CNN), ince ayarlanmış bir Xception ağı kullanılarak yeniden boyutlandırılan cilt lezyon görüntüleri üzerinde eğitilmiştir. ISIC 2017 veri seti üzerinde %92,6 AUC başarımları elde etmişlerdir [11]. Zhang ve arkadaşlarının yapmış oldukları güncel bir çalışmada, melanoma ve seboreik keratoz sınıflandırması için SDL (synergic deep learning) olarak adlandırılan bir modeli önermişlerdir. Çalışmalarında görüntü verisini derin sinir ağının girişine olarak kullanmış ve melanoma sınıflandırmasında %88,8, seboreik keratoz sınıflandırmasında %92,5 doğruluk ve ortalama %91,3 AUC değeri elde etmişlerdir [12].

Bu çalışmada ise literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak medikal görüntüler doğrudan derin sinir ağına uygulanmamıştır. İlk önce ön eğitilmiş derin sinir ağından otomatik olarak nümerik öznitelikler çıkarılmıştır. Bu nümerik veri seti üzerinde veri artırma algoritması ile ön işleme uygulanarak eğitim veri seti artırılmıştır. Daha sonra ön işlemde geçen nümerik veri seti kullanılarak derin sinir ağı yapısı ile daha başarılı sınıflandırma gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma aşağıdaki şekilde organize edilmiştir. Bölüm 2'de çalışmada kullanılan veri seti ve yazılım geliştirme ortamı tanıtılmıştır. Kullanılan ön eğitilmiş derin sinir ağı mimarisi açıklanmıştır. Bu mimariye ait derin sinir ağı ile nümerik öznitelikler çıkarılarak, tek değişkenli veri artırma algoritması ile nümerik veri artırılmıştır. Uygulanan yöntemin başarımları ölçümü sınıflandırmada kullanılan farklı veri giriş stratejileri uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Bunlar artırılmış görüntü veri seti, artırılmamış nümerik veri seti ve bu çalışmada önerilen artırılmış nümerik veri seti olarak gerçekleştirilmiştir. Literatürdeki çalışma sonuçları ile önerilen sistemin elde ettiği başarımlar karşılaştırılarak, önerilen sistemin üstünlüğü ortaya konmuştur. Bölüm 3'de konu ile ilgili çalışma yapacak araştırmacılar için seçilecek sınıflandırıcı mimarisi ve kullanılacak yöntemlerin başarımları yorumlanarak önerilerde bulunulmuştur.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

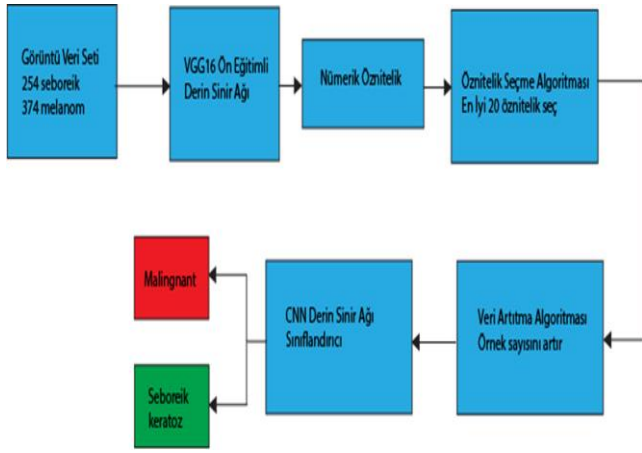
2.1. Veri Seti ve Araçlar

Bu çalışmada ISIC 2017 veri seti [3] kullanılmıştır. Bu veri seti cilt lezyonlarındaki melanoma teşhisini iyileştirmek için uluslararası bir girişim olan ISIC tarafından sunulmuştur. Melanoma, nevrus ve seboreik keratoz olmak üzere üç sınıf içerir. Veri seti iki grup şeklinde ikili alt sınıflandırma yapısında sunulmuştur. Melanoma sınıflandırması (örneğin Melanoma ve diğerleri) ve seboreik keratoz sınıflandırması (seboreik keratoz ve diğerleri) içerir. Veri seti içinde her bir grup 1 ve 0 etiket sayısal değerine göre farklı sınıfları işaret eder. Literatürde kapsamı seboreik keratoz ve melanoma sınıflandırmasına dayalı çalışmalar mevcuttur [13] [4][10].

Yukarıda ifade edilen kapsamda gerçekleştirilen bu çalışmada 254 adet seboreik keratoz ve 374 adet melanoma lezyona ait görüntüler kullanılmıştır. Çalışmadaki tüm işlemler Microsoft Visual Studio Community IDE üzerinde Python Anaconda 5.2.0 ortamında geliştirilen yazılım ile gerçekleştirilmiştir.

2.2. Önerilen Yöntem

Literatürde medikal görüntülerin sınıflandırması için oldukça yaygın olarak derin öğrenmeye dayalı sinir ağı kullanılır. Bu sistemlerin tamamına yakınında ise sınıflandırma işlemi için derin sinir ağının girişine medikal görüntüler verilmektedir [14] [15]. Bu çalışmada ise medikal içeriği olan görüntüler sınıflandırıcıya direkt olarak verilmeyip, bu görüntülerden ön eğitilmiş VGG16 ile elde edilen nümerik öznitelik grubu veri artırma algoritması ile artırılarak sınıflandırıcı girişine uygulanmıştır. Geliştirilen bu yönteme ilişkin işlem adımları aşağıdaki Şekil 1 ile verilmiştir.



Şekil 1. Geliştirilen yönteme ilişkin işlem adımları

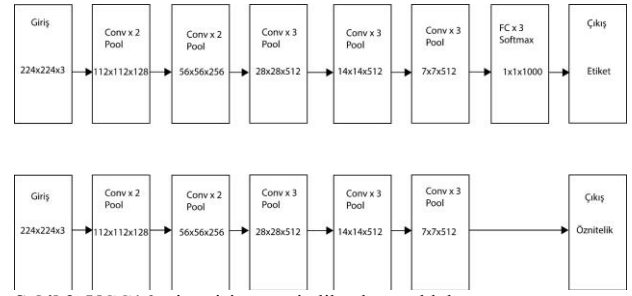
2.2.1. Ön eğitilmiş VGG16 modeli kullanılarak öznelik elde edilmesi

Evrişimli sinir ağı (CNN), pek çok türdeki hastalıkların bilgisayar destekli tespiti ve teşhisi alanında başarılı sonuçlar göstermiştir. CNN, sıfırdan eğitim için büyük miktarda veriye ihtiyaç duyar. Tıbbi görüntüler söz konusu olduğunda, çok sayıda etiketli görüntü elde etmek zordur. Bu gibi durumlarda, ImageNet gibi çok sayıda doğal görüntü üzerinde önceden eğitilmiş CNN'ler kullanılabilir [16]. Simonyan ve Zisserman tarafından tanıtılan [17] ve bir evrişimli sinir ağı türü olan VGG16'nın homojen mimarisi, beş evrişimli blok tarafından oluşturulur, böylece her bloğun girişi bir öncekinin çıktısıdır. VGG16, geri yayılma mekanizması aracılığıyla her katmandaki filtreleri (kernel) optimize ederek sınıflandırıcının giriş görüntüsünü temsil eden öznelikleri bu görüntülerden çıkarabilir. Ön eğitilmiş derin sinir ağları içinde birden fazla model bulunmaktadır. Bu çalışmada, ön eğitilmiş derin sinir ağı modeli seçilirken izlenen strateji başarıyı en düşük olanı tercih etme doğrultusunda olmuştur [18]. Çünkü bu şekilde çalışmada önerilen metodun başarıyı daha nesnel şekilde ortaya konmuş olmaktadır. Diğer türlü ön eğitilmiş modelin başarıyı sistem başarısına etki edecek ve önerilen metodun üstünlüğü objektif bir şekilde ortaya konamamış olabilecektir.

VGG16 mimarisi ve öznelik çıkarma işlemine ait blok diyagramlar Şekil 2 ile verilmiştir [17].

Derin öğrenme özneliği çıkarımı gerçekleştirirken, önceden eğitilmiş ağı, giriş görüntüsünün ileriye doğru yayılmasına, önceden belirlenmiş katmanda durmasına ve o katmanın çıktılarını öznelikler olarak almasına izin veren rastgele bir öznelik çıkarıcı olarak ele alınır. N görüntüden oluşan bir veri kümesi verildiğinde, veri kümesindeki tüm görüntüler için öznelik çıkarma işlemi tekrarlanabilir ve toplamda $N \times 21.055$ adet öznelik vektörü elde edilebilir [19].

Bu çalışmada her iki sınıf için toplam 628×21.055 adet öznelik VGG16 modeli kullanılarak elde edilmiştir.

Şekil 2. VGG16 mimarisi ve öznelik çıkarma blok şeması
Conv: convolution, FC: Full Connected

2.2.2. Öznelik seçme

Yüksek boyutlu veriler, yüksek hesaplama maliyeti ve bellek kullanımı nedeniyle birçok sınıflandırma algoritması için de ciddi bir sorundur. Ayrıca öznelik uzayındaki bir azalmanın daha anlaşılır bir modele yol açtığını ve sınıflandırma başarıyı üzerinde olumlu katkı yapabileceğinden söz edilebilir [20]. Bu nedenle bir önceki aşamada her bir görüntü için VGG16 modelinden elde edilen 21.055 adet öznelikten Tek Değişkenli Öznelik Seçim Algoritması kullanılarak 20 adedi seçilmiştir [21]. Belirtilen algoritma farklı istatistiksel puanlama işlevlerine dayalı sıralı bir öznelik listesi döndüren bir özellik seçme yöntemidir. Bu yöntem sınırlı örnekler ve çok sayıda öznelik içeren çalışmalarda en iyi sonucu verdiği için seçilmiştir [22]. Bu işlem Anaconda ortamında "sklearn.feature_selection" python modülü kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2.2.3. Veri artırma

Veri artırma, mevcut örnekleri yeni veriler oluşturmak için dönüştürerek sınırlı miktarda veriyi çoğaltan bir tekniktir. Bu teknik, bilgisayar görmesi, ses tanıma ve zaman serileri sınıflandırma uygulamalarında sentetik eğitim verileri oluşturmak için uygulanmıştır [23]. Veri artırma derin öğrenme için önemli performans kazanımları sağlamaktadır. Bu kazanımlar artan sınıflandırma doğruluğu, kararlılık ve azaltılmış ezberleme (overfitting) olarak ifade edilir [24]. Bu çalışmada nümerik veriler üzerinde işlem gören veri artırma algoritması [25] düzenlenerek uygulanmıştır. 628 adet nümerik veriden 1256 artırılmış nümerik veri elde edilmiştir. Algoritmaya ait sözde kod aşağıda belirtilmiştir. Burada Veri_matrisi 628 satır, 20 sütundan oluşan bir nümerik matristir.

```

For i=1 to Veri_sayısı
    Artırma_oran=0,5
    Artırılacak_öznelik_sayısı=yuvarla(Artırma_oran*boyut(veri_matrisi))[1]
    Artırılacak_öznelik_index=rastgele_seç(boyut(Veri_matrisi)[1], Artırılacak_öznelik_sayısı)
    Sırala(Artırılacak_öznelik_index)
    Öznelik_index= Artırılacak_öznelik_index olmayan özellikler için indeksleri bul.
    Artırılmış_veri(i, Öznelik_index)=Veri_matrisi(i, Öznelik_index)
    Rastgele_satır_index= Her özellik için rastgele örneklenmiş değerler için rastgele satır indeksi bul.
    For n,j in (Artırılacak_öznelik_index)

```

```

    Artırılmış_veri(i,j)=Veri_matrisi(Rastgele_satr
_index[n],j)
  End for
End for

```

2.3. Deneysel Sonuçlar

Sınıflandırma işlemi orijinal nümerik veri, uygulanan yöntem ile artırılmış nümerik veri ve sınıflandırma girişine görüntüler doğrudan uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Görüntü veri seti Python ImageDataGenerator modülü kullanılarak artırılmış, 628 adet görüntüden 2512 artırılmış görüntü elde edilmiştir. Görüntü verisinin artırılması derin sinir ağlarında eğitim başarımlarını artırır [26]. Görüntü verisinin artırılarak çalışmada kullanılmasının amacı önerilen yöntemin başarımlarını daha objektif olarak ölçmektir.

Çalışmada iki temel mimaride derin sinir ağı sınıflandırıcı olarak kullanılmıştır. Tablo 1 ile her bir mimari hiper parametre değerleri ile birlikte verilmiştir. Yapay zeka uygulamalarında göreceli olarak küçük veri seti kullanıldığında daha çok çapraz doğrulama (cross-validation) yöntemi tercih edilmektedir. Fakat klinik uygulamalarda bu yaklaşım daha az net sonuç vermektedir [27]. Elde edilecek sonuçların daha net olması açısından bu çalışmada testler eğitim-test ayırma (train-test split) yaklaşımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

CNN, görüntüler ve videolar gibi görsel veri işleme için geliştirilmiş bir derin öğrenme algoritmasıdır. CNN, farklı görevleri yerine getiren farklı katman türlerine sahiptir. Bunlar “convolution layer”, “activation function layer”, “pooling layer”, “fully connected layer” ve “dropout layer” olarak isimlendirilir [28]. Tekrarlayan sinir ağı (Recurrent Neural Networks, RNN) yapılarında sonuç, sadece o andaki giriş değil, diğer girişlere de bağlı olarak çıkarılır. Bu ağlarda girişler şimdiki ve önceki bilgilerin birleştirilmesi ile çıkış üretirler [28].

Tablo 1. Kullanılan derin sinir ağı mimarileri

| Parametre | CNN | RNN |
|-----------------------|----------------------|----------------------|
| Units | 512,256 | - |
| Layers | 1,2 | 1 |
| Activation function | ReLU | ReLU |
| Learning rate | 1e-3 | 1e-3 |
| Loss function | Binary cross entropy | Binary cross entropy |
| Epocs | 250 | 250 |
| Optimizer | SGD | SGD |
| Decay | 1e-5 | 1e-5 |
| Momentum | 0,3 | 0,3 |
| Fully connected units | 2048,1024 | 2048,1024 |
| Fully connected layer | 1,2 | 1,2 |
| RNN units | - | 512 |
| Dropout | - | 0,25 |

Uygulanan yönteme göre derin sinir ağı sınıflandırıcıların başarımlarını doğruluk ölçütü ve alıcı çalışma karakteristik eğrisi (receiver operating characteristic curve, ROC) ile ölçülmüştür. ROC eğrisinin elde edilmesinde “recall” ölçütü kullanılır. Bu

ölçütlerin matematiksel ifadeleri Eşitlik 1 ve Eşitlik 2 ile verilmiştir.

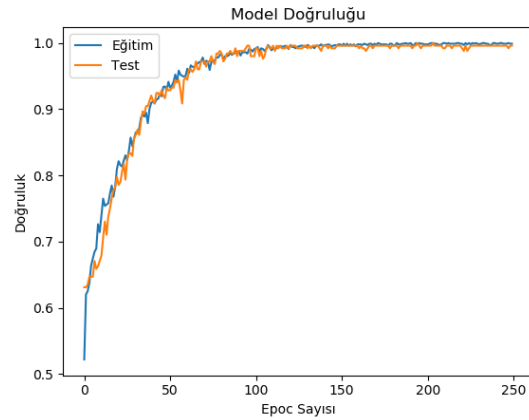
$$\text{Doğruluk} = (TP+TN)/(TP+FN+FP+TN) \quad (1)$$

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

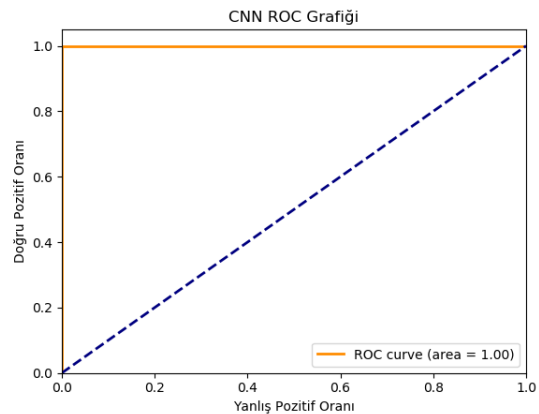
Burada TP (true positive), doğru tespit edilen hasta sayısı, TN (true negative), doğru tespit edilen sağlıklı sayısı, FP (false positive), yanlış tespit edilen hasta sayısı (sağlıklı iken hasta olarak sınıflandırılmış), FN (false negative), yanlış tespit edilen sağlıklı sayısını (hasta iken sağlıklı olarak sınıflandırılmış) ifade etmektedir [29].

Bunlara ek olarak ROC eğrisi (curve) recall ile FP/(TN+FP) oranı arasındaki değişimi verir [30] ve AUC (area under the curve) değerinin hesaplanmasında kullanılır. AUC, hastalığı olan rastgele bir kişinin sağlıklı olan rastgele bir kişiden daha yüksek bir test ölçümüne sahip olma olasılığı olarak yorumlanır [31]. Modelin doğruluğu (accuracy) ölçülerek güvenilirliği ve geçerliliği kanıtlanmış olur [32].

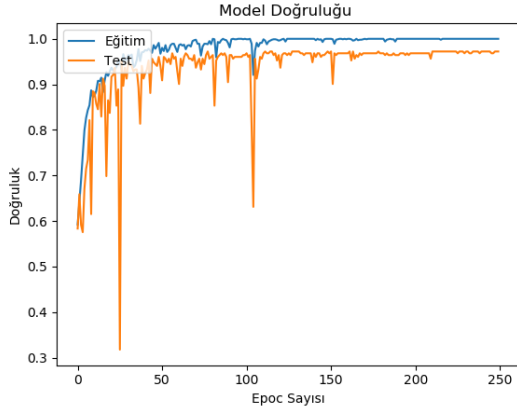
Artırılmış nümerik veri için CNN ve RNN modellerin doğruluk ve ROC grafikleri sırasıyla Şekil 3, Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6 ile verilmiştir.



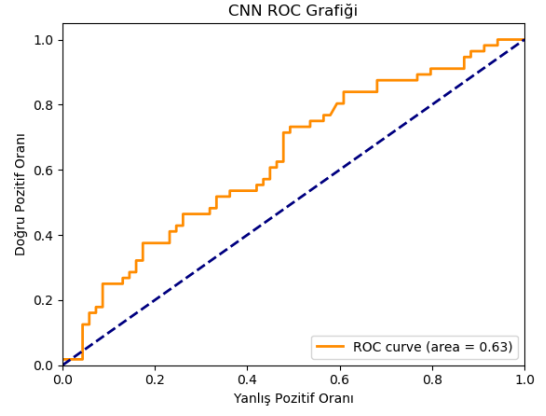
Şekil 3. CNN model doğruluk grafiği



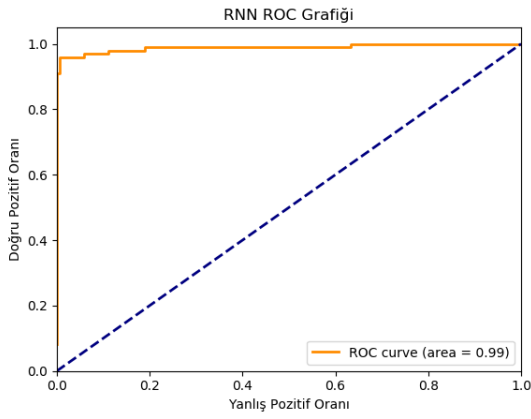
Şekil 4. CNN ROC grafiği



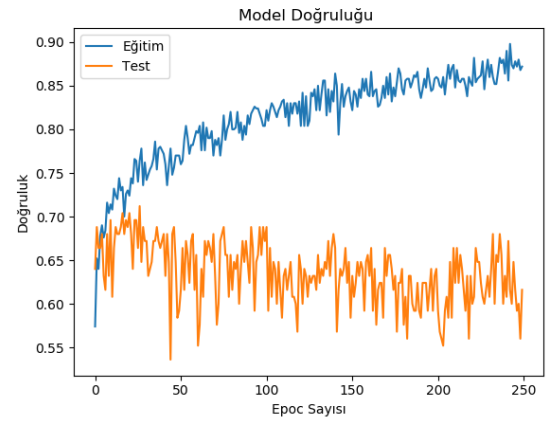
Şekil 5. RNN model doğruluk grafiği



Şekil 8. CNN ROC grafiği

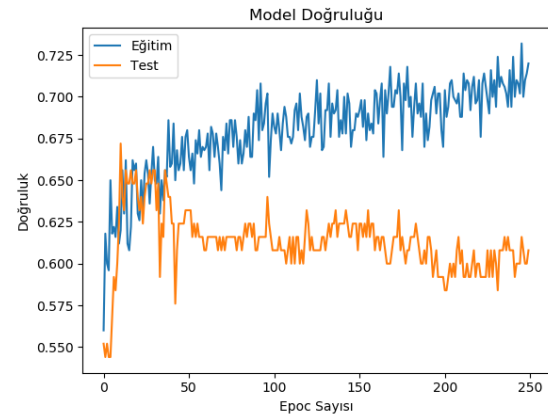


Şekil 6. RNN ROC grafiği

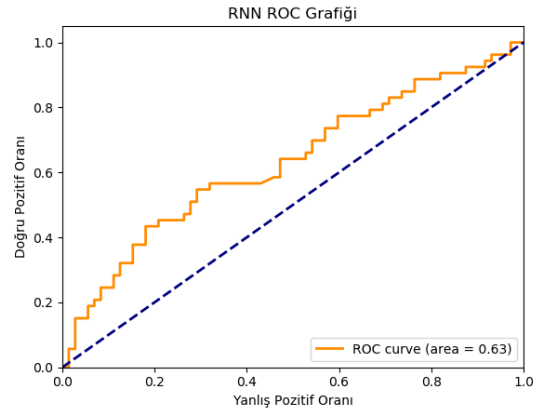


Şekil 9. RNN model doğruluk grafiği

Artırılmamış nümerik veri için CNN ve RNN modellerin doğruluk ve ROC grafikleri sırasıyla Şekil 7, Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10 ile verilmiştir.

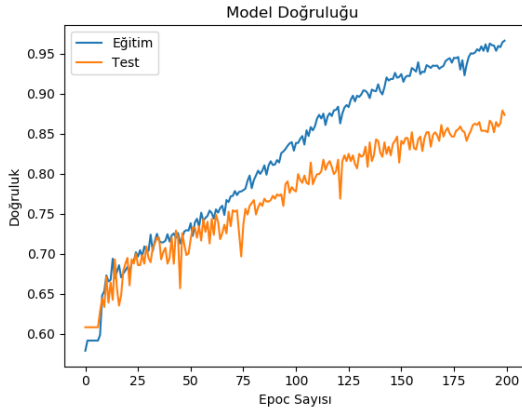


Şekil 7. CNN model doğruluk grafiği

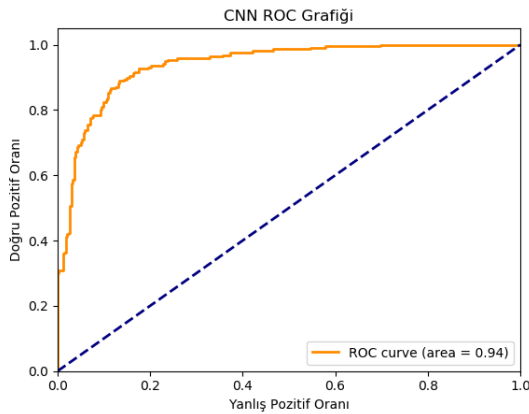


Şekil 10. RNN ROC grafiği

Artırılmış görüntü ile ilgili başarımların grafikleri Şekil 11 ve Şekil 12 ile verilmiştir.



Şekil 11. CNN model doğruluğu



Şekil 12. CNN ROC grafiği

Tablo 2. Derin Sinir Ağ modelleri için başarımların karşılaştırması

| Giriş Verisi | Doğruluk | AUC |
|--------------------------------------|-------------|----------|
| Orijinal Nümerik Veri (CNN) | 0,65 | 0,63 |
| Artırılmış Nümerik Veri (CNN) | 0,96 | 1 |
| Orijinal Nümerik Veri (RNN) | 0,63 | 0,63 |
| Artırılmış Nümerik Veri (RNN) | 0,93 | 0,99 |
| Artırılmış Görüntü Verisi (CNN) | 0,87 | 0,94 |

Literatürde ISIC 2017 veri setine ait cilt lezyonlarının melanoma ve seboreik keratoz olarak sınıflandırmasının yapıldığı farklı çalışmalar ile önerilen yöntemin başarımları karşılaştırılarak sonuçlar Tablo 3 ile verilmiştir.

Tablo 3. Önerilen yöntemin başarımın literatür ile karşılaştırması

| Kaynakça | Sınıflandırıcı | Veri Girişi | Doğruluk % | AUC % |
|------------------------|----------------|----------------|-------------|----------|
| [4] | CNN | Görüntü | 82,8 | 95,8 |
| [7] | VGG | Görüntü | 88,4 | 90,8 |
| [8] | CNN | Görüntü | 88,6 | 91,1 |
| [9] | INCEPTION-V3 | Görüntü | 87,9 | 88,6 |
| [10] | DERMAKNET | Görüntü | 87,5 | 91,0 |
| [12] | SDL | Görüntü | 92,5 | 91,3 |
| Önerilen Yöntem | CNN | Nümerik | 96,0 | 1 |

Bu çalışmada önerilen yöntem ile melanoma ve seboreik keratoz tür lezyon içeren görüntülerden elde edilen nümerik veriler kullanılarak derin CNN tür sınıflandırıcı ile melanoma ve seboreik keratoz sınıflandırmasında %96 doğruluğa ve %100 AUC başarımına ulaşılmıştır.

3. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Yapay zeka kullanılan sınıflandırma çalışmalarında öznelik seçme yöntemi sınıflandırma başarımını artırmaktadır [33] [34]. Bu çalışmada derin sinir ağının girişine sınıflandırma işlemi için medikal görüntüler doğrudan verilmemiş, derin sinir ağının katmanlarından elde edilen öznelikler en iyi performansı sağlayacak şekilde seçilerek sınıflandırıcı katmanına aktarılmıştır. Bu yöntem ile sınıflandırıcı başarımı artırılmıştır.

Ayrıca derin sinir ağı ile yapılan çalışmalarda veri boyutunun sentetik olarak artırılması görüntü verisi içeren çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada ise sınıflandırma başarımının artırılması için veri artırma görüntü verisi üzerinde ve elde edilen nümerik veri üzerinde ayrı ayrı uygulanarak sınıflandırma başarımları araştırılmıştır. Yapılan araştırma sonucuna göre seçilen nümerik veri üzerinde veri artırma yöntemi daha üstün bir sınıflandırma başarımı sağlamıştır.

Bu çalışmada ayrıca iki temel derin sinir ağı sınıflandırma işlemi için ayrı ayrı test edilmiştir. Test sonucunda CNN tür derin sinir ağı RNN tür derin sinir ağına göre daha başarılı bir sınıflandırma yapmıştır.

Bu çalışmada önerilen yöntem ile melanoma ve seboreik keratoz sınıflandırması daha başarılı şekilde yapılmıştır. İki farklı derin sinir ağı mimarisinin de test edildiği bu çalışmada önerilen yöntemi kullanan CNN modeli cilt lezyonlarının tespitinde daha üstün başarımlar sağlamak için kullanılabilir. Bu alanda çalışacak araştırmacılar derin sinir ağı için CNN mimaride bir yapıyı tercih edebilirler.

KAYNAKLAR

- [1] Siegel RL, Miller KD, Jemal A. Cancer statistics, 2019. CA Cancer Journal for Clinicians. 2019;69(1):7-34.
- [2] Jones OT, Jurascheck LC, Van Melle MA, Hickman S, Burrows NP, Hall PN, et al. Dermoscopy for melanoma detection and triage in primary care: A systematic review. BMJ Open. 2019;9.
- [3] Codella NCF, Gutman D, Celebi ME, Helba B, Marchetti MA, Dusza SW, et al. Skin lesion analysis toward melanoma detection: A challenge at the 2017 International symposium on biomedical imaging [ISBI], hosted by the international skin imaging collaboration [ISIC]. In: International Symposium Biomedical Imaging. Washington, D.C 2018-April:p.168-172.
- [4] Matsunaga K, Hamada A, Minagawa A, Koga H. Image Classification of Melanoma, Nevus and Seborrheic Keratosis by Deep Neural Network Ensemble. 2017;2-5. <http://arxiv.org/abs/1703.03108>
- [5] Guo S, Yang Z. Multi-Channel-ResNet: An integration framework towards skin lesion analysis. Informatics in Medicine Unlocked. 2018;12:67-74.

- [6] Chen S, Wang Z, Shi J, Liu B, Yu N. A multi-task framework with feature passing module for skin lesion classification and segmentation. In: 2018 IEEE 15th International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI). Washington, D.C. April 4-7, 2018.p.1126-1129.
- [7] Menegola A, Tavares J, Fornaciali M, Li LT, Avila S, Valle E. RECOD Titans at ISIC Challenge 2017. 2017;1-5. Available from: <http://arxiv.org/abs/1703.04819>
- [8] Yang X, Li H, Wang L, Yeo SY, Su Y, Zeng Z. Skin Lesion Analysis by Multi-Target Deep Neural Networks. In: 2018 40 th Annual International Conference IEEE Eng Med Biol Soc EMBS. Honolulu, HI, USA 2018 July;p.1263-1266.
- [9] DeVries T, Ramachandram D. Skin Lesion Classification Using Deep Multi-scale Convolutional Neural Networks. 2017; <http://arxiv.org/abs/1703.01402>
- [10] González-Díaz I. DermaKNet: Incorporating the Knowledge of Dermatologists to Convolutional Neural Networks for Skin Lesion Diagnosis. IEEE J Biomed Heal Informatics. 2019;23[2]:547-59.
- [11] Tang P, Liang Q, Yan X, Xiang S, Zhang D. GP-CNN-DTEL: Global-Part CNN Model with Data-Transformed Ensemble Learning for Skin Lesion Classification. IEEE J Biomed Heal Informatics. 2020;1-1.
- [12] Zhang J, Xie Y, Wu Q, Xia Y. Medical image classification using synergic deep learning. Medical Image Analysis.2019; 54:10-19
- [13] Yang X, Zeng Z, Yeo SY, Tan C, Tey HL, Su Y. A Novel Multi-task Deep Learning Model for Skin Lesion Segmentation and Classification. <https://arxiv.org/abs/1703.01025> 2017;1-4.
- [14] Yadav SS, Jadhav SM. Deep convolutional neural network based medical image classification for disease diagnosis. Journal of Big Data. 2019;6(113).
- [15] Litjens G, Kooi T, Bejnordi BE, Setio AAA, Ciompi F, Ghafoorian M, et al. A survey on deep learning in medical image analysis. Medical Image Analysis journal. 2017;42 :60-88.
- [16] Abraham B, Nair MS. ScienceDirect Computer-aided detection of COVID-19 from X-ray images using multi-CNN and Bayesnet classifier. Biocybernetics and Biomedical Engineering. 2020;1-10.
- [17] Simonyan K, Zisserman A. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. 3rd International Conference Learn Represent ICLR 2015 - San Diego, CA, 2015;1-14.
- [18] Tian H, Pouyanfar S, Chen J, Chen S C, Iyengar S C. Automatic Convolutional Neural Network Selection for Image Classification Using Genetic Algorithms. IEEE 19th International Conference on Information Reuse and Integration for Data Science. Utah, USA, 2018.
- [19] Chollet F. Deep Learning with Phyton. Manning. 2018.
- [20] Janeczek A, Gansterer WNW, Demel M, Ecker G. On the Relationship Between Feature Selection and Classification Accuracy. Fsdm. 2008;90-105.
- [21] Guda V, Golla M, Datta A. Performance Analysis of Learning Models on Medical Documents. IJIRT 2018;4(12):822-828.
- [22] Subho RH, Chowdhury R, Chaki D, Islam S, Rahman D. A Univariate Feature Selection Approach for Finding Key Factors of Restaurant Business. In: 2019 IEEE Region 10 Symposium(TENSYP). India, Kolkata: 2019;p.605-610.
- [23] Rashid KM, Louis J. Times-series data augmentation and deep learning for construction equipment activity recognition. Advanced Engineering Informatics. 2019;42:100944.
- [24] Lashgari E, Liang D, Maoz U. Data augmentation for deep-learning-based electroencephalography. Journal of Neuroscience Methods journal. 2020;346:108885.
- [25] Basic Data Augmentation & Feature Reduction [Internet]. Available from: <https://www.kaggle.com/bigironsphere/basic-data-augmentation-feature-reduction>
- [26] Wong SC, Gatt A, Stamatescu V, McDonnell MD. Understanding Data Augmentation for Classification: When to Warp? 2016 2016 International Conference on Digital Image Computing: Techniques and Applications (DICTA). Gold Coast, QLD, Australia;2016
- [27] Alakus TB, Turkoglu I. Comparison of deep learning approaches to predict COVID-19 infection. Chaos, Solitons and Fractals. 2020;140:110120.
- [28] Jauro F, Chiroma H, Gital AY, Almutairi M, Abdulhamid SM, Abawayj JH. Deep learning architectures in emerging cloud computing architectures: Recent development, challenges and next research trend. Applied Soft Computing Journal. 2020;96:106582.
- [29] Mumtaz W, Qayyum A. A deep learning framework for automatic diagnosis of unipolar depression. International Journal of Medical Informatics. 2019;132(103983).
- [30] Hajian-Tilaki K. Receiver operating characteristic (ROC) curve analysis for medical diagnostic test evaluation. Caspian Journal of Internal Medicine 2013;4(2):627-35.
- [31] Safari S, Baratloo A, Elfil M, Negida A. Evidence Based Emergency Medicine; Part 5 Receiver Operating Curve and Area under the Curve. Emergency 2016;4(2):111-3.
- [32] Roger P. Evaluating Information: Validity, Reliability, Accuracy, Triangulation. In: Research Methods in Politics;SAGE Press;2011;p.79-99
- [33] Dougherty E, Hua J, Sima C. Performance of Feature Selection Methods. Curr Genomics. 2009;10(6):365-74.
- [34] Dan Lo CT, Ordóñez P, Cepeda C. Feature selection and improving classification performance for malware detection. In: 2016 IEEE International Conference Big Data. Atlanta, GA, USA 2016;p.560-566.



Erzurum Pasinler Bölgesi Perlitinin Geopolimer Üretiminde Kullanımının Araştırılması

Fatih AKBULUT¹, Rıza POLAT^{1*}, Fatma KARAGÖL¹

¹Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye

Fatih AKBULUT ORCID No: 0000-0002-3010-4914

Rıza POLAT ORCID No: 0000-0002-8990-035X

Fatma KARAGÖL ORCID No: 0000-0003-1760-1972

*Sorumlu yazar: rizapolat@atauni.edu.tr

(Alınış: 23.09.2020, Kabul: 05.03.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Anahtar Kelimeler

Geopolimer,
Perlit,
Yüksek sıcaklık,
Asit etkisi,
Sülfat etkisi,
Donma-çözünme

Öz: Küresel ısınma ve iklim değişikliğine sebebiyet veren en önemli sera gazlarından birisi CO₂'dir. Bu gazın salınımının önemli bir miktarı (%6-8), çimento üretiminden kaynaklanmaktadır. Bu sebeple yaklaşık yirmi yıldır araştırmacılar, çimentoya alternatif sürdürülebilir bağlayıcı malzeme olan geopolimer üzerinde yoğun olarak çalışmaktadırlar. Geopolimer üretimi temel olarak, atık yan ürünler (uçucu kül, yüksek fırın cürufu vb.) veya doğal mineral malzemeler (volkanik kül, kil, pomza vb.) gibi bir alümino-silikat kaynağı ve NaOH, Na₂SiO₃ vb. aktivatörlerden oluşmaktadır. Bu çalışmada ise, Erzurum Pasinler bölgesinde önemli miktarda bulunan ve alümino silikat içeren perlit, bağlayıcı olarak kullanılıp geopolimer üretimi araştırılmıştır. Karışımlarda alkali aktivatör olarak yalnızca NaOH kullanılmıştır ve üretilen numunelere yapılan ön deneyler sonucunda 90°C'de 72 saat ısıtma uygulanmıştır. Üretilen numunelerin su emme oranları, birim hacim ağırlıkları ve 3, 7, 28 ve 150 günlük basınç dayanımları tespit edilmiştir. Ayrıca numuneler %5 konsantrasyonlu HCl ve MgSO₄ çözeltilerine, 50 çevrimlik donma-çözünme etkisine ve 300°C, 500°C ve 700°C yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmıştır ve numunelerin mekanik ve fiziksel özellikleri tespit edilmiştir. Sonuç olarak, perlit esaslı geopolimer üretiminde NaOH tek başına kullanılarak maksimum 21,14 MPa basınç dayanımı elde edilmiştir.

Investigation of Using Perlite of Erzurum Pasinler Region in Geopolymer Production

Keywords

Geopolymer,
Perlite,
Elevated temperature,
Acid effect,
Sulfate effect,
Freeze-thaw

Abstract: One of the most important greenhouse gases that cause global warming and climate change is CO₂. A significant amount (6-8%) of this gas emission is due to cement production. For this reason, researchers have been working intensively on geopolymer, which is an alternative sustainable binding material to cement, for nearly two decades. Geopolymer production mainly consists of an alumino-silicate source such as waste by-products (fly ash, blast furnace slag etc.) or natural mineral materials (volcanic ash, clay, pumice, etc.) and activators such as NaOH, Na₂SiO₃, etc. In this study, geopolymer production from perlite containing alumino silicate and found in significant amount in Erzurum Pasinler region was investigated. Only NaOH was used as an alkali activator in the mixtures, and as a result of preliminary experiments, heat curing at 90°C was applied for 72 hours. The water absorption rates, unit volume weights and 3, 7, 28 and 150 days compressive strength of the produced samples were determined. In addition, samples were exposed to 5% concentrated HCl and MgSO₄ solutions, 50 cycles of freeze-thaw effect and high temperatures of 300°C, 500°C and 700°C, and the mechanical and physical properties of the samples were determined. As a result, maximum 21.14 MPa compressive strength was obtained by using NaOH alone in the production of perlite based geopolymer.

1. GİRİŞ

Yapıların inşasında, bağlayıcı malzemeler önem arz etmektedir ve asırlardır yoğun olarak kullanılmaktadır.

Bağlayıcı malzeme olarak genelde çamur, alçı, kireç, puzolan ve kireç-puzolan karışımları kullanılmıştır. Çimento üretiminin başlamasıyla hemen hemen diğer bağlayıcı malzemeler bazı özel uygulamalar dışında kullanılmamaktadır.

Çimento, insan uygarlığının ilerlemesine önemli katkılar sağlamıştır ve sağlamaya da devam etmektedir. Diğer taraftan çimento üretimi, temel olarak kalker ve kilin homojen ve uygun oranlarda karıştırılıp 1400-1600°C'de yakılması sonucu elde edildiğinden yüksek enerji tüketimi gerektirmektedir. Ayrıca, kalkerin kalsinasyonu, büyük miktarlarda sera gazı, özellikle karbondioksit (CO₂) salınımına yol açmaktadır [1]. Çimento üretimindeki enerji tüketimi, toplam endüstriyel enerji tüketiminin %10'undan fazlasını oluşturmaktadır ve bir ton çimento üretiminde yaklaşık 0,9 ton CO₂ açığa çıkmaktadır [2, 3].

Dolayısıyla, son yıllarda küresel ısınma, çevre kirliliği ve iklim değişikliği gibi problemlerden dolayı çimento üretiminin azaltılması ve alternatif bağlayıcı malzemelerin geliştirilmesi ihtiyacı doğmuştur. Bu nedenle araştırmacılar, geleneksel çimento esaslı bağlayıcılar yerine daha sürdürülebilir malzemelere dayalı alternatif bağlayıcı malzemelerden birisi olan geopolimerlere yönelmişlerdir.

Geopolimerler, ilk olarak 1972'de J. Davidovits tarafından önerilen alternatif çimentolu malzemelerdir ve son on yılda dünya çapında araştırmacıların büyük ilgisini çekmiştir [4]. Geopolimerler, alkali veya asidik ortam koşullarında çeşitli alüminosilikat kaynaklarından sentezlenebilen inorganik polimerik malzemelerdir [4-6]. Ayrıca geopolimerler, hızlı sertleşme, yüksek erken dayanım, kimyasal saldırı altında kararlılık, yüksek sıcaklık direnci ve düşük geçirgenlik gibi özel uygulamalar için bazı çekici özelliklere sahiptir [7, 8].

Alüminosilikat esaslı kaynak malzemeler ya doğal olarak meydana gelen kaolin, metakaolin, pirinç kabuğu külü, volkanik kaya tozları veya endüstriyel işlemlerle atık ürün olarak ortaya çıkan uçucu kül, yüksek fırın cürufu vb. SiO₂ ve Al₂O₃ içeren mineral malzemelerdir [1].

Alkalilerle aktive edilen malzemeler olarak da adlandırılan geopolimerlerin hammaddeleri, genellikle diğer endüstriyel işlemlerden (örneğin uçucu kül, yüksek fırın cürufu) kaynaklanan atık ürünler olduğundan; kullanımları inşaat sektöründe hem maliyet (%30'a varan azalma) hem de sera gazı emisyonları (%80'e varan azalma) açısından daha sürdürülebilir uygulamaları teşvik etmektedir [9].

Geopolimerizasyon, SiO₂ ve Al₂O₃ bakımından zengin inorganik malzemelerin yüksek alkali bir ortamda moleküllerin çözünmesi, taşınması, yönlendirilmesi ve polikondenzasyonunu içeren ve 3 boyutlu alüminosilikat ağlarının oluştuğu ekzotermik bir kimyasal işlemdir [10]. Bu haliyle bağlayıcı malzeme olarak kullanılmaktadır. Normal Portland çimentosu ile üretilenlerle kıyaslandığında, geopolimer bağlayıcılar ile üretilen harç ve betonların bazı mekanik ve durabilite özelliklerinin daha üstün olduğu belirtilmiştir. Saavedra et al. [11], uçucu kül ve yüksek fırın cürufu esaslı geopolimerin, geleneksel Normal Portland çimentosu ile üretilen betona kıyasla sülfat saldırısına karşı daha iyi direnç gösterdiğini ve Sagoe-Crentsil et al. [12], geopolimerlerin daha düşük sünme ve kuruma

büzülmesine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Hu et al. [13], geopolimerlerin aderans ve aşınma dirençlerinin çimento esaslı onarım malzemesinden daha iyi olduğunu ve Sakkas et al. [14] ayrıca, geopolimerlerin genellikle seramik benzeri mikro yapıları ve özelliklerinden dolayı yüksek sıcaklıklara maruz kaldıktan sonra iyi termal-fiziksel ve mekanik özelliklere sahip olduğunu ifade etmişlerdir [15]. Geopolimerler ile ilgili son yıllarda yapılan derleme çalışmalarında detaylı bilgi mevcuttur [1, 16-18].

Perlit, mineralojik karakter bakımından %3-10'u kristalleşmiş mineraller olan ve obsidyen parçacıkları içeren asidik karakterli volkanik bir camdır. Kimyasal yapısında silikat ve alüminat değerleri yüksektir. Ülkemizde Maden Teknik Arama (MTA) verilerine göre yüksek tenörlü cevherlerin görünür rezervi 11,5 milyon tondur. Her türdeki cevherin muhtemel ve potansiyel rezervlerinin tamamı 3,5 milyar tonu aşar. Bu bakımdan Türkiye'nin perlit potansiyeli, dünya ülkeleri arasında Amerika ve Rusya'dan sonra üçüncü sırayı alır. MTA enstitüsünün verilerine göre ülkemizdeki perlit rezervleri; Erzurum-Pasinler 30-40, Van-Erciş-Süphan-Nemrut 80, Ankara-Kızılcaham I-II 40, İzmir-Cumaovası 20, İzmir-Foça 10, Balıkesir Çanakkale 20, İzmir-Dikili 5, Manisa-Saruhanlı 10, Konya-Nevşehir-Niğde 700, Eskişehir-Kütahya-Afyon 4,6 milyon ton olarak tayin edilmiştir. Dolayısıyla, yüksek rezervi bulunan perlitin, geopolimer üretiminde değerlendirilmesi ülkemiz için ekonomik ve çevresel kazanımlar sağlayacaktır. Ayrıca perlit belirli coğrafi bölgelerde büyük miktarlarda bulunur, kolayca erişilebilir, bu da düşük maliyet sağlar ve düşük çevresel etkiye sahiptir.

Perlit esaslı geopolimerlere ait yapılan çalışmalarda, Taxiarchou et al. [19] perlit esaslı geopolimerlerde iki aşamalı kürün etkisini incelemiştir. Sonuç olarak çalışmada perlitin 50°C kürde dayanım kazanmadığı, 70°C'de 5 gün ve iki aşamalı kürde dayanım kazandığı ve 90°C'de perlitin hızlı dayanım kazandığı tespit edilmiş olup 72 saat kürün yeterli olduğu belirtilmiştir. Erdoğan [20], perlitin yalnızca NaOH çözeltisiyle oda sıcaklığında yeterli dayanım sağlamadığını ve sodyum silikat ile 30-40 MPa dayanıma ulaştığını belirtmiştir. Isıl kürde 100°C'nin altında ve üstündeki sıcaklıklarda mukavemetin düştüğü ifade edilmiştir.

Kozhukhova et al. [21] tarafından yapılan çalışmada perlitin NaOH, KOH, Na₂SiO₃ ve Na₂CO₃ ile 65°C'de 24 saat kür etkisinde geopolimerizasyonu incelenmiştir. Sonuç olarak en yüksek basınç dayanımı 14,3 MPa olup NaOH kullanılan karışımda tespit edilmiştir. Na₂SiO₃ ve Na₂CO₃ ile üretilen numunelerde basınç dayanımı elde edilmemiştir. Tsaousi et al. [22] tarafından yapılan çalışmada 90°C'de tüm NaOH çözeltilerinde priz sürelerinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Yadollahi ve Varolüneş [23] ve Mohabbi ve Dener [24], perlit esaslı geopolimerlerde polipropilen lif takviyesi ve perlit içeriği arttıkça basınç dayanımının arttığını ifade etmiştir. Güzelküçük ve Demir [25], perlit esaslı geopolimerlerde kür süresi ve kür sıcaklığının etkisini araştırmışlar ve sonuç olarak en iyi dayanımı

veren karışım; 15,5 NaOH molaritesinde, 24 saatlik kür süresi ve 110°C'de elde edilmiş olup bu değer 46,76 MPa olarak belirlenmiştir. Yapılan çalışmalarda; 90°C kür sıcaklığında 48 saatlik kür süresinin ve 110°C kür sıcaklığında ise 24 saatlik kür süresinin numunelerin basınç dayanım gelişimi için gerekli olduğu görülmüştür. Bu çalışmada kullanılan perlitin yaklaşık %65'inin tane boyutu 40 mikronun üstündedir. Ayrıca ısıl kür işleminden hemen sonraki basınç dayanım sonuçları incelenmiştir. Kimyasal bileşim açısından, çalışmamızda kullanılan perlitin Fe, Al, Si ve Ca içeren oksit miktarları farklıdır.

Volkanik esaslı malzemeler, genellikle oldukça düşük reaktiviteye sahiptir ve jeolojik kaynağına bağlı olarak fiziksel özellikler, kimyasal ve mineralojik bileşimler açısından oldukça değişkendir [26]. Bu nedenle, geopolimer üretiminde kür sıcaklığı, alkali tipi, molaritesi vb. araştırılmalıdır.

Bu çalışmanın amacı; ülkemizde mevcut bulunan perlit rezervini geopolimer üretiminde aktif bir şekilde değerlendirmek, doğal malzemelerin kullanılmasıyla Portland çimentosunun üretiminden dolayı meydana gelen CO₂ salınımını ve çimento üretimi esnasında harcanan enerji kaybını azaltmaktır. Bu kapsamda, perlitin NaOH ile aktivasyonu ile üretilen betonların 300°C, 500°C ve 700°C'de yüksek sıcaklık etkisi, -18°C ile +4°C arasında 50 çevrimlik donma-çözünme etkisi, %5 konsantrasyonlu HCl ve %5 konsantrasyonlu MgSO₄ etkisi sonrası bazı fiziko-mekanik özellikleri tespit edilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Çalışmada geopolimer bağlayıcı üretmek amacıyla alüminosilikat kaynağı olarak Erzurum ili Pasinler ilçesi ve civarında çıkarılan perlit, Kale Blok Bims Hafif Yapı Ele. İnş. Malz. İnş. Taah. Maden. Nak. Tur. San. ve Tic. A.Ş. tesislerinden temin edilmiştir. Elde edilen perlit, doğal halde farklı tane boyutlarından oluştuğundan, öncelikle 24 saat boyunca 105°C sıcaklıktaki etüvde kurutulmuş ve daha sonra bilyalı çubuklu değirmende (Şekil 1) ortalama 30 mikron inceliğinde öğütülmüştür. Perlitin özgül ağırlığı 2,4 olarak tespit edilmiştir. Kullanılan perlitin kimyasal bileşimi (XRF analizi) Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Laboratuvar tipi bilyalı - çubuklu değirmen

Tablo 1. Perlitin kimyasal özellikleri

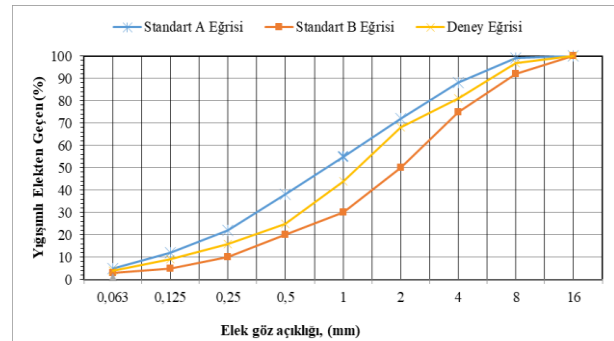
| Birleşim | Oranı (%) |
|--------------------------------|-----------|
| SiO ₂ | 69,1 |
| Fe ₂ O ₃ | 1,58 |
| CaO | 2,53 |
| Na ₂ O | 4,55 |
| Al ₂ O ₃ | 12,13 |
| MgO | 0,25 |
| K ₂ O | 3,78 |
| SO ₃ | 0,05 |
| Cl | 0,048 |
| A. Za (Kızdırma Kaybı) | 4,15 |

Alkali aktivatör olarak, NaOH (98% saflıkta) kullanılmış olup kimyasal özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. Çözelti hazırlamada ve karışım suyu olarak, Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi şebeke suyu kullanılmıştır. Çalışmada kimyasal katkı olarak BASF Türk Kimya San. ve Tic. Ltd. Şti.'den temin edilen lignin sülfonat esaslı süper akışkanlaştırıcı EBA914 kullanılmıştır.

Tablo 2. NaOH'in kimyasal özellikleri

| Fiziksel ve Kimyasal Özellikler | Sodyum Hidroksit |
|-------------------------------------|---------------------|
| Molekül Formülü | NaOH |
| Molekül Kütlesi (gr/mol) | 40,00 |
| Renk | Beyaz, Pul Şeklinde |
| pH | 13-14 |
| Bağıl Yoğunluk (g/cm ³) | 2,13 |

Normal betonda olduğu gibi geopolimer betonunda hacminin büyük bir bölümünü oluşturacak agregalar; dere agregalarından seçilmiştir. Karışımlarda kullanılan maksimum agrega tane çapı 8 mm olarak belirlenmiştir. Dere agregasının tane büyüklüğü dağılımı TS EN 933-1'e göre [27] ve özgül ağırlık ve su emme oranı tayinleri ise TS EN 1097-6'ya göre [28] yapılmış (Tablo 3) ve doygun kuru yüzey haliyle kullanılmıştır. Granülometri eğrisi Şekil 2'de gösterilmiştir [29].



Şekil 2. Geopolimer beton üretiminde kullanılan agregaların granülometri eğrisi

Tablo 3. Agregaların özgül ağırlık ve su emme oranı değerleri

| Özellik | 0-4 mm | 4-8 mm |
|---|--------|--------|
| Kuru özgül ağırlık (gr/cm ³) | 2,66 | 2,58 |
| Doygun kuru yüzey özgül ağırlık (gr/cm ³) | 2,66 | 2,62 |
| Su emme oranı (%) | 0,26 | 1,66 |

2.2. Metot

Geopolimer beton karışımları için perlit miktarı, 500 kg/m³ olarak belirlenmiştir. Yapılan ön denemelerde farklı molariteler (6, 10, 12 ve 14 M NaOH) ve farklı

çözelti/bağlayıcı oranları (0,45, 0,50, 0,55 ve 0,60) araştırılmış ve çözeltinin optimum derişimi 10 M olarak ve çözelti/bağlayıcı oranı ise işlenebilirlik ve basınç dayanım değerlerine göre optimum 0,55 olarak belirlenmiştir. Yeterli işlenebilirliği sağlamak için, ek su ilavesi yerine lignin sülfonat esaslı süper akışkanlaştırıcı (bağlayıcı ağırlığının %1'i) kullanılmıştır. Tablo 4'de karışım hesabı verilmiştir [30].

Tablo 4. 1 m³ beton için karışım miktarları (kg/m³)

| Karışım Kodu | Çözelti/Bağlayıcı Oranı | Perlit | 10 M NaOH | 0-4 mm | 4-8 mm |
|--------------|-------------------------|--------|-----------|--------|--------|
| P100 | 0,55 | 500 | 275 | 1176 | 208 |

Karışımında kullanılacak 10 M NaOH çözeltisi dökümden 24 saat önce hazırlanmıştır. Agrega ve bağlayıcı malzemelerin sıcaklığı ve iklim şartları nihai dayanımı etkilediğinden [31], 25°C'de olmasına özen gösterilmiş ve gerekliyse ön ısıtmaya tabi (25°C) tutulmuştur. Geopolimer beton karışımları, 10 dm³ kapasiteli 3 kademeli 280 dev/dk karıştırma hızına sahip karıştırıcı ile üretilmiştir. Geopolimer üretiminde, ilk olarak 3 dakika süresince agregalar ve bağlayıcı malzeme (perlit) karıştırılmıştır ve daha sonra NaOH çözeltisi ve süper akışkanlaştırıcı birlikte eklenerek 4 dakika daha karıştırılmıştır. Hazırlanan geopolimer beton karışımı yağlanan 50x50x50 mm³ çelik kalıplara 3 aşamada her bir aşamada 25 defa şişlenerek ve sarsma tablasında yerleşmesi sağlanarak yerleştirilmiştir. Durabilite etkileri öncesi ve sonrasındaki basınç dayanımlarının tespiti için toplam 30 adet numune üretilmiştir. Kalıplara düzgün şekilde yerleştirilen karışımlar alüminyum folyo ile kaplanarak fırın poşetine konulmuştur (Şekil 3).



Şekil 3. a- Taze halde numune b- Yalıtımlı numuneler

Ön denemelerde kür sıcaklığı olarak 65, 70, 90 ve 105°C kullanılmış ve perlitin NaOH ile aktivasyonunda basınç dayanımı sonuçlarına göre 90°C optimum olarak belirlenmiştir. Hazırlanan numuneler 90°C'deki hava dolaşımli etüvde 24 saat bekletildikten sonra, numunelerin kalıpları sökülerek 48 saat daha etüvde bırakılmıştır. Toplamda 72 saat sonunda etüvden çıkarılan numuneler 23±1°C sıcaklıktaki laboratuvar ortamında deney zamanlarına kadar kür edilmiştir.

Geopolimer beton numunelerinin basınç dayanımları 3, 7, 28 ve 150 günlük kür sürelerini tamamladıktan sonra 3'er adet numunenin aritmetik ortalaması alınarak tespit edilmiştir. Ayrıca, 28 günlük kür süresi sonunda, üretilen bu numunelerden 3'er adedi 4 hafta boyunca %5 konsantrasyonlu asit (HCl) çözeltisine, 3'er adedi %5

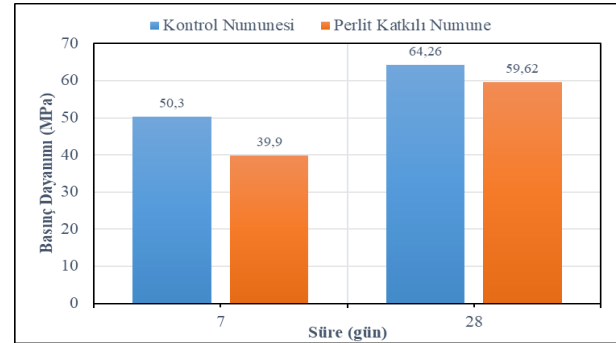
konsantrasyonlu sülfat (MgSO₄) çözeltisine, 3'er adedi yüksek sıcaklık fırınında 300°C (3 adet), 500°C (3 adet) ve 700°C'lerde (3 adet) 2 saat süreyle yüksek sıcaklığa ve 3'er adedi ise 50 çevrim olmak üzere donma-çözünme çevrimlerine maruz bırakılıp ağırlık ve basınç dayanımı değişimleri tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, referans numunelerinin sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Geopolimer beton numunelerinin basınç dayanımları TS EN 12390-3'e [32], ağırlıkça su emme oranları ASTM C-642'ye [33], donma-çözünme testi ASTM C666/C666M [34] standardı Prosedür A'ya, %5 HCl ve %5 MgSO₄ çözeltilerinde 4 hafta için bekletme ASTM C267'ye [35] göre ve ayrıca perlitin puzolanik aktivite deneyi ASTM C311'e [36] göre yapılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Puzolanik Aktivite

Çalışmada kullanılan perlitin puzolanik aktivite deneyi yapılmış olup 7 günlük ve 28 günlük basınç dayanımı sonuçları Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Puzolanik aktivite deney sonuçları

ASTM C618'standardına [37] göre puzolanik aktivite değeri Eşitlik 1'e göre hesaplanmaktadır.

$$\text{Puzolanik aktivite} = (A/B) \times 100 \quad (1)$$

A: çimento/puzolan karışımı numunelerin ortalama basınç dayanımı (kgf/cm²)

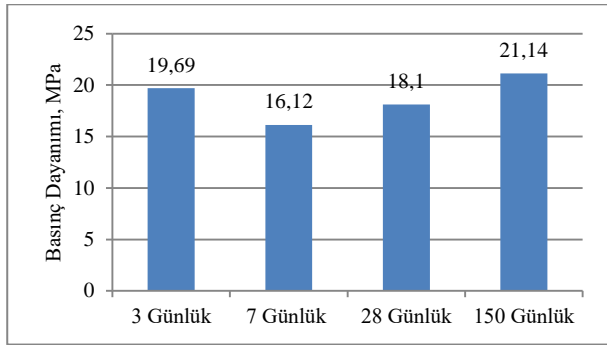
B: referans numunesi ortalama basınç dayanımı (kgf/cm²)

Perlitin 28 gün sonraki puzolanik aktivite indeksi 7 günlük %79 ve 28 günlük %92,77 olarak bulunmuştur. İlgili standartta puzolanik aktivite için dayanım indeksi ölçüt olarak değerlendirilmiştir. ASTM C618'e göre ise doğal puzolan, silis dumani ve uçucu külün puzolanik aktivite indeksleri kontrol numunesine kıyasla sırasıyla %75, %110 ve %75 olmalıdır. Bu sonuca göre perlitin puzolanik aktivite indeksinin yeterli olduğu tespit edilmiştir.

3.2. Basınç Dayanımı

Çalışma kapsamında üretilen geopolimer beton numuneleri, 72 saatlik ısı kür işleminden sonra laboratuvar ortamında deney zamanlarına kadar kür edilmiştir ve 3, 7, 28 ve 150 günlük kür sürelerini

tamamlandıktan sonra basınç dayanımları tespit edilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Perlit esaslı geopolimer betonların basınç dayanımları

Alkali aktivatör olarak yalnızca NaOH kullanılarak üretilen perlit esaslı geopolimer betonlarda ortalama 150 gün için 21,14 MPa basınç dayanımı elde edilmiştir. Fakat poşetli ıslı kürden sonra 7. güne kadar dayanım azalması görülürken, 7 günden sonra 28 ve 150 güne kadar dayanım artışı meydana gelmiştir. Dolayısıyla yalnızca NaOH içeren alkali aktivatörlerle üretilen geopolimer karışımların ıslı kürle kazanılan basınç dayanımlarında, kür işleminden hemen sonraki laboratuvar ortamında düşüş meydana geldiğinden bu durum dayanım sınıfı hakkında net bir ifade için ileri yaş dayanımlarının tespitinin gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Şekil 5'te görüldüğü gibi erken yaşlarda dayanım kazanma hızı daha yüksek olup, numunelerin 150 günlük dayanımlarının en az %93'ünü ilk 3 günde kazandıkları görülmektedir. Benzer şekilde Haddad ve Alshbuol [38] tarafından doğal puzolan kullanılarak üretilen geopolimer betonların fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelendiği çalışmada; numunelerin 3 günlük kür süresinde ulaşacağı erken dayanımın, nihai dayanımlarının % 70'ini aştığı belirtilmiştir.

Perlit esaslı geopolimer üretimi ile ilgili çalışmalardan, Kozhukhova et al. [21] tarafından NaOH, KOH, Na₂SiO₃ ve Na₂CO₃ gibi farklı aktivatörler ile 65°C'de 24 saat kür etkisindeki perlitin en yüksek basınç dayanımının 14,3 MPa olarak NaOH kullanılan karışımda elde edildiği görülmüştür. Diğer taraftan Güzelküçük ve Demir [25], perlit esaslı geopolimerlerde kür süresi ve kür sıcaklığının etkisini araştırmışlar ve sonuç olarak en iyi dayanımı veren karışım; 15,5 NaOH molaritesinde, 24 saatlik kür süresi ve 110°C'de elde edilmiş olup bu değer 46,76 MPa olarak belirlenmiştir. Fakat bu çalışmada yalnızca ıslı kürünün hemen sonrası dayanım özellikleri mevcut olup ileri yaş dayanımları bulunmamaktadır.

3.3. Su Emme Oranları ve Birim Hacim Ağırlığı

Geopolimer beton numunelerinde yapılan su emme deneyi ve birim hacim ağırlık deneyi sonuçları Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. Geopolimer betonların su emme oranları ve birim hacim ağırlığı

| Karışım Kodu | Su Emme Oranı (%) | Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³) |
|--------------|-------------------|---|
| P100 | 8,44 | 2,15 |

Portland çimentosu ile üretilen C20/25 - C30/37 sınıflarındaki normal betonların taze haldeki birim hacim ağırlıkları ortalama 2,40 - 2,50 gr/cm³ civarındadır. Perlit esaslı geopolimerin birim hacim ağırlık değeri ise 2,15 gr/cm³ olarak tespit edilmiş olup, Portland çimentosu betonlara göre daha düşük olduğu görülmektedir. Perlit içeren geopolimerlerin, su emme oranları %8,44 olarak tespit edilmiştir. Şinik [39] uçucu kül kullanarak yaptığı çalışmada, su emme oranlarını %9,2 - %8,1 aralığında bulmuştur. Bingöl [40] yüksek fırın cürufu kullanarak ürettiği numunelerin su emme oranlarının %7,11 - %11,08 aralığında olduğunu ifade etmiştir. Bu çalışmada üretilen geopolimer numunelerin su emme değerleri literatürle ve cüruf ve uçucu külle üretilen geopolimerlerin su emme değerleriyle örtüşmektedir.

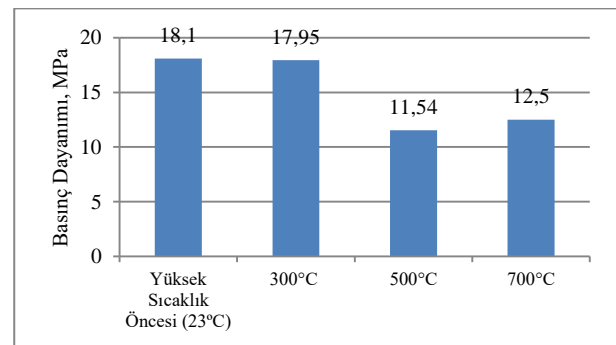
3.4. Yüksek Sıcaklık Etkisi

28 günlük geopolimer beton numunelerinin 300°C, 500°C ve 700°C sıcaklığa maruz kaldıktan sonraki ağırlık değişimi sonuçları % olarak Tablo 6'da ve basınç dayanımı sonuçları ise Şekil 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Yüksek sıcaklık sonrası ağırlık değişimi

| Karışım Kodu | Ağırlık Değişimi (%) | | |
|--------------|----------------------|-------|-------|
| | 300°C | 500°C | 700°C |
| P100 | 4,15 | 6,43 | 7,77 |

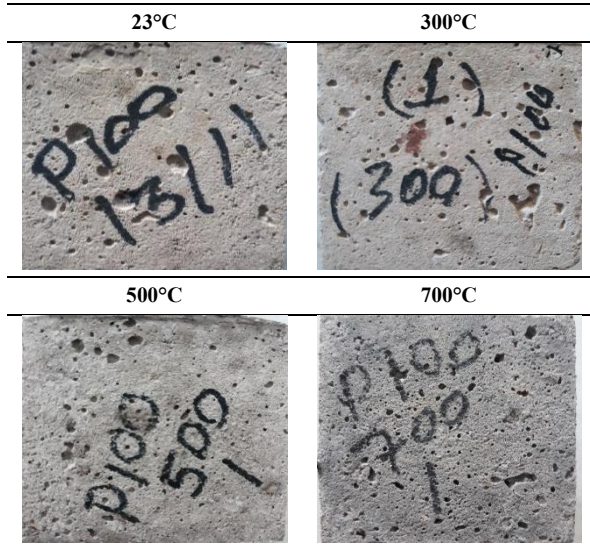
Yapılan deney sonucunda tüm karışım gruplarında sıcaklık artışıyla beraber ağırlık kaybı görülmüştür. Numunelerin bünyesindeki suyun sıcaklıkla birlikte kaybolması bu durumu normal hale getirmektedir.



Şekil 6. Yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımları

Sonuçlar incelendiğinde, 300°C, 500°C ve 700°C sıcaklığa maruz kaldıktan sonraki basınç dayanımındaki azalma miktarları sırasıyla %0,86, %36,27 ve %30,94 olarak tespit edilmiştir. %100 perlit ile üretilen numuneler, dayanım açısından 300°C'de hemen hemen hiç etkilenmemiştir. Geleneksel Portland çimentosu betonunda %70-%80 arasında dayanım kaybı olmaktadır. %100 perlitli geopolimer betonunda ise %30 dayanım kaybıyla yüksek sıcaklık direncinin yüksek olduğu görülmektedir. Literatür incelendiğinde 500°C ve 700°C'de ise normal Portland çimentosu beton ile karşılaştırıldığında çok iyi performans göstermiştir. Zhang et al. [41], 700°C'de geopolimer betonların normal betonlar gibi parçalanmadığını, ayrıca geopolimer betonların 500°C'de içyapılarının önemli oranda değiştiğini ve sinterleşmenin olduğunu ifade

etmiştir. Barbosa ve MacKenzie [42], aktivatör olarak NaOH ve Na_2SiO_3 ile yapılan karışımlarda, 100-200°C'de geopolimer bünyesindeki suyun %15'ini kaybettiğini ve buna bağlı olarak hacimde büzülme meydana geldiğini ve numunelerin 1000-1300°C sıcaklıklarda eriyene kadar yapısal stabiliteğini koruduklarını ifade etmişlerdir. Martin et al. [43] alkalilerle aktive edilmiş uçucu kül esaslı çimentoları normal Portland çimentoları ile karşılaştırmıştır. Uçucu kül içeren numuneler 600°C'de dayanım artışı gösterirken, normal Portland çimentolu numuneler dayanım kaybetmiştir. Şekil 7'de görüldüğü üzere sıcaklık arttıkça boşluk miktarında çok az artış olmuş ve hafif renk değişimi gözlenmiştir.



Şekil 7. Yüksek sıcaklık sonrasında numunelerin renk değişimi

3.5. Donma-çözünme

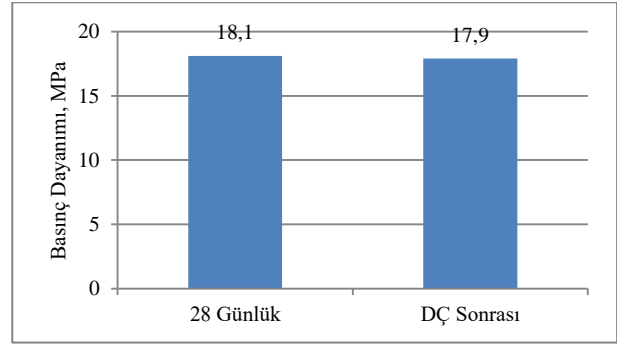
Donma-çözünme çevrimleri, ASTM C666/C666M standardı Prosedür A'ya göre suda donma-suda çözünme şeklinde ve -18 ile +4°C arasında 4 saatlik sürede tamamlanmıştır. 72 saatlik ısı kurden sonra etüvden çıkarılan numuneler laboratuvar ortamında toplamda 28 gün olacak şekilde deney gününe kadar bekletilmiş ve daha sonra 50 donma-çözünme çevrimi uygulanmıştır.

Ağırlık kaybının perlit esaslı geopolimer numunelerde, %3,31 olduğu görülmektedir. Zhu et al. [44], uçucu kül kullanarak geopolimer ürettikleri çalışmada, 25 donma-çözünme çevriminden sonra numunelerin ağırlık kaybının %0,69-%1,42 aralığında olduğunu, 50 donma-çözünme çevriminden sonra bu oranın %2,17-%24,60 seviyelerine kadar arttığını tespit etmişlerdir.

Donma çözünmeye maruz kalan numunelerin basınç dayanımı sonuçları Şekil 8'de gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde geopolimer numuneler 50 çevrimde donma-çözünme etkisinden %1,10 oranında, dolayısıyla, hemen hemen hiç etkilenmemişlerdir.

Slavik et al. [45] yaptıkları çalışmada numuneleri 50 donma-çözünme çevrimine maruz bırakmışlardır. Deney sonunda numunelerdeki basınç dayanım kaybının %20'den fazla olmadığını tespit etmişlerdir. Ekinci et al.

[46] yaptıkları çalışmada ürettikleri numuneleri 300 donma-çözünme çevrimine maruz bırakmışlardır. Sonuç olarak numunelerdeki basınç dayanım kayıpları yalnızca NaOH kullanılan karışımlarda %20-27 oranlarında elde edilmiştir.



Şekil 8. Donma-çözünme etkisine maruz kalan numunelerin basınç dayanımları (Öncesi ve Sonrası)

Şekil 9'da görüldüğü üzere donma-çözünme sonrası boşluk miktarı artmakta ve renk değişimleri meydana gelmektedir.



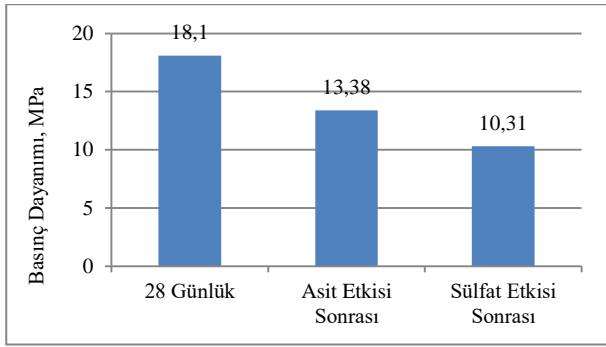
Şekil 9. Numunelerin donma çözünme etkisindeki görsel değişimi

3.6. HCl ve MgSO_4 etkisi

28 günlük kür sürelerini tamamladıktan ve %5 konsantrasyonundaki HCl ve MgSO_4 çözeltilerinde 4 hafta boyunca bekletildikten sonra numunelerde sırasıyla %6,91 ve 2,29 oranında ağırlık kaybı meydana gelmiştir.

HCl ve MgSO_4 etkisi sonrası basınç dayanımları değişimleri ise Şekil 10'da verilmiştir. HCl ve MgSO_4 etkisi sonrası basınç dayanımı kayıpları sırasıyla %26,08 ve %43,04 oranlarında elde edilmiştir.

Geopolimer numunelerde asit etkisiyle meydana gelen dayanım kaybı alüminosilikat yapının asit etkisi sonrası kırılması sonucu oluşmaktadır. Asit ortamında geopolimer bağlayıcıların bozulması Si-O-Al bağlarının kırılması ile Si-OH ve Al-OH bağlarının sayısının artması ve geopolimer matrisindeki silisik asit miktarının artması sonucu meydana gelmektedir [47].



Sekil 10. HCl ve MgSO₄ etkisi sonrası basınç dayanımları

Ganeshan ve Venkataraman [48] yaptıkları çalışmada, lif takviyeli uçucu kül geopolimer betonunun % 3 sodyum sülfat çözeltisine daldırıldıktan sonra, geleneksel betondan daha üstün dayanıklılık özelliklerine sahip olduğu sonucuna varmışlardır. Benzer şekilde Sata et al. [49] yaptıkları çalışmada linyit taban külü geopolimer harcının %5 sodyum sülfat direncini araştırmış ve taban külü geopolimer harçlarının geleneksel Portland çimento harçlarına göre sülfat saldırısına daha az duyarlı olduğunu bulmuşlardır.

Wallah ve Rangan [31], geopolimerlerin uzunluk değişimlerini incelemişler ve son derece küçük değişiklikler sergilediğinden ve ayrıca sülfat çözeltisine bir yıl maruz kaldıktan sonra kütlede çok az artış gösterdiğinden, mükemmel dayanıklılık özelliklerine sahip olduklarını bildirmişlerdir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada Erzurum Pasinler yöresinden temin edilen perlitten, alkali aktivatör olarak yalnızca NaOH üretilen geopolimerlerin kullanılabilirliği araştırılmıştır. Aşağıdaki genel sonuçlar elde edilmiştir:

- Perlit esaslı geopolimer üretiminde, yalnızca NaOH ile elde edilen optimum kür koşulları 90°C ve 72 saat ısı kürüdür.
- Isıl kür uygulanan numunelerin basınç dayanımları, kürden sonra azalmaktadır. Diğer bir ifadeyle poşetli ısıl kürden sonra 7. güne kadar dayanım azalması meydana gelmiştir. Fakat 7 günden sonra 28 -150 güne kadar dayanım artışı meydana gelmiştir.
- Numuneler, dayanım açısından 300°C'de hemen hemen hiç etkilenmemiştir. 500°C ve 700°C'de ise normal Portland çimentolu betona göre çok iyi performans göstermiştir.
- Donma çözünme çevriminde, geopolimer betonun basınç dayanım kaybı %1,10 olup, normal betona göre daha iyi performans göstermiştir.
- 4 hafta boyunca %5 derişimde HCl ve MgSO₄ çözeltilerinde bekletilen numunelerde sırasıyla %26,08 ve %43,04 oranında dayanım kaybı gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Nawaz M, Heitor A, Sivakumar M. Geopolymers in construction - recent developments. *Construction and Building Materials*. 2020;260.
- [2] Duxson P, Fernández-Jiménez A, Provis JL, Lukey GC, Palomo A, Van Deventer JSJ. Geopolymer technology: The current state of the art. *J Mater Sci*. 2007;42:2917-33.
- [3] Stafford FN, Raupp-Pereira F, Labrincha JA, Hotza D. Life cycle assessment of the production of cement: A Brazilian case study. *J Clean Prod*. 2016;137:1293-9.
- [4] Davidovits J. Geopolymers - Inorganic Polymeric New Materials. *J Therm Anal*. 1991;37:1633-56.
- [5] Wang YS, Dai JG, Ding Z, Xu WT. Phosphate-based geopolymer: Formation mechanism and thermal stability. *Mater Lett*. 2017;190:209-12.
- [6] Tchadjie LN, Ekolu SO. Enhancing the reactivity of aluminosilicate materials toward geopolymer synthesis. *J Mater Sci*. 2018;53:4709-33.
- [7] van Deventer JSJ, Provis JL, Duxson P. Technical and commercial progress in the adoption of geopolymer cement. *Miner Eng*. 2012;29:89-104.
- [8] Provis JL, Bernal SA. Geopolymers and Related Alkali-Activated Materials. *Annu Rev Mater Res*. 2014;44:299-327.
- [9] Zhang M, Guo H, El-Korchi T, Zhang GP, Tao MJ. Experimental feasibility study of geopolymer as the next-generation soil stabilizer. *Construction and Building Materials*. 2013;47:1468-78.
- [10] De Silva P, Sagoe-Crenstil K, Sirivivatnanon V. Kinetics of geopolymerization: Role of Al₂O₃ and SiO₂. *Cement Concrete Res*. 2007;37:512-8.
- [11] Saavedra WGV, Angulo DE, de Gutierrez RM. Fly Ash Slag Geopolymer Concrete: Resistance to Sodium and Magnesium Sulfate Attack. *J Mater Civil Eng*. 2016;28.
- [12] Sagoe-Crenstil K, Brown T, Taylor A. Drying shrinkage and creep performance of geopolymer concrete. *Journal of Sustainable Cement-Based Materials*. 2013;2:35-42.
- [13] Hu SG, Wang HX, Zhang GZ, Ding QJ. Bonding and abrasion resistance of geopolymeric repair material made with steel slag. *Cement Concrete Comp*. 2008;30:239-44.
- [14] Sakkas K, Sofianos A, Nomikos P, Pnias D. Behaviour of Passive Fire Protection K-Geopolymer under Successive Severe Fire Incidents. *Materials*. 2015;8:6096-104.
- [15] Jiang X, Xiao R, Ma Y, Zhang M, Bai Y, Huang B. Influence of waste glass powder on the physico-mechanical properties and microstructures of fly ash-based geopolymer paste after exposure to high temperatures. *Construction and Building Materials*. 2020;262.
- [16] Zhang P, Wang KX, Li QF, Wang J, Ling YF. Fabrication and engineering properties of concretes based on geopolymers/alkali-activated binders - A review. *J Clean Prod*. 2020;258.
- [17] Jindal BB. Investigations on the properties of geopolymer mortar and concrete with mineral

- admixtures: A review. *Construction and Building Materials*. 2019;227.
- [18] Farhan KZ, Johari MAM, Demirboğa R. Assessment of important parameters involved in the synthesis of geopolymer composites: A review. *Construction and Building Materials*. 2020;264.
- [19] Taxiarchou M, Panias D, Panagiotopoulou C, Karalis A, Dedeloudis C. "Study on the Suitability of Volcanic Amorphous Aluminosilicate Rocks (Perlite) for the Synthesis of Geopolymer-Based Concrete," in *Geopolymer Binder Systems*, ed. L. Struble and J. Hicks. (West Conshohocken, PA: ASTM International). 2013:34-53.
- [20] Erdogan ST. Properties of Ground Perlite Geopolymer Mortars. *J Mater Civil Eng*. 2015;27.
- [21] Kozhukhova NI, Zhernovsky IV, Strokova VV. Evaluation of geopolymer binders biopositivity based on low-calcium fly ash. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2015;10:35527-9.
- [22] Tsaousi GM, Douni I, Panias D. Experimental Evaluation of Efficient Si Dissolution from Perlite at Low Level Activator's Concentration. *Minerals-Basel*. 2018;8.
- [23] Yadollahi MM, Varolgüneş S. Polipropilen Liflerin Perlit Esaslı Geopolimerlerin Mekanik Davranışına Etkisi. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*. 2018;7:36-41.
- [24] Yadollahi MM, Dener M. Investigation of elevated temperature on compressive strength and microstructure of alkali activated slag based cements. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*. 2019.
- [25] Güzelküçük S, Demir İ. Perlit Esaslı Geopolimer Kompozitlere Kür Süresi ve Sıcaklığın Etkisi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*. 2019;11:730-7.
- [26] Ndjock BIDL, Elimbi A, Cyr M. Rational utilization of volcanic ashes based on factors affecting their alkaline activation. *J Non-Cryst Solids*. 2017;463:31-9.
- [27] TSE. TS EN 933-1: Agregaların geometrik özellikleri için deneyler bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımı tayini- Eleme metodu. *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye*. 2012.
- [28] TSE. TS EN 1097-6: Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm 6: Tane yoğunluğuve su emme oranının tayini. *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye*. 2013.
- [29] TSE. TS 802: Beton karışım tasarımı hesap esasları, *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye*. 2016.
- [30] Akbulut, F., 2020, Kırmızı Çamur ve Yüksek Fırın Çürufunun Perlit Esaslı Geopolimer Beton Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- [31] Wallah SE, Rangan BV. Low Calcium Fly Ash Based Geopolymer Concrete: Long Term Properties. . Research Report GC2, Faculty of Engineering, Curtin University of Technology. 2006.
- [32] TSE. TS EN 12390-3: Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini, *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye*. 2010.
- [33] ASTM C642. Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013, www.astm.org. 2013.
- [34] ASTM C666 / C666M. Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015, www.astm.org. 2015.
- [35] ASTM C267-01. Standard Test Methods for Chemical Resistance of Mortars, Grouts, and Monolithic Surfacing and Polymer Concretes, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012, www.astm.org. 2012.
- [36] ASTM C311 / C311M. Standard Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use in Portland-Cement Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018, www.astm.org. 2018.
- [37] ASTM C618. Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019, www.astm.org. 2019.
- [38] Haddad RH, Alshbuol O. Production of geopolymer concrete using natural pozzolan: A parametric study. *Constr Build Mater*. 2016;114:699-707.
- [39] Şinik O. Geopolimer betonlarda dayanıklılık özelliklerinin araştırılması / The investigation of durability properties on geopolymer concretes: Afyon Kocatepe Üniversitesi; 2019.
- [40] Bingöl Ş. Alkali İle Aktive Edilmiş Yüksek Fırın Çürufu Geopolimer Harçların Mekanik Ve Durabilite Özelliklerinin Araştırılması: Erciyes Üniversitesi; 2018.
- [41] Zhang T, Zhang Y, Xiao ZQ, Yang ZL, Zhu HH, Ju JW, et al. Development of a novel bio-inspired cement-based composite material to improve the fire resistance of engineering structures. *Constr Build Mater*. 2019;225:99-111.
- [42] Barbosa VFF, MacKenzie KJD. Thermal behaviour of inorganic geopolymers and composites derived from sodium polysialate. *Mater Res Bull*. 2003;38:319-31.
- [43] Martin A, Pastor JY, Palomo A, Jimenez AF. Mechanical behaviour at high temperature of alkali-activated aluminosilicates (geopolymers). *Constr Build Mater*. 2015;93:1188-96.
- [44] Zhu HJ, Liang GW, Xu J, Wu QS, Du JZ. Surface-modification of fly ash and its effect on strength and freezing resistance of slag based geopolymer. *Constr Build Mater*. 2019;199:574-80.
- [45] Slavik R, Bednarik V, Vondruska M, Nemeč A. Preparation of geopolymer from fluidized bed combustion bottom ash. *J Mater Process Tech*. 2008;200:265-70.
- [46] Ekinçi E, Turkmen I, Kantarci F, Karakoc MB. The improvement of mechanical, physical and durability characteristics of volcanic tuff based geopolymer concrete by using nano silica, micro silica and Styrene-Butadiene Latex additives at

- different ratios. *Constr Build Mater.* 2019;201:257-67.
- [47] Djobo JNY, Elimbi A, Tchakoute HK, Kumar S. Mechanical properties and durability of volcanic ash based geopolymer mortars. *Constr Build Mater.* 2016;124:606-14.
- [48] Ganeshan M, Venkataraman S. Durability and microstructural studies on fly ash blended self-compacting geopolymer concrete. *Eur J Environ Civ En.* 2019.
- [49] Sate V, Sathonsaowaphak A, Chindapasirt P. Resistance of lignite bottom ash geopolymer mortar to sulfate and sulfuric acid attack. *Cement Concrete Comp.* 2012;34:700-8.



Türk Doğa ve Fen Dergisi Turkish Journal of Nature and Science

www.dergipark.gov.tr/tdfd



Lor Peynirlerinde Fekal Kaynaklı *Esherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* Aranması ve Antibiyotik Direnç Profillerinin Belirlenmesi

Hüseyin TANIŞ^{1*}, Burcu AYTAÇ¹, Erdal ERTAŞ², Ashabil AYGAN¹

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, K.Maraş, Türkiye

² Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Moleküler biyoloji ve Genetik Bölümü, Kilis, Türkiye

Hüseyin TANIŞ ORCID No: 0000-0002-2012-7864

Burcu AYTAÇ ORCID No: 0000-0002-4823-0169

Erdal ERTAŞ ORCID No: 0000-0002-4043-5960

Ashabil AYGAN ORCID No: 0000-0003-4936-9872

*Sorumlu yazar: huseyintanis23@hotmail.com

(Alınış: 30.09.2020, Kabul: 01.05.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Anahtar Kelimeler
Lor peyniri,
Antibiyotik Direnç,
E.coli,
K.pneumoniae

Öz: Bu çalışmada Kahramanmaraş'ta satışa sunulan 30 adet lor peyniri örneği mikrobiyolojik olarak incelenmiş, 30 örneğin 29'unda *Esherichia coli* ve *Klebsiella pneumoniae*'nin üremesi görülmüştür ve antibiyotik dirençlilikleri belirlenmiştir. Çalışmada 74 adet *E.coli* suşu tanımlanırken 17 adet *K. pneumoniae* suşu saptanmıştır. İzole edilen *E.coli* suşlarında, en yüksek oranda cefuroxime (%88), en düşük oranda ise sefepime (%1) olarak tespit edilmiş ancak levoflaksasine karşı direnç tespit edilmemiştir. İzole edilen *K. pneumoniae* suşlarında ise en yüksek oranda direnç %70' olarak tetraksikline karşı, en düşük ise seftriaksona karşı %23 olarak tespit edilmiştir. Bu bulgular üretimden tüketiciye ulaşıncaya kadar lor peynirlerinin kontaminasyona uğradığını göstermiş ve örneklerden tespit edilen *E. coli* ve *K. pneumoniae* suşlarının antibiyotik dirençliliklerinde artış olduğunu ortaya koymuştur. Bu sonuçlar peynir üretimi, saklanması, antibiyotik kullanımının kontrollü olmasının ve satış koşullarının daha iyi şartlarda olması gerektiğini ortaya koymuştur.

46

Investigation of Faecal Originated *Esherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* in Curd Cheese and Their Antibiotics Resistance Profile

Keywords
Curd cheese,
Antibiotic resistance,
E.coli,
K.pneumoniae

Abstract: In this study, microbiological qualities of 30 samples of curd cheese, at retail on various conditions in Kahramanmaraş market, were investigated and the presence of *Escherichia coli* and *Klebsiella pneumoniae* contamination was observed in 29 of the 30 curd cheese samples and the antibiotic resistance of these microorganisms was determined. During the study, 74 *E. coli* strains and 17 *K. pneumoniae* strains were detected. Among the isolated *E.coli* strains, the highest resistance (88%) was against cefuroxime while the lowest resistance (1%) was against cefepime and no resistance was detected against levofloxacin. On the other hand, the highest resistance (70%) was against tetracycline and the lowest resistance (23%) was against the ceftriaxone among the 17 *K. pneumoniae* strains. These findings showed that the curd cheeses were contaminated from production to consumer and *E. coli* and *K. pneumoniae* strains identified in the samples have considerably increased antibiotic resistance. The study revealed that cheese production, storage, antibiotic use should be controlled and sales conditions should be in better conditions.

1. GİRİŞ

Tüm dünyada tüketilen ve çok sayıda çeşidi bulunan peynirin halk sağlığı açısından mikrobiyolojik kalitesi önemlidir. Sütün sağılması, taşınması ve peynir yapımı aşamalarında hijyen kurallarına yeterince dikkat edilmediğinde patojen ve patojen olmayan birçok

mikroorganizmalar tarafından kontaminasyona açıktır. Kaynatılmayan süttten yapılan peynirde bulunan mikroorganizmalar peynirin yapısında değişime neden olacağı gibi tüketilmesi sonucunda da gıda zehirlenmelerine ve patojenlerin kontaminasyonu sonucu bazı hastalıklara yol açabilmektedir. Salamura peynirlerde yüksek tuz konsantrasyonu ile saprofit ve patojen mikroorganizmaların üremesi engellenmiş olur.

Fakat lor peynirinde böyle bir durum olmadığı için kısa süre içerisinde tüketilmediği zaman mikroorganizmaların hızla çoğalabileceği bir ortam oluşmaktadır [1].

Süt ürünlerinden biri olan lor peyniri üretimi hızlı ve maliyeti ucuz olduğundan tüketicinin fazla tercih ettiği bir peynir türüdür. Lor peyniri faydalı *Streptococcus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc* ve *Lactobacillus* gibi laktik asit bakterilerinin yanı sıra *E. coli*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* spp., *Enterobacter aerogenes*, *Enterobacter cloacae*, *Citrobacter* spp., *Klebsiella aerogenes*, *K. pneumoniae* gibi pek çok hastalık yapıcı bakteri türü ile kontamine olabilmektedir. Bu mikroorganizmalar içerisinde, en zararlı grubu koliform bakterileri oluşturmaktadır [1]. Koliform grubu bakteriler içerisinde *Enterobacteriaceae* familyasına ait *E. coli* gibi türlerin varlığı gıdanın üretim ve depolama aşamalarında yetersiz hijyen uygulamalarından kaynaklı bir kontaminasyonun olduğunun göstergesidir ve insan sağlığı açısından tehlike arz etmektedir. Bu familyanın diğer bir üyesi *Klebsiella* türleridir. Bu türlerden özellikle *K. pneumoniae* florada daha az sayıda olsa da patojen olması geniş spektrumlu beta laktamaz enzimi üretmekle antibiyotiklere karşı direnç geliştirmesi bakımından önem arz etmektedir.

Bu bakterileri barındıran süt ürünleri tüketildiğinde hastalık yapıcı etmenlerin yanı sıra barındırdıkları antibiyotik direnç özellikleri de insan vücudundaki kommensal-zararsız mikroorganizmalara aktarılması mümkündür. Bunun sonucunda hastalıklara karşı uygulanan antibiyotik tedavileri yetersiz kalmakta ve antibiyotiklere olan direnç her geçen gün artmaktadır [2]. TSE lor peynirini, peynir altı suyu tekniğine göre asitlendirilmesi ve pastörizasyon koşullarında ısı işlem uygulanmasından elde edilen kendine özgü renk, tat ve aroması olan mamul olarak tanımlanmıştır (TSE 13358, 2008). Lor peyniri ve benzer peynirlerin üretim yöntemleri, ısı etkisiyle serum proteinlerinin, özellikle α -laktalbumin ve β -laktoglobulin proteinlerinin, denatüre edilip toplanması esasına dayanmaktadır [3].

Uygun koşullarda üretilmeyen ve satışa sunulmayan lor peyniri halk sağlığı açısından mikrobiyolojik bir tehdide dönüşebilir ve peynirin raf ömrünü kısaltabilir. Bu sebeple peynir gibi süt ürünlerinin mikrobiyolojisi ve hijyeni çok önemlidir [4]. Gıda zehirlenmeleri ile ilgili ülkemizdeki duruma göz attığımızda, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre, 1993-2005 yılları arasında gıda kaynaklı olarak 108.246 kişi hastaneye yatmış ve 1993-2002 yılları arasında 1702 ölüm vakası tespit edilmiştir [5]. Ancak ülkemizde üretilen sütün %90 gibi önemli bir kısmı teknik bilgi ve modern aletlerden yoksun mevsimlik mandıralarda köy kadınlarının elinde işlenmektedir [6]. Bu durum ise gıda kaynaklı pek çok hastalığa neden olabilmektedir.

Gıdalarda mikrobiyolojik analizler birçok araştırmacı tarafından sürekli yapılmaktadır ve mikrobiyal etmenlerin varlığı çoğunlukla kültür temelli olarak tespit edilebilmektedir [7]. *Enterobacteriaceae* üyelerinin tespiti için desoxycholate'lı besiyerlerinin yanında kromojenik/flojenik özellikli besiyerleri mevcuttur.

EMX agar, C-EC-MF agar, Chromocult Coliform, CHROMagar ECC, *E. coli* / Coliform, HiCrome ECC bunlardan bazılarıdır [8]. MDCLS (Modifiye Desoxycholate-Citrate-Lactose-Sucrose) [9] laktoz pozitif *Enterobacteriaceae* üyelerinin izolasyonu için geliştirilmiş selektif bir besiyeridir. Desoxycholate içeren besiyerleri laktoz pozitif *Enterobacteriaceae* üyelerinden *E.coli*, *Enterobacter* spp., ve *Klebsiella* spp. yi laktoz negatif olan *Proteus* spp., ve bazı *Citrobacter* spp., *Salmonella* spp., ve *Shigella* spp.yi ayırtılabilmektedir. Ancak laktoz negatif olan türler ise ayırt edilebilmeleri çok güçtür. MDCLS besiyeri, DCLS-agar besiyerlerinin ayırtedici özelliklerini taşıması yanında, otoklavlanabilmesi, uzun süre saklanabilmesi, düşük glukoz seviyesi ile inokulasyonun hemen sonrasında *Enterobacteriaceae* üyelerinin üremelerine imkan vermesi, H₂S üreten suşların teşhisini kolaylaştırması gibi üstün özelliklere sahiptir. *Enterobacteriaceae* üyeleri arasında *Escherichia* sp., laktoz, indol, MR (Metil Kırmızı) testlerinde pozitif sonuç verirken; H₂S, VP (Voges-Proskauer), üreaz, sitrat ve kapsül negatif olarak tanımlanırlar. *Klebsiella* spp. bakterileri ise laktoz, VP, üreaz, sitrat ve kapsül pozitif; indol, H₂S, MR negatif olarak değerlendirilmektedir [10,11]. Selektif bir besiyeri olan MDCLS ile de *Enterobacteriaceae* üyelerinden *E. coli*, *Enterobacter* spp., *Klebsiella* spp., *Citrobacter* spp., *Proteus mirabilis* ve *Proteus vulgaris*'in belirgin bir şekilde ayırt edilebilmelerine imkan tanınmaktadır.

Bu yapılan çalışmada Kahramanmaraş ilinde satışa sunulan lor peynirlerinde fekal kaynaklı *Enterobacteriaceae* üyelerinden *E.coli* ve *Klebsiella* spp. MDCLS besiyeri kullanılarak izolasyonu ve teşhisi yapılmaya çalışılmış ve izole edilen bu mikroorganizmaların antibiyotiklere karşı sahip oldukları direnç profillerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Lor Peyniri Örneklerinin Temini

Bu çalışmada Kahramanmaraş il merkezinde bulunan market ve pazarlarda satışa sunulan lor peyniri örneklerinden randomize olarak 30 adet örnek alınmıştır. Çeşitli tezgahlarda satılan lor peynirlerinden 250'şer gram alınıp steril jelatin poşetlerle soğuk zincir yöntemi ile laboratuvara getirilmiş, +4°C de saklanmış ve 24 saat içinde besiyerine ekim işlemleri yapılmıştır.

2.2. Mikroorganizma İzolasyonu ve Sayımı

Lor peyniri örneklerinden mikroorganizma izolasyonu için, %10'luk hipoklorid çözeltisi ile 20 dakika bekletilerek steril su ile durulanmış blender kavanozu içerisine 10 gr peynir örnekleri tartılarak oda sıcaklığındaki 90 ml lik, %1'lik Sodyum sitratlı dilüsyon çözeltisi ile blenderda 2 dk içerisinde homojen hale getirildi ve 10⁻³'e kadar seri dilüsyonlar hazırlandı [12].

Hazırlanan dilüsyonlardan toplam bakteri sayımı için Plate Count Agar'a, *Enterobacteriaceae* üyesi bakterilerin izolasyonu için Mc Konkey ve Modified

Desoxycholate Citrate Lactose Sucrose (MDCLS) agara 1'er ml ekim yapıldı [9]. Ekim yapılan plaklar 37°C de etüvde 24-48 saat süre ile inkübasyona bırakıldı. İnkübasyon sonunda izole edilen mikroorganizmalar koloni morfolojilerine göre değerlendirilerek *E. coli* ve *K. pneumoniae* olanlar -20°C de stoklandı [9].

Toplam mezofilik aerobik bakteri sayısını belirlemek için Plate count agara yaptığımız ekimin sonucunda üremede oluşan koloni sayımı ile yapıldı [13,14] ve sonuçlar koloni oluşturan birim (kob ml⁻¹) olarak değerlendirildi [6].

MDCLS agarda bildirimine göre 'koyu pembe-kırmızı renkli, mat; etrafı yoğun ve geniş presipitasyon zonlu 1,5-2,0 mm çapında yassı koloniler *E.coli*' olarak ve 'büyük, ortası pembe-kırmızı, etrafı beyaz zonlu; tümsek ve mukoid, çevresi ise zayıf presipitasyon veya presipitasyonsuz, 1,5-3,0 mm çapındaki koloniler ise *Klebsiella spp.*' şeklinde değerlendirilmiştir [9]. Koloni görünümüne göre cins seviyesinde teşhis edilen *E.coli* ve *Klebsiella spp.* suşları öze yardımı ile saf kolonilerden Nutrient Broth'a ekilerek 18-24 saat 37°C de inkübasyona bırakıldı ve daha sonraki kullanımları için eğişik katı agarda stokları yapılmıştır.

2.3. Antibiyogram Testi

Saf kültür olarak elde edilen bakteri suşlarının kullanılan antibiyotiklere karşı duyarlılıkları Kirby-Bauer disk difüzyon yöntemi ile saptandı. Nutrient Broth'da inkübe edilen bakteriler 0,5 MacFarland (1,5x10⁸ Kob ml⁻¹) bulanıklılık standardına göre ayarlandı. Standart bakteri süspansiyonundan 100µl alınıp 4 mm kalınlığında Müeller Hinton Agar petrilere transfer edildi ve steril drigalski çubukları ile ekim yapıldı. Antibiyotik diskler yerleştirilmeden önce petrilere 10 dk etüvde bekletildi. Aseptik kurallar göz önünde tutularak, ekim yapılan besiyerlerine antibiyotik diskleri yerleştirildi. 18-24 saat 37 °C de inkübe edildikten sonra disklerin etrafında üreme görülmeyen zon çapları ölçülerek CLSI kriterlerine (CLSI, 2012) göre hassas veya dirençlidir diye değerlendirmesi yapıldı [15].

3. BULGULAR

3.1. Toplam Koliform Sayıları

Çalışmada 30 adet lor peyniri numunesine ilişkin toplam koliform miktarları Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Lor peyniri örneklerinde bulunan bakteri miktarları.

| Örnek No | Toplam Bakteri miktarı (kob/ml) | | |
|----------|---------------------------------|----------|-------|
| | PCA | McKonkey | MDCLS |
| 1 | 115 | 50 | 30 |
| 2 | 50 | 61 | 35 |
| 3 | 68 | 18 | 26 |
| 4 | 135 | 70 | 78 |
| 5 | 108 | 25 | 45 |
| 6 | 128 | 45 | 35 |
| 7 | 137 | 62 | 70 |
| 8 | 102 | - | - |

| | | | |
|----|-----|----|----|
| 9 | 187 | 59 | 47 |
| 10 | 93 | 39 | 25 |
| 11 | 157 | 72 | 52 |
| 12 | 160 | 48 | 38 |
| 13 | 129 | 52 | 20 |
| 14 | 170 | 67 | 45 |
| 15 | 197 | 46 | 53 |
| 16 | 178 | 35 | 65 |
| 17 | 108 | 52 | 47 |
| 18 | 132 | 42 | 34 |
| 19 | 157 | 30 | 64 |
| 20 | 117 | 32 | 27 |
| 21 | 125 | 40 | 41 |
| 22 | 170 | 52 | 39 |
| 23 | 119 | 36 | 54 |
| 24 | 190 | 39 | 45 |
| 25 | 107 | 55 | 17 |
| 26 | 98 | 39 | 23 |
| 27 | 186 | 47 | 35 |
| 28 | 151 | 24 | 67 |
| 29 | 201 | 32 | 41 |
| 30 | 139 | 43 | 35 |

Kob/ml: Koloni oluşturan birim/mililitre.

MDCLS ve McKonkey agara ekimi yapılan kültürlerden elde edilen verilere göre lor peyniri örneklerinde %49,1 *E.coli*, %26,3 *K. pneumoniae*, %17,5 *Enterobacter sp.*, %7.1 oranında *Citrobacter sp.* tespit edildi (Tablo 2).

Tablo 2. Lor peyniri Örnekleri toplamında izole edilen bakteri türleri ve oranları.

| Bakteri | Yüzde (%) |
|--------------------------|-----------|
| <i>E.coli</i> | 49,1 |
| <i>Kelbsiella spp.</i> | 26,3 |
| <i>Enterobacter spp.</i> | 17,5 |
| <i>Citrobacter spp.</i> | 7,1 |

3.2. *E. coli* ve *Klebsiella pneumoniae* Bakterilerinin Antibiyotik Duyarlılıkları

İdentifikasyonları yapılan Enterobacteriaceae familyasına ait 74 *E. coli* ve 17 *K. pneumoniae* suşlarının antimikrobiyal maddelere karşı hassasiyetleri disk difüzyon metodu kullanılarak tespit edildi. Tespit edilen zon çaplarına göre birçok dirençli bakteri türü belirlendi.

Çalışmamızda izole edilen 74 adet *E. coli* suşunun direnç oranları en yüksek %88 ile cefuroxime karşı belirlendi. Diğer direnç dağılımı sırasıyla, % 79 amoksisilin/klavulanikasite, %67 ampisillin/sulbaktama, %54 gentamisine, %48 tetrasikline, %30 oflaksine, %30 nitrofurantoine, %23 streptomisine, %20 seftriaksona, %2 siproflaksine, %1 sefepime karşı tespit edildi ancak levoflaksine karşı bir direnç tespit edilmedi.

İzole edilen 17 adet *K. pneumoniae* suşlarında direnç oranları, en yüksek %70 ile tetraksikline karşı belirlendi. Diğer direnç dağılımı sırasıyla, %64 sefepime, %59

gentamisine, %58 oflaksine, %53 nitrofurantoin, %52 siproflaksine, %47 amoksisilin/klavulanikasite, %42 ampisilin/sulbaktama, %35 streptomisine, %30 sefuroksime, %29 levoflaksine, %23 seftriaksona karşı direnç tespit edildi.

Tablo 3. İzole Edilen Suşların Antibiyotik Direnç Oranları

| Antibiyotik | İzole Edilen Suşların Antibiyotik Direnç Oranları | |
|----------------------------|---|----------------------------|
| | <i>E.coli</i> (n:74) | <i>K.pneumoniae</i> (n:17) |
| Cefuroxime | %88 | %30 |
| Ofloxain | %30 | %58 |
| Nitrofurantoin | %30 | %53 |
| Tetracycline | %48 | %70 |
| Gentamicin | %54 | %59 |
| Ciprofloxacin | %2 | %52 |
| Streptomycin | %23 | %35 |
| Amoxicillin/Clavulanicacid | %79 | %47 |
| Cefepime | %1 | %64 |
| Ampicillin/Sulbactam | %67 | %42 |
| Levofloxacin | - | %29 |
| Ceftriaxone | %20 | %23 |

n: Toplam izolat sayısı

Genellikle patojen olmayan *E. coli* insan ve hayvanların bağırsak florasında bulunan bir bakteridir. Bunun yanı sıra bazı *E. coli* serotipleri patojen özellik göstermektedirler. Bu serotipler ile gıdaların kontaminasyonu sonucu gıda zehirlenmelerine, hastalıklara hatta salgınlara yol açabilmektedir. Koliform grubundan olan *K. pneumoniae*, pnömoni, safra kesesi, üriner sistem enfeksiyonları gibi çeşitli hastalıkların etkenidir [16]. Nazem ve Saleh, 1994 yılında Mısır'da peynirler üzerine yapılan bir araştırma yapmışlar ve 25 Ras peynirinin %40'ında koliform mikroorganizma, %32'sinde *E. coli* saptamışlardır [17]. Orta ve Batı Brezilya'da çiğ sütlerden yapılan peynirlerde, 50 adet peynir örneğinden 48 (%96) inde *E. coli* belirlenmiştir [18]. Ladan ve Reza, İran'da yaptıkları çalışmada taze peynirlerde topladıkları 77 adet örnekten 76 adedinde (% 98,70) enteropatojenik *E. coli* (EPEC) izole ettiklerini bildirmişlerdir [19].

Demirci ve ark.nın Tekirdağ'da yaptıkları çalışmada 17 lor peyniri örneğinden 16 (%94,11)'sında koliform bakteri üremesi tespit etmişlerdir [20]. Doğan, 2001'de yaptığı bir çalışmada ise, 97 adet beyaz peynirde, %78,4 oranında koliform, %75,3 oranında fekal koliform ve %72,2 oranında *E. coli* izole ettiklerini bildirmişlerdir [21]. Baz ve ark., 2003 yılında Kars'ta 100 çiğ süt ve 100 taze beyaz peynir örneği; koliform grubu bakteri, *E. coli* O157:H7 yönünden incelemişler ve incelenen süt örneklerinin tamamında koliform grubu bakteri, %96'sında ise *E. coli* tespit etmişler. Örneklerin hiçbirinde *E. coli* O157:H7'ye rastlanılmadığını bildirmişlerdir [22].

Ağaoğlu ve Alemdar, 2004'te Van'da tüketime sunulan dondurmalarda halk sağlığı yönünden önem taşıyan bazı patojen bakterilerin varlığını araştırmışlar. Çalışmada çeşitli pastanelerden sağlanan toplam 75 adet dondurma örneğinin %8'inde *L. monocytogenes*, %25,3'ünde *K. pneumoniae*, %17,3'ünde *Salmonella* spp., %13,3'ünde

E. coli ve %13,3'ünde koagülaz (+) *S. aureus* tespit etmişlerdir. Örneklerin %34,7'sinde patojen bakteriye rastlanmamıştır. Sonuç olarak, incelenen dondurma örneklerinin %65,3'ü mikrobiyolojik yönden Türk Standartlarında bildirilen kriterlere uygun olmadığını tespit etmişlerdir [23].

Kalkan ve ark. nın Ankara'daki marketlerden aldıkları beyaz peynir numunelerin % 64'ünde koliform bakteri, % 22'sinde *E. coli* ve % 6'sında *K. pneumoniae* izole etmiştir [24]. Savaşan ve Göksoy'un Aydın'da yaptıkları çalışmada, 100 adet peynir örneğinden %22 oranında *E. coli* tanımlamışlardır [25].

Atabey 2011'de yaptığı çalışmada 50 adet kaşar peyniri, 50 adet beyaz peynir örneği incelemiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre beyaz peynirlerin %22'sinin *E.coli* ve %16'sının *S. aureus* ile kontamine olduğu tespit etmiştir. Kaşar peynirlerinden sadece %4'ünün *S. aureus* ile kontamine olduğunu tespit etmiştir. İzole edilen suşlara yapılan antibiyogram testi sonucunda, *E. coli* suşlarının antibiyotik direnç oranları sırasıyla %100 penisilin, %55 streptomisin, % 55 gentamisin, %18 amoksisilin-klavulonik asit ve % 0 enroflaksasin olarak belirlemiştir [26].

Özadam tarafından İstanbul'da yapılan çalışmada toplam 83 adet peynir örneklerinde GSBL ve AmpC tipi beta-laktamazları üreten %27,8 *K. pneumoniae*, %27,8 *H. alvei*, %22,2 *E. coli*, %11,2 *K. oxytoca*, %5,5 *E. cloacae* ve %5,5 *Citrobacter spp.* olarak karakterize edilmiştir [27].

Bizim çalışmamızda, *E. coli* açısından lor peyniri örneklerinden elde ettiğimiz sonuç % 49,1 Brezilya'da Panetto ve ark.nın %96, İran'da Ladan ve Reza'nın %98,70, Demirci ve ark.nın %94,11 ve Baz ve ark.nın yaptığı çalışmada elde ettiği sonuçlarından daha düşük olmakla birlikte Özadam'ın %22,2, Savaşan ve Göksoy %22, Kalkan ve ark. %22, Ağaoğlu ve Alemdar % 13,3 ve Nazem ve Saleh'in %32 sonuçlarından daha yüksek oranlarda çıkmıştır.

Örneklerden izole edilen *K. pneumoniae* sonucu (% 26,3), Özadam'ın %27,8, Ağaoğlu ve Alemdar'ın sonuçlarına benzer fakat Kalkan ve arkadaşlarının sonuçlarından yüksek oranda elde edilmiştir.

Elde ettiğimiz sonuçların yüksek oranlarda çıkmasının en önemli etkeninin peynir yapımının geleneksel yöntemler ile hijyenik olmayan ortamlarda yapılması ve taşınması olduğunu düşünmekteyiz. Diğer bir etken ise, lor peynirinin salamura peynirleri gibi tuzlu ortamda olmaması ve olgunlaşma sürecinden geçmemesinden dolayı mikroorganizmaların hızlı üremesi için uygun ortam olmasından kaynaklandığını düşündürmektedir.

K. pneumoniae suşlarında ESBL'ye bağlı üçüncü kuşak sefalosporin direnci sık karşılaşılan bir durumdur ve çoğunlukla aminoglikozid direnci ile birliktedir [28]. Avrupa'da özellikle ESBL üreten *E. coli* ve *K. pneumoniae* suşları için yapılan çok merkezli bir çalışmada Türkiye-Yunanistan kolunda diğer

aminoglikozidlere oranla isepamisin bu suşlarda daha duyarlı bulunmuştur (The Aminoglycoside Resistance Study Groups, 1995). Amikasin, gentamisin ve tobramisinine karşı direnç yüzdelerinin tespit edildiği MYSTIC çalışmasında *K. pneumoniae* için sırasıyla % 6,5, % 34 ve % 36'lık direnç yüzdeleri elde edilmiştir [29].

Bu çalışmada, *E. coli* ve *K. pneumoniae* tetrasiklin, penisilin, aminoglikozid grubuna karşı yüksek oranda direnç geliştirdiği görülmektedir. Sefalosporin grubuna karşı *E. coli*, beta laktam, kinolonlar grubu ve imidazol türevlerine karşı ise *K. pneumoniae* daha yüksek oranda direnç kazandığı görülmektedir. *E.coli* kionolonlardan levoflaksin ve siproflaksin, beta laktamlardan sefepime karşı duyarlı olduğu görülmüştür.

4. SONUÇ

Tedavisi daha zor yapılan ve güç enfeksiyonlara neden olan GSBL üreten *E. coli*, *K. pneumoniae* ve dolayısı ile direnç geliştiren Gram negatif enterik bakterilerin direnç profilleri, araştırmacılar tarafından çeşitli zamanlarda araştırılmalıdır, enfeksiyonların tedavisinde tercih edilen geniş spektrumlu beta laktam antibiyotiklerin kullanılmasında araştırma sonuçları göz önüne alınmalıdır. Çalışmamızda lor peynirinin tüketicinin sofrasına gelinceye kadar hijyen kurallarına dikkat edilmediğinin çarpıcı sonuçları elde edilmiştir. Bu durumun da ürünün barındırdığı mikroorganizmalar ile aktarılan antibiyotik dirençli genlerin de çoğul direnci arttırabileceği anlaşılmaktadır.

Toplumda yaygın olarak kullanılan bu ürün gerekli hijyen koşullarına dikkat edilmediğinde risk faktörüne dönüşmektedir.

Süt sağım aşamasından peynir yapımı ve tüketim aşamasına kadar hijyen kurallarına uyulması ve soğuk zincir vb. yöntemler ile taşınmasının önemi anlaşılmıştır. İçerisinde gelişen mikroorganizmalar insan sağlığına zarar verirken bu mikroorganizmaların antibiyotiklere karşı oluşturdukları direnç ise daha ciddi sorunlara yol açmaktadır. Özellikle antibiyotik dirençliliği olan bakteriler yaygın kullanımı olan bu ürünle birçok insanın bünyesinde barınmaya başlaması ile birçok antibiyotiğin yer aldığı tedavi biçimine cevap vermeyen enfeksiyon hastalıklara neden olması muhtemeldir.

Elde ettiğimiz veriler antibiyotik kullanımı konusunda toplum olarak bilinçlenmeye ihtiyacımız olduğunu ve daha kontrollü kullanılmasını göstermektedir. Bilinçsiz antibiyotik kullanımı zararlı mikroorganizmaların dirençliliğini arttırmış ve bu döngü günden güne artmaktadır. Özellikle hayvanların hızlı büyümelerini sağlamak amacı ile kullanılan antibiyotikler ve bu hayvanların ya da onlardan üretilen ürünlerin tüketimi dirençli bakterilerin yaygınlaşmasına neden olmuştur. Bu sonuçlara göre antibiyotik kullanımının hem tedavilerde hem de hayvanlardan daha fazla verim elde etmek kullanılmasında daha kontrollü olunması gerekliliğini bir kez daha ortaya koymaktadır.

Teşekkür

Desteklerinden dolayı KSU BAP birimine Teşekkür ederiz (2015/3-26 YLS).

Bu çalışma International Medical and Biological Sciences Congress 2018 Niğde'de özet bildiri olarak sunulmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] Halkman AK. Merck Gıda Mikrobiyolojisi Uygulamaları. Başak Matbaacılık, Ankara-Türkiye. 2005.
- [2] Arıkan B, Aygan A. Resistance Variations of 3rd Generation of Cephalosporins in Some of the Enterobacteriaceae Members in Hospital Sewage. Int J Agric Biol. 2009; 11(1): 93-6.
- [3] Metin M. Süt Teknolojisi-Sütün Bileşimi ve İşlenmesi. Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 33, s. 801, İzmir-Türkiye. 2001.
- [4] Köşker Ö, Tunail N. Süt ve Mamulleri Mikrobiyolojisi ve Hijyeni Uygulama Klavuzu. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 985, Uygulama Kılavuzu No: 217, Ankara-Türkiye.1985.
- [5] Anonim, Türk İstatistik Enstitüsü, <http://www.tuik.gov.tr/Beslenme/index.html> (Erişim Tarihi: 08.09.2006).
- [6] Dığrak M, Yılmaz Ö, Çelik S, Özçelik S. Elazığ'da Satışa Sunulan Taze Beyaz Peynirlerin Mikrobiyolojik Kalitesi ve Yağ Asitleri Analizi. Turk J Biol. 1996; 20: 221-30.
- [7] Greiner R, Konietzny U. Modern Molecular Methods (PCR) in Food Control: GMO, Pathogens, Species Identification, Allergens, The World of Food Science, 7th Simposio Latino Americano de Ciencia de Alimentos, 2007. 4-7 November, Brazil.
- [8] Torlak E. Gıda Mikrobiyolojisinde Enterobacteriaceae Üyeleri İçin Kromojenik ve Florojenik Besiyerleri. Türk Hij Den Biyol Derg. 2011; 68 (1): 49-58.
- [9] Arıkan B, Çolak Ö. Laktoz Pozitif Enterobacteriaceae Üyelerinin İzolasyonu İçin Geliştirilmiş Selektif Agar Besiyeri. Doğa. Turk J Biol. 1991; 15: 1-6.
- [10] Costin, Die Biochemische Identifizierung der Enterobacteriaceae. Kritische Bemerkungen zu Prinzipien und Methoden. Zentralbl. Bakteriöl. Parasitenk. Infektionskr. Abt. I Ref. 1969; 219: 767-837.
- [11] Barrow GH, Feltham RKA. Cowan and Steel's Manual for Identification of Medical Bacteria. 3rd Ed. Cambridge University Press, Cambridge, 331. 1993.
- [12] Duncan SE, Yaun BR, Sumner SS. Standart Methods for the Examination of Dairy Products. American Public Health Association press, s.249-268, Washington D.C.-USA. 2004.
- [13] Hausler WS. Standart Methods for the Examination of Dairy Products, 13th. Ed. American Public Health Association. Washington, D.C.1974.

- [14] Harrigan W, Hausler WS. Standart Methods for the Examination of Dairy Products, 13th. Ed. , American Public Health Association. Washington, D.C. 1974.
- [15] Jesudason MV, Kantathil AJ, Balaji V. Comparison of Two Methods to Detect Carbapenemase & Metallo- Lactamase Production in Clinical Isolates. Indian J Med Res. 2004; 121: 780-783.
- [16] Erdem B. "Temel ve Klinik Mikrobiyoloji" Enterobacteriaceae, Bölüm 12 (Editör, Ustaçelebi, Ş.) Güneş Kitabevi. Ankara. 1999.
- [17] Nazem AM, and Saleh, TM. Chemical and Microbiological Evaluation of Market ras Cheese. Assiut Vet Med J. 1994; 30(59): 139-144.
- [18] Paneto BR, Hurrino SRP, Macedo C, Santo E, Marin JM, Occurence of toxigenic Escherichia coli in raw milk cheese in Brazil. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinaria e Zootecnia. 2007; 59: 508-512.
- [19] Ladan NM, Reza G. A Study on Enteropathogenic Escherichia coli Isolated From Domestic Iranian Soft Cheese. Veterinarski Arhiv. 2006; 76: 531-536
- [20] Demirci M, Şimşek O, ve Arıcı M. Tekirdağ Piyasasında Satılan Lorların Bileşimi ve Bazı Mikrobiyolojik Özellikleri Üzerine Bir Araştırma, Gıda. 1991; 16 (5): 291-294.
- [21] Doğan B. Çeşitli Gıdalarda Koliform, Fekal Koliform ve E.Coli Varlığı.(2). Gıda. 2001; 26, 83-90.
- [22] Baz E, Gülmez M, Güven A, Sezer Ç, Duman B. Kars İlinde Satışa Sunulan Çiğ Süt ve Taze Beyaz Peynirlerin Koliform Grubu Bakteri, E. coli ve E. coli O157:H7 Yönünden İncelenmesi. Kafkas Üni Vet Fak Derg. 2003; 9: 165-7.
- [23] Ağaoğlu S, Alemdar S. Van'da Tüketime Sunulan Dondurmalarda Bazı Patojenlerin Varlığının Araştırılması YYÜ Vet Fak Derg. 2004; 15 (1-2):59-64.
- [24] Kalkan A, Tansu-Aktan H, Kamber U, Ülgen MT, Mutluer B. Beyaz Peynirlerde Koliform Bakterilerin (E. coli ve K. pneumoniae) Bulunuşu Üzerinde Araştırma. AÜ Vet Fak Derg. 1991; 38: 108-13.
- [25] Savaşan S, Göksoy EÖ. Taze Peynirlerden İzole Edilen Escherichia coli Suşlarının Genotiplendirilmesi. Etlik Vet Mikrobiyol Derg. 2018; 29 (2): 127-35
- [26] Atabey C. Piyasada Satışa Sunulan Peynirlerden Elde Edilen Jenerik Escherichia coli ve Staphylococcus aureus Suşlarının Antibiyotik Dirençliliklerinin Belirlenerek, Mastitis Kontrol ve Tedavi Programlarında Kullanılan Antibiyotiklerle İlişkinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Adnan Menderes Üniversitesi Sağlık Bilimler Enstitüsü 2011.
- [27] Özadam A. Peynir Örneklerinden İzole Edilen Enterobakterilerde Geniş Spektrumlu beta-Laktamaz (GSBL) ve AmpC Dirençlilik Durumlarının İncelenmesi. İstanbul Aydın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Güvenliği Programı, İstanbul, 2016.
- [28] Bahar H, Esen N. Acinetobacter ve Diğer Nonfermentatif Basiller. Topcu A.W., Soyletir G.,Doğanay M.(eds), İnfeksiyon Hastalıkları ve Mikrobiyolojisi, Nobel Tıp Kitapevleri s: 618-1623,2002
- [29] Kiffer C, Hsiung A, Oplustil C, Sampalo J, Sakagami E, Turner P, Mendes C. MYSTIC Brazil Group. "Antimicrobial Susceptibility of Gram Negative Bacteria in Brazilian Hospitals: The MYSTIC Program Brazil 2003" BJID; 9(June) 2005; 216-224



Kuraklık Stresi Koşullarında Bakteri Uygulamasının Domates Bitkileri Üzerine Etkileri

Sultan DERE^{1*}

¹ Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Siirt, Türkiye
 Sultan DERE ORCID No: 0000-0001-5928-1060

*Sorumlu yazar: sultan.dere@siirt.edu.tr

(Alınış: 05.10.2020, Kabul: 23.12.2020, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Anahtar Kelimeler

Kuraklık stresi,
 Bakteri
 uygulaması,
 Morfolojik etki,
 Fizyolojik etki

Öz: Kuraklık stresi bitkisel üretimi etkileyen en önemli stres faktörlerindedir. Bu çalışma kuraklık stresinin olumsuz etkilerini azaltmada bakteri uygulamasının etkisini belirlemek amacıyla yapılmıştır. İklim odasında katı ortam kültüründe yapılan çalışmada Falcon domates çeşidi ve Tom-29 yerel domates genotipi kullanılmıştır. Bitkileri 16/8 saat aydınlık/karanlık, 25±2°C gündüz ve 20±2°C gece olan iklim odasında yetiştirilmiştir. Uygulamalar kontrol, kuraklık stresi, bakteri, kuraklık stresi+bakteri şeklinde planlanmıştır. Çalışma sonunda bitki boyu, bitki çapı, yaprak sayısı, koltuk sayısı, bitki yaş ağırlığı, gövde yaş ağırlığı, yaprak yaş ağırlığı, kök ağırlığı, yaprak alanı, yaprak oransal su içeriği, yaprak su potansiyeli, SPAD metre ölçümü gibi morfolojik ve fizyolojik parametreler incelenmiştir. Kontrol grubuna kıyasla, kuraklık stresi uygulamasında, Tom-29 genotipi incelendiğinde, bitki boyu (%3,07), bitki çapı (%5,75), bitki yaş ağırlığı (%55,92), gövde yaş ağırlığı (%33,50), kök ağırlığı (%38,20) ve yaprak sayısı (%16,37), yüzde değişimdeki azalışın Falcon çeşidinden daha az olduğu belirlenmiştir. Falcon çeşidine kıyasla Tom-29 genotipinde bakteri uygulamasına göre kuraklık stresi+bakteri uygulamasında bitki boyu (%34,83), bitki yaş ağırlığı (%50,62), gövde yaş ağırlığı (%53,36), yaprak yaş ağırlığı (%51,43), koltuk sayısı (%31,55) ve turgor potansiyeli (%3,84) yüzde değişim azalışının daha düşük olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak kuraklık stresinin domates üzerindeki olumsuz etkisini azaltmada kullanılan yöntem ve uygulamaların etkisi belirlenmiştir.

Effects Of Bacteria Application on Tomato Plants Under Drought Stress Conditions

Keywords

Drought stress,
 Bacteria
 application,
 Morphological
 effect,
 Physiological
 effect

Abstract: Drought stress is one of the most important stress factors affecting crop production. This study was conducted to determine the effect of bacterial application on reducing the negative effects of drought stress. Falcon tomato variety and Tom-29 local tomato genotype were used in the study performed in solid medium culture in the climate chamber. The plants were grown in a climate chamber with 16/8 hours light/dark, 25±2°C day and 20 ± 2°C night. Applications are planned as control, drought stress, bacteria, drought stress+bacteria. At the end of the study, morphological and physiological parameters such as plant height, plant diameter, leaf number, branch number, plant fresh weight, shoot weight, leaf fresh weight, root fresh weight, leaf area, leaf proportional water content, leaf water potential, SPAD meter measurement were examined. Compared to the control group, in drought stress application, when Tom-29 genotype was examined, plant height (3,07%), plant diameter (5,75%), plant fresh weight (55,92%), stem fresh weight (33,50%), root fresh weight (38,20%) and leave number (16,37%), it was determined that the decrease in percentage change was less than Falcon variety. Compared to the Falcon variety, in Tom-29 genotype, it is seen that drought stress+bacteria applications resulted in lower values than bacteria application alone from the aspects of plant weight (50,62%), stem fresh weight (53,36%), leaf fresh weight (51,43%), branch number (31,55%) and the turgor potential (3,84%). As a result, the effects of the methods and practices used in reducing the negative effects of drought stress on tomatoes were determined.

1. GİRİŞ

Ülkemizde ve dünyada hızlı nüfus artışı gıdaya olan talebi her geçen gün arttırmaktadır. Hızlı nüfus artışına karşın tarım alanlarının ve su kaynaklarının azalması tarımsal üretimin yetersiz kalmasına neden olmaktadır. Ayrıca son yıllarda tarımsal üretimde verim artışını sağlamak için kullanılan kimyasallar nedeniyle topraklarımız kirlenmekte ve verimsizleşmektedir. Bu nedenle toprak kirliliğinin ve üretimde yaşanan sorunların önüne geçilebilmesi için organik kökenli ürünlerin kullanımı gündeme gelmiştir. Organik kökenli ürünlerden vermikompost, mikoriza, bakteri, sığır, koyun, keçi, kaz, ördek, tavuk, yarası gübreleri, humik ve fulvik asit gibi gübreler ve biostimulantlar son yıllarda yoğun şekilde araştırılmaktadır.

Abiyotik stresler faktörlerinin üretimi sınırlandırması ve verim kayıplarındaki artışı tetikleme önemli bir sorundur. Bu nedenle abiyotik streslerin olumsuz etkisini hafifletmede kullanılan biostimulantların ve organik gübrelerin kullanımının araştırılması ve etki mekanizmasının ortaya çıkarılması önem taşımaktadır.

Domates tüm dünyada geniş alanlarda üretimi yapılan ve diğer sebzelere kıyasla üretim potansiyeli yüksek popüler bir sebzedir [1, 2]. Domates hem taze olarak hem de işlenerek kullanılması ve tüketilmesi nedeniyle önemli bir üründür [3]. Domates kuraklık, tuzluluk, ağır metal, düşük veya yüksek sıcaklık gibi abiyotik stres faktörlerinden olumsuz etkilenmektedir [4, 5].

Kuraklık, bitki büyümesini ve gelişmesini engelleyen ve bitki verimliliğini genotip, süre ve yoğunluğa ve bitki gelişim aşamasına bağlı olarak diğer ekolojik bileşenlerden daha fazla sınırlayan en etkin ve olumsuz etkileyen abiyotik stres faktörlerinden biridir [6, 7]. Kısıtlı sulama ise bitkilerin belirli süre veya tüm büyüme mevsimi boyunca kuraklık stresine maruz kaldığı bir tarımsal su yönetimi stratejisi olarak bilinmektedir [8]. Bitkilerde kuraklık stresi morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal birçok değişikliğe neden olur [4, 9]. Kuraklık, fotosentez, solunum, su ve besin elementlerinin alımı, enzimatik aktiviteler, organik maddelerin metabolizması ve stres proteinlerini ve transkripsiyon faktörlerini kodlayan genlerin baskılanması veya aşırı ekspresyonu gibi genetik ve moleküler düzeyde karmaşık fizyo-biyokimyasal ve metabolik prosedürlerin ilerlemesini etkilemektedir [10, 11, 12]. Kuraklık stresinde vejetatif büyümede gerileme fotosentez oranındaki düşüşten kaynaklanmaktadır. Bitki kök ve gövde gelişimi kuraklık stresi uzun süre devam ettiğinde durduğu bazı yaprakların sarardığı bunun yanı sıra yaprak alanı ve yaprak sayısının azaldığı bilinmektedir. Ayrıca kuraklık stresinin bitki hacmini azaltıcı etkisinin olduğu da bilinmektedir [13, 14, 15, 16]. Bitkilerde su kullanım etkinliği kısa süreli su stresi koşullarında stoma açıklığının ve terlemenin azalmasıyla artmaktadır [17].

Su stresinde bitki büyümesini teşvik eden bakteriler (PGB), fizyolojik yanıtı modüle edebildiği böylece stresli koşullar altında bitkinin hayatta kalmasını

sağlayan yaygın endofitik bakterilerdir [18, 19, 20]. Bitkilerin köklerinde gelişen ve kolonize olan Rhizobakteriler su stresinden etkilenirler. *Acetobacter*, *Achromobacter*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Herbaspirillum*, *Pseudomonas* ve *Rhizobium* gibi bakteri türlerinin bitki büyümesini teşvik edici bakteriler (PGPB) olduğu bilinmektedir [21, 22, 23, 24]. *Azospirillum*, *Bacillus*, *Pseudomonas* ve *Enterobacter* gibi bakterileri içeren farklı PGPR, bitki büyümesi ve metabolizması üzerindeki yararlı etkilerinden dolayı stres koşulları altında kullanılmaktadır [25, 26]. Kuraklık stresinin olumsuz etkilerini hafifletmek için bitkilere bakteri aşılmasının yapılması su stresi nedeniyle oluşan verim kayıplarını azaltacağı ve su stresine toleransı arttıracığı yapılan çalışmalarda bildirilmiştir [24, 27, 28].

Bitki büyümesi, gelişimi, mahsul verimi ve ürün kalitesi kuraklık stresinde önemli şekilde etkilenmektedir. Kuraklık stresinin olumsuz etkisini azaltmak için yapılan çalışmalar, kullanılan yöntem ve uygulamalar önem arz etmektedir. Bu çalışma dünyada ve ülkemizde en çok üretilen ve tüketilen sebze türlerinden biri olan domateste kuraklık stresinin olumsuzluklarını azaltmada bakteri uygulamasının etkisi araştırılmak amacıyla yapılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Çalışma 2019-2020 yaz sezonunda Çukurova Üniversitesi Bahçe Bitkileri Bölümü'ne ait iklim odasında gerçekleştirilmiştir. İklim odası koşulları 16/8 saat aydınlık/karanlık fotoperiyodik düzenin gündüz 25±2°C, gece 20±2°C, ışık şiddetinin 300 µmol m⁻²s⁻¹ olduğu ve nem koşullarının % 65-70 olduğu şekilde ayarlanmıştır. Bitki materyali olarak 1 adet yerel domates genotipi Tom-29 ve 1 adet sanayilik domates çeşidi Falcon kullanılmıştır. Domates tohumları hacimsel olarak 1:3 oranında torf:cocopeat karışımı içeren 2 L'lik saksılara ekilmiştir. Deneme tesadüf parselleri faktöriyel deneme desenine göre 4 tekerrürlü ve her tekerrürde 8 bitki olacak şekilde planlanmıştır. Her saksıda 1 adet bitki bulunmaktadır. Bitkiler deneme süresinde standart besin çözeltisi ile sulanmıştır (Tablo 1).

Uygulamalar kontrol, kuraklık stresi, bakteri, kuraklık stresi+bakteri şeklindedir. Kuraklık stresinde %100 ve %50 sulama uygulaması yapılmıştır. Bitkiler 4 gerçek yapraklı aşamadan sonra kuraklık stresi uygulamalarına geçilmiştir. Kontrolde göre belirlenen su miktarını dikkate alınarak kuraklık stresi için kullanılacak su miktarı hesaplanmıştır. Kuraklık stresi (%50) uygulamasına kontrol uygulamasına verilen suyun %50'si hesaplanarak verilmiştir. Kontrol uygulamasındaki bitkilerden yapılan gözlemlere göre sulama zamanı belirlenmiştir. Su tutma kapasitesi saksılarda farklı olacağı için sulama miktarının ve zamanının belirlenebilmesi için örnek saksılar bulundurulmuştur. Her uygulamanın saksılarına saksı tabakları konularak sulama yapılıp doygunluk noktasına ulaşması sağlanmış ve drene olan su miktarı dikkate alınarak sulama miktarı hesaplanmıştır. Sulamada "drene olan çözelti uygulanan çözelti⁻¹" oranı esas alınmıştır [29]. Drenaj seviyeleri belirlenmiş ve bu

oran deneme süresince yaklaşık %30 olarak ayarlanmıştır. Drene olan suyun pH ve EC ölçümleri sulama zamanlarında ölçülmüştür. Besin çözeltisinin pH'ı 6.0-6.5 ve EC 1.5-2.5 dS m⁻¹ aralığında tutulmuştur.

Çalışmada ticari adı Medbio olan sıvı bakteri biyo-gübresi kullanılmıştır. Sıvı bakteri biyo-gübrenin içeriğinde %50 melas, %3 suda çözülebilir potasyum nitrat (K₂NO₃) ve geriye kalan %47'sinde ise *Bacillus subtilis* (1x10⁹), *Bacillus licheniformis* (2x10⁶), *Bacillus megaterium* (1x10⁹) ve *Pseudomonas putida* (1x10¹⁰) bakteri türleri bulunmaktadır. Bakteri uygulaması sulama zamanlarında kökten ve yapraktan sprey şeklinde uygulanmış olup deneme sonuna kadar uygulamaya devam edilmiştir.

Kökten bakteri uygulamasında 1,5 litre standart besin çözeltisinin içerisine 45 ml bakteri eklenerek çözelti oluşturulmuştur. Bakteri uygulamasındaki her saksıya bu çözeltiden 40 ml uygulanmıştır. Yapraktan bakteri uygulaması için 1 litre standart besin çözeltisine 10 ml bakteri eklenerek çözelti oluşturulmuş ve bu çözelti sprey şeklinde bitkinin tüm yaprakları kuruluk kalmayacak şekilde uygulanmıştır. Bakteri ve kontrol uygulamaları arasında, drenaj sızıntılarından bulaşmalar olmaması için ayrı yerlerde tutulmuş ve saksı tabakları konularak bakterinin diğer bitkilere bulaşmasının önüne geçilmiştir.

Bitkilerde kuraklık stresi semptomları görüldüğünde deneme sonlandırılmıştır. Deneme sonunda aşağıda belirtilen ölçüm ve gözlemler en az 4 bitki de yapılmıştır.

2.1. Bitki Boyunun Belirlenmesi

Deneme sonunda bitkinin kök boğazından büyüme ucuna kadar olan bölge cm (± 0.5) cinsinden metre ile ölçülmüştür [30].

2.2. Bitki Çapının Belirlenmesi

Bitki gövde çapı mekanik kumpas yardımıyla mm (± 0.1) olarak belirlenmiştir [30].

2.3. Bitki Yaş Ağırlığı

Deneme tamamlandığında her parselden 4 bitkide, yeşil aksamın tamamı gram cinsinden hassas terazide tartılmıştır [31, 32].

2.4. Yaprak Yaş Ağırlığı

Deneme tamamlandığında her parselden 4 bitkide, yaprakların tamamı gram cinsinden hassas terazide tartılmıştır [31].

2.5. Gövde Yaş Ağırlığı

Deneme tamamlandığında her parselden 4 bitkide, yaprakların ve kökün tamamı alındıktan sonra kalan kısmı gram cinsinden hassas terazide tartılmıştır [31].

2.6. Kök Yaş Ağırlığı

Deneme tamamlandığında her parselden 4 bitki kök boğazından kesilerek yıkanıp tamamen temizlendikten sonra gram cinsinden hassas terazide tartılmıştır [32, 33].

2.7. Yaprak Sayısının Belirlenmesi

Deneme sonunda bitki üzerindeki tüm yapraklar sayılarak yaprak sayısı belirlenmiştir [31].

2.8. Koltuk Sayısının Belirlenmesi

Deneme sonunda bitki üzerindeki koltuklar sayılarak koltuk sayısı belirlenmiştir [31].

2.9. Yaprak Su Potansiyeli

Deneme sonunda, Soilmoisture marka taşınabilir basınç çemberi bitkilerin büyüme ucundan itibaren 2-3. yapraklarda bar cinsinden su potansiyeli belirlenmiş ve sonra MPa birimine çevrilmiştir [34, 35].

2.10. Klorofil için SPAD Metre ile Ölçüm Yapılması

Deneme sonunda domates bitkilerinde tepeden 5. yaprakta klorofil miktarına bağlı değişen yeşilin tonunu belirlemek amacı ile Minolta SPAD metre cihazı ile okumalar gerçekleştirilmiştir [32, 34, 36].

2.11. Yaprak alan indeksi

Birim alana düşen yaprak alanı (cm²) olarak ifade edilen "Yaprak Alan indeksi" (LAI: Leaf Area Index), deneme sonunda Licor marka LAI-220 (Plant canopy analyser) cihazı ile her tekerrürde en az 6 bitkide ölçülmüştür [34].

2.12. Yaprak Oransal Su içeriği (YOSİ)

Deneme sonunda taze bitki yaprakları tartılıp kaydedilmiş, yapraklar saf su içerisinde 4 saat bekletildikten sonra yapraklar sudan çıkarılıp kurutulduktan sonra turgor ağırlıkları belirlenmiştir. Turgor ağırlığı belirlenen yapraklar 65°C etüvde 48 saat kurutulduktan sonra kuru ağırlığı gram olarak alınmıştır. Elimizdeki verilere göre aşağıdaki formüle değerler yerleştirilerek yaprak oransal su içeriği (%) hesaplanmıştır [4, 37, 38].

$$(TA - KA)(TuA - KA) - 1x100 \quad (1)$$

TA: Taze Ağırlık KA: Kuru Ağırlık TuA: Turgor Ağırlığı.

Tablo 1. Domateste Kullanılan Standart besin çözeltisi

| Besin Elmenti | Konsntrasyonları |
|--------------------|------------------|
| NO ₃ -N | 180 ppm |
| NH ₄ -N | 20 ppm |
| P | 60 ppm |
| K | 350 ppm |
| Ca | 175 ppm |
| Mg | 60 ppm |
| Fe | 5 ppm |
| Mn | 0.8 ppm |
| Zn | 0.5 ppm |
| Cu | 0.1 ppm |
| Mo | 0.05 ppm |

İstatistiksel Analizler

Deneme de her uygulama kendi arasında JUMP 5.0.1 yazılımı (SAS Institute Inc.) kullanılarak analiz edilmiştir. Uygulamalar arasındaki farklılıkların gruplandırılması 'LSD' çoklu karşılaştırma testi' ile %1 ve %5 düzeyinde yapılmıştır. İki uygulama arasındaki istatistiksel fark t testi ile ortaya konulmuştur. Bağımsız Ayrıca uygulamaların kontrolüne kıyasla yüzde değişimleri de hesaplanmıştır [39].

3. BULGULAR

Kuraklık stresi kültür bitkilerinde morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal birçok özelliği olumsuz etkilediğinden verim ve kalite kayıplarında artışa neden olmaktadır. Bu nedenle verim ve kalite kayıplarının azaltılabilmesi için bitkilerdeki morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal değişimlerin bilinmesi ve bu değişimlere etki eden faktörlerin ortaya çıkarılması önemlidir.

Falcon çeşit ve Tom-29 genotipinde bitki boyunun kuraklık stresinde istatistiksel olarak önemli seviyede etkilendiği belirlenmiştir (Tablo 2). En düşük bitki boyunun 52 cm ile kuraklık stresi+bakteri uygulamasında Falcon çeşidinde görülmüştür (Tablo 3). Kuraklık stresinin bitki boyunu olumsuz etkilediği kontrole kıyasla Falcon çeşidinde %34,83 azalışa, Tom-29 genotipinde %3,07 azalışa sebep olduğu belirlenmiştir. Bakteri uygulamasının bitki boyuna etkisinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir. Bakteri uygulaması kontrole kıyasla bitki boyunu Falcon çeşidinde %6,42 azaltırken, Tom-29 genotipinde %17,11 artış sağlamıştır. Kuraklık stresi+bakteri uygulamasının bitki boyunu olumsuz etkilediği kuraklık stresine kıyasla Falcon çeşidinde %6,86 azalışa, Tom-29 genotipinde %21,27 azalışa sebep olduğu görülmüştür. Kuraklık stresinde bakteri uygulamasının kuraklık stresinin olumsuz etkisini hafifletmede etkisiz kaldığı belirlenmiştir. Domateste ve biberde bakteri aşılmasının olumlu etki ettiği belirtilmiştir. İki türde de bitki boyunun bakteri aşılmasıyla arttığı belirtilmiştir [40]. Kuraklık stresinde PGPR'ın uygulanmasının bitki büyüme ve gelişimi etkilemede önemli olduğu, fitohormon ve vitamin sentezini arttırdığı, bitki etilen sentezini inhibe ettiği, besin birikimini iyileştirdiği, inorganik fosfatın çözüldürdüğü ve organik fosfatın mineralize edildiği belirtilmiştir. Hücre bölünmesi, hücre genişlemesi ve farklılaşması sonucunda bitkiler genellikle büyür. Bitki büyümesi çeşitli genetik, fizyolojik, ekolojik ve morfolojik süreçleri ve bunların etkileşimlerini içerir [41]. Domateste kuraklık stresinin (alan kapasitesinin %60 ve %40'ı sulamada) bitki boyunu kontrole kıyasla azalttığı belirtilmiştir [25]. Farklı domates genotiplerinde kuraklık stresi uygulanmasında en fazla bitki boyu azalışının %37,121 ile Ahlat, en az azalışın ise %9,348 ile Lice çeşidinde olduğu belirtilmiştir. Ayrıca Falcon çeşidinde boy azalışının %10,472 olduğu belirtilmiştir [42].

Uygulamalar arasında en düşük bitki çapının kuraklık stresi+bakteri uygulamasında Tom-29 genotipinde

görülmüştür (Tablo 3). Uygulamalar arasında bitki çapı bakımından çeşit ve genotip arasında istatistiksel farkın önemli olmadığı görülmüştür (Tablo 2, 3). Kuraklık stresi altında Falcon domates çeşidinde bitki çapının azaldığı ve bu azalışın kontrole kıyasla %18,21 olduğu, Tom-29 genotipinde ise bu azalışın kontrole kıyasla %5,75 olduğu görülmüştür (Tablo 2). Kuraklık stresi+bakteri uygulamasında Falcon çeşidinde bitki çapında azalış %16,66 iken, Tom-29 genotipinde %17,21 olduğu belirlenmiştir (Tablo 3). Farklı domates genotiplerinde kuraklık stresi uygulanmasında gövde çapı azalışının en fazla %37,35 ile H2274 çeşidinde olduğu, en az azalışın ise %5,394 ile 986 çeşidinde olduğu belirtilmiştir. Falcon çeşidinde çap azalışının %19,963 olduğu belirtilmiştir [42]. Domateste kuraklık stresinin (alan kapasitesinin %60 ve %40'ı sulamada) bitki çapını kontrole kıyasla azalttığı belirtilmiştir [25].

Yaprak sayısı bakımından çeşit ve genotip arasında farklılıkların olduğu ancak bu farklılığın istatistiksel olarak önemli olmadığı görülmüştür. Yaprak sayısının Falcon çeşidinde kuraklık stresinde azaldığı ve bu azalışın kontrole kıyasla %35,74 olduğu, kuraklık stresinde bakteri uygulamasının yaprak sayısındaki azalışı geriletmediği ve yaprak sayısındaki azalışın %31,97 olduğu belirlenmiştir (Tablo 2, 3). Tom-29 genotipinde yaprak sayısının kuraklık stresinde kontrole kıyasla %16,37 olduğu, bakteri uygulamasıyla bunun %35,67'e çıktığı yani bakteri uygulamasının yaprak sayısındaki azalışı tetiklediği görülmüştür (Tablo 2, 3). Farklı domates genotiplerinde kuraklık stresi uygulanmasının bitki de birçok parametreyi olumsuz etkilediği ve kuraklık stresinde yaprak sayısı bakımından en fazla etkilenen çeşidin Ahlat (%37,26) olduğu, en az etkilenen ise Tokat çeşidi (% 13,33) olduğu bildirilmiştir [42].

Koltuk sayısı Falcon çeşidinde kontrolde 2,83 adet bitki⁻¹ iken, Tom-29 genotipinde 2,33 adet bitki⁻¹ olduğu belirtilmiştir. Kuraklık stresinde Falcon çeşidinin koltuk sayısının 1,83 adet iken Tom-29 genotipinde 1,5 adet bitki⁻¹ olduğu belirlenmiştir (Tablo 2). Bakteri uygulamasında Falcon çeşidinde koltuk sayısı 2,83 adet bitki⁻¹ iken Tom-29 genotipinde 3,17 adet bitki⁻¹ olduğu belirlenmiştir (Tablo 3). Kuraklık stresinde bakteri uygulamasında koltuk sayısı Falcon çeşidinde 1,6 adet bitki⁻¹ olduğu, Tom-29 genotipinde 2,17 adet bitki⁻¹ olduğu belirlenmiştir. Tom-29 genotipinde koltuk sayısı bakımından bakteri uygulamasının kontrol ve kuraklık stresi koşullarında etkili olduğu belirlenmiştir. Koltuk sayısı bakımından çeşit ve genotip arasında farklılıkların istatistiksel olarak önemli olmadığı görülmüştür.

Bitki yaş ağırlığının Falcon çeşidinde kuraklık stresinde azaldığı ve bu azalışın kontrole kıyasla %59,21 olduğu, kuraklık stresinde bakteri uygulamasının azalışı az da olsa hafiflettiği ve azalış %57,70'e düştüğü belirlenmiştir (Tablo 2 ve 3). Tom-29 genotipinde bitki yaş ağırlığının kuraklık stresinde azaldığı ve bu azalış kontrole kıyasla %55,92'dir. Tom-29 genotipinde bakteri uygulamasının bitki yaş ağırlığındaki azalışı hafiflettiği ve azalış %50,62 olduğu belirlenmiştir (Tablo 2 ve 3). Bitki yaş ağırlığı bakımından çeşit ve genotip arasında farklılıkların istatistiksel olarak önemli olmadığı

görülmüştür. Yapılan çalışmada kuraklık stresinde toplam yaş ağırlığının olumsuz etkilendiği, kontrolde toplam yaş ağırlığının 46,96 gr olduğu, alan kapasitesine göre %60 sulama seviyesinde 28,69 gr ve % 40 sulama seviyesinde 18,62 gr olduğu belirtilmiştir. Alan kapasitesine göre %60 sulama seviyesinde bakteri aşılmasının toplam yaş ağırlığı kuraklık stresine kıyasla arttırdığı ve ağırlığın 35,79 gr olduğu, alan kapasitesine göre %40 sulama seviyesinde bakteri aşılmasında ise toplam yaş ağırlığın 30,16 gr olduğu belirtilmiştir [25]. Kuraklık stresi altında kuraklık stresine hassas olan genotiplerde yaş ve kuru ağırlığın tolerant genotiplere kıyasla daha fazla azaldığı belirtilmiştir [43, 44, 45]. Kuraklık stresinde domates (*Solanum lycopersicum* L.) ve biber (*Capsicum annuum* L.)'e *Achromobacter piechaduii* ARV8'in ortama eklenmesinin bitki büyümesi üzerine kuraklık stresinin olumsuz etkisinin 1-aminosiklopropan-1-karboksilik (ACC) deaminaz enzimi sayesinde azaldığı ayrıca kontrole kıyasla bitki yaş ve kuru ağırlığın arttığı bildirilmiştir [46].

Yaprak yaş ağırlığının Falcon çeşidinde kuraklık stresinde azalış gösterdiği ve bu azalışın kontrole kıyasla %59,00 olduğu, kuraklık stresinde bakteri uygulamasında bu azalışın %58,32 olduğu görülmüştür. Tom-29 genotipinde yaprak yaş ağırlığının kuraklık stresinde azaldığı ve bu azalışın kontrole kıyasla %64,72 olduğu, kuraklık stresinde bakteri uygulamasının bu azalışı hafifleterek %51,43'e düşürdüğü görülmüştür. Tom-29 genotipinde bakteri uygulamasında yaprak sayısında azalış görülmesi ile yaprak yaş ağırlığındaki artış arasında ilişki olabileceği düşünülmektedir. Çünkü yaprak sayısının az olması bitkinin bu yapıları daha fazla besleme durumunu oluşturabileceği düşünülmektedir. Kuraklık stresine hassas olan domates genotiplerinin kuraklık stresine tolerant domates genotiplerine ve kontrole kıyasla bitki yaş ve kuru ağırlığının daha düşük olduğu belirtilmiştir [47].

Falcon çeşit ve Tom-29 genotipinde gövde yaş ağırlığı bakımından kuraklık stresindeki istatistiksel farklılık %1 düzeyinde önemli bulunmuştur (Tablo 2). Gövde yaş ağırlığı Falcon çeşidinde kontrolde 79,33 g iken, Tom-29 genotipinde 67,67 g olduğu belirlenmiştir. Kuraklık stresinde Falcon çeşidinin gövde yaş ağırlığı 29,67 gr iken, Tom-29 genotipinde 45 gr olduğu belirlenmiştir (Tablo 2). Kuraklık stresi koşullarında bakteri uygulamasının domateste gövde yaş ağırlığına etkisi olduğu görülmüştür. Bakteri uygulamasında gövde yaş ağırlığı Falcon çeşidinde 71,67 gr iken, Tom-29 genotipinde 74,33 gr olduğu belirlenmiştir (Tablo 3). Kuraklık stresi+bakteri uygulamasında gövde yaş ağırlığı Falcon çeşidinde 29,33 gr olduğu, Tom-29 genotipinde 34,67 gr olduğu belirlenmiştir. Falcon çeşidinde gövde yaş ağırlığının kontrole kıyasla kuraklık stresinde %62,60 azaldığı, bakteri uygulamasına kıyasla kuraklık stresi+bakteri uygulamasında ise % 59,08 azaldığı belirlenmiştir (Tablo 2, 3). Gövde yaş ağırlığının kontrole kıyasla kuraklık stresi uygulamasında Tom-29 genotipinde %33,50 azalış gösterdiği, bu azalışın bakteri uygulamasına kıyasla kuraklık stresi+bakteri uygulamasında %53,36 olduğu belirlenmiştir (Tablo 3). Kuraklık stresinde (%60 alan

kapasitesinde sulamada) bakteri uygulamasının kontrole kıyasla domateste sürgün ağırlığını, kök ağırlığını, toplam yaş ağırlığını azalttığı belirtilmiştir. Kuraklık stresinin sürgün ağırlığı, kök ağırlığı, toplam yaş ağırlığı üzerine olumsuz etkisini azaltmada bakteri uygulamasının etkili olduğu belirtilmiştir [25].

Falcon çeşit ve Tom-29 genotipinde, kök yaş ağırlığı bakımından uygulamalar arasındaki farklılığın istatistiksel olarak önemli olmadığı görülmüştür (Tablo 2, 3). Kök yaş ağırlığı Falcon çeşidinde kontrolde 37,33 gr iken, kuraklık stresinde 22,67 olduğu belirlenmiştir. Tom-29 genotipinde kök yaş ağırlığı kontrolde 31,83 gr, kuraklık stresinde 16,67 gr olduğu belirtilmiştir. Bakteri uygulamasında Falcon çeşidinde kök yaş ağırlığı 26,33 gr iken, kuraklık stresi+bakteri uygulamasında 30 gr olduğu belirlenmiştir. Tom-29 genotipinde kök yaş ağırlığı 31,17 gr iken, kuraklık stresi+bakteri uygulamasında 24 gr olduğu belirlenmiştir. Pirinç bitkisine kurak koşullarda PGPB (Plant Growth-Promoting Bacteria) uygulamasının prolin, glisinbetain gibi ozmolit birikiminin kök büyümesini ve saçak kök oluşumu artışıyla bağlantılı olabileceği belirtilmiştir [48]. Bitkilerde kök gelişiminin bakteriler tarafında üretilen IAA'dan kaynaklanabileceği belirtilmiştir [20]. Kurak koşullarda marul bitkisine yapılan *P. mendocina* uygulamasının kurak koşulların olumsuz etkisini hafiflettiği böylece kök gelişiminin teşvik edildiği belirlenmiştir. Kökteki bu gelişim sayesinde su ve besin alınımında artış sağlanacağı belirtilmiştir [26]. Kuraklık stresinde (%40 alan kapasitesinde sulamada) bakteri uygulamasının domateste kök ağırlığını azalttığı bildirilmiştir [25].

Falcon çeşidinde yaprak alanının kuraklık stresiyile azaldığı, bu azalışın kontrole kıyasla %42,33 olduğu görülmüştür. Bakteri uygulamasının bu azalışı %25,09'a düşürdüğü görülmüştür. Tom-29 genotipinde kuraklık stresinde yaprak alanının azaldığı ve bu azalışın kontrole kıyasla %67,63 olduğu görülmüştür. Kuraklık stresi altında bakteri uygulamasının yaprak alanını kontrole kıyasla %52,90 azalttığı belirlenmiştir. Bakteri uygulamasının yaprak alanını Falcon çeşidinde ve Tom-29 genotipini olumlu etkilediği ve kuraklık stresinin olumsuz etkisini hafiflettiği belirlenmiştir. Yaprak alanı bakımından Falcon çeşit ve Tom-29 genotipi arasında istatistiksel farklılığın önemli olduğu belirlenmiştir. Domateste yaprak alanının kuraklık stresine toleransı belirlemede önemli olduğu belirtilmiştir [49]. Domateste ve biberde bakteri aşılmasının olumlu etki ettiği belirtilmiştir. İki türde de yaprak alanının arttığı belirtilmiştir [40]. Kuraklık stresinin yaprak alanını, gövde uzamasını ve kök artışını azaltabileceğini, bitki su ilişkilerini bozduğunu ve daha sonra bitki büyümesini ve verimini azaltabileceğini belirtmişlerdir [50]. Bezelyede kurak ve sulu koşullarda PGPB uygulamasının kök ve gövde ağırlığının bakteri uygulamasında daha yüksek olduğu, transpirasyon ve yaprak alanı üzerinde de etkili olduğu belirtilmiştir [51].

Kuraklık stresi altında Falcon domates çeşidinde turgor potansiyelinin azaldığı ve bu azalışın kontrole kıyasla %3,04 olduğu, Tom-29 genotipinde ise bu azalışın

kontrole kıyasla %4,70 olduğu görülmüştür. Bakteri uygulamasının kuraklık stresinde Falcon çeşidinde turgor potansiyel azalışı %5,61 iken, Tom-29 genotipinde %3,84 olduğu belirlenmiştir. Bitki turgor potansiyoneli bakımından çeşit ve genotip arasında istatistiksel farkın önemli olduğu görülmüştür. Kontrol ve kuraklık stresinde Azospirillum brasilense aşılamanın bitki su durumunun korunmasına yardımcı olabileceği ozmotik stres koşulları ile sorgum bitkilerinde kök hidrolik iletkenliğinde bir artış olduğu belirtilmiştir [52]. Yaprak su içeriğinin, turgor potansiyelinin ve stomatal iletkenliğin kuraklık stresinde azaldığı belirtilmiştir. Kuraklık stresinde yaprak su içeriğinin azalmasının nedeni su alımının azalmasına ve terlemedeki artışa bağlanmıştır [53]. Kuraklık stresinde bitki büyümesinde azalma, kuraklık stresi altında turgor basıncındaki azalmaya bağlanmıştır. Kuraklık stresinde PGPR uygulamasının yaprak su içeriğini arttırdığı ve bu artış bitki su durumunun korunmasına, stoma direncine, su kullanım verimliliği ve terleme oranını düşürmedeki rolüne bağlandığı bildirilmektedir [54]. Bitkilerde bakteri aşılmasının su stresinde fitohormon üretimini, N fiksasyonunu ve mineral alımını teşvik ettiği bilinmektedir [55, 56]. PGPB inokulasyonu yapılan bitkilerin kurak ve yarı kurak ortamda yetiştiriciliğinde kuraklığa toleransı ve su kullanım etkinliğini arttıracığı belirtilmiştir [57, 58, 59]. Dokulardaki metabolik aktivitede yer aldığı için yaprak su içeriği bitki su durumunun önemli bir göstergesi olarak bilinir. Yaprak su içeriğinde düşüş, hücre genişlemesinin sınırlanmasına ve bitkilerde büyüme azalmasına neden olan turgor kaybının belirtisi olduğu belirtilmiştir [55, 60, 61].

Yaprak su potansiyeli Falcon çeşidinde kontrolde -2,9 MPa iken, Tom-29 genotipinde -2,25 MPa olduğu belirtilmiştir. Kuraklık stresinde Falcon çeşidinin yaprak su potansiyeli -3,85 MPa iken, Tom-29 genotipinde -3,1 olduğu belirlenmiştir. Bakteri uygulamasında Falcon çeşidinde yaprak su potansiyeli -2,95 MPa iken, Tom-29 genotipinde -1,95 MPa olduğu belirlenmiştir. Kuraklık stresinde bakteri uygulamasında yaprak su potansiyeli Falcon çeşidinde -3,8 MPa olduğu, Tom-29 genotipinde -2,05 olduğu belirlenmiştir. Kuraklık stresinin yaprak su potansiyelini olumsuz etkilediği kontrole kıyasla Falcon çeşidinde negatif yönde % 32,76 artış olduğu, Tom-29 genotipinde negatif yönde %37,78 artış olduğu görülmüştür. Kuraklık stresinde bakteri uygulamasında yaprak su potansiyeli olumsuz etkilediği kontrole kıyasla Falcon çeşidinde negatif yönde %28,81 artışa, Tom-29 genotipinde negatif yönde %5,13 artışa sebep olduğu görülmüştür. Yaprak su potansiyeli bakımından çeşit ve genotip arasında istatistiksel farklılığın önemli olduğu görülmüştür. Bitkiler kuraklık stresine maruz kaldıklarında su potansiyelinde değişimler meydana gelir ve bu değişimden dolayı birçok fizyolojik olayın (gövde çapı, yaprak büyümesi, yaprak sayısı ve stomaların açılıp kapanması) doğrudan etkilenebildiği belirtilmektedir [13, 62, 63, 64]. Bitkilerde PGPB uygulamasının kök yüzeylerinde biyofilm tabakası oluşumu sağladığı belirtilmiştir [65]. Ayçiçeği fidelerine kurak koşullarda Falcon çeşidinde kontrol ve bakteri uygulamasında istatistiki değerlendirmeye göre (t testi) yaprak alanı ve SPAD parametresi dışında diğer parametrelerde fark

PGPB uygulamasının köklerde biyofilm tabakası oluşturduğu rapor edilmiştir [66]. Bu sayede organik karbon kaynaklarının düzenlenmesi ve su tutma kapasitesinin artmasıyla su stresine karşı savunma sağlandığı belirtilmiştir [67]. Bitki hücrelerindeki bölünme ve büyüme kuraklık stresinde olumsuz etkilenmekte ve azalmaktadır. Bu azalma büyüme hızında düşüş ve yaprak su potansiyelinde azalışa sebep olmaktadır [45, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74]. Su stresi çalışmasında, su stresine tolerant çeşitlerin yaprak su içeriğinin yüksek çıktığı belirtilmiştir [72]. Kontrolde yaprak su içeriğinin %88,4 olduğu, alan kapasitesine göre %60 sulama seviyesinde %70,6 ve %40 sulama seviyesinde %66,8 olduğu belirtilmiştir. Alan kapasitesine göre %60 sulama seviyesinde bakteri aşılmasının yaprak su içeriğini kuraklık stresine kıyasla %76,9 arttırdığı, alan kapasitesine göre %40 sulama seviyesinde bakteri aşılmasında ise %72,8 artış olduğu belirtilmiştir [25]. Kuraklık stresinde domates çeşitlerinde yaprak oransal su içeriğinin azaldığı belirtilmiştir. Falcon çeşidinde yaprak oransal su içeriği azalışı %19,79 olduğu belirtilmiştir [42]. Kuraklık stresine hassas olan domates genotiplerinin kuraklık stresine toleran domates genotiplerine ve kontrole kıyasla yaprak su potansiyelinin daha düşük olduğu belirtilmiştir [47].

SPAD değerinin Falcon çeşidinde kuraklık stresinde arttığı ve bu artışın kontrole kıyasla %13,32 olduğu, bakteri uygulamasının yüzde artışı azalttığı ve %0,92 olduğu görülmüştür. Tom-29 genotipinde SPAD değerinin kuraklık stresinde arttığı ve bu artışın kontrole kıyasla %7,11 olduğu görülmüştür. Tom-29 genotipinde bakteri uygulamasının bitki SPAD değerindeki artışı tetiklediği ve artışın %9,09 olduğu belirlenmiştir. Kuraklık stresinin kloroplastı olumsuz etkilediği ve bu olumsuz etkiyi hafifletmede bakteri aşılmasının etkili olduğu belirtilmiştir [75]. Fotosentez, yüksek bitkilerde meydana gelen ve doğrudan bitki biyokütle üretimiyle bağlantılı önemli bir fiziko-kimyasal süreçtir ve kuraklık stresine karşı çok hassastır [75, 76]. Kuraklık stresinin bitkilerde genellikle fotosentezde azalmaya neden olduğu ve fotosentetik özelliklerini doğrudan etkilediği bunun da fizyolojik ve biyokimyasal süreçleri etkilediği belirtilmiştir. Su stresinde fotosentetik parametrelerdeki düşüş, fotosentetik etkinliğin su stresinden güçlü bir şekilde etkilendiğinin göstergesi olabileceği belirtilmiştir. Kuraklık stresinin stomalarda yaptığı değişimlerden dolayı fotosentezi baskıladığı belirtilmiştir [75, 77]. Kuraklık stresi koşullarında stoma iletkenliğini ve terlemeyi azaltırken su kaybını azaltmak için stomalarını kapatırlar. Böylece, fotosentez stoma ile sınırlı kalmaktadır [75, 78, 79]. Kuraklık stresine hassas olan domates genotiplerinin kuraklık stresine toleran domates genotiplerine ve kontrole kıyasla klorofil içeriğinin daha düşük olduğu belirtilmiştir [47].

Ayrıca çalışmamızda uygulamalar arasında istatistiki t testi de yapılarak farklar ortaya konmuştur (Tablo 4, 5).

tespit edilmemiştir. Aynı şekilde Tom-29 genotipinde de yaprak alanı parametresi dışında diğer parametrelerde fark tespit edilmemiştir (Tablo 4). Falcon çeşidinde

kuraklık stresi ve kuraklık stresi+bakteri uygulamasında kök ağırlığında ve yaprak alanında istatistiki değerlendirmeye göre (t testi) fark tespit edilirken, diğer parametrelerde istatistiki değerlendirmeye göre (t testi) farkın önemli olmadığı görülmüştür. Tom-29

genotipinde ise yaprak su potansiyelinde istatistiki değerlendirmeye göre (t testi) fark önemli iken, diğer parametrelerde istatistiki değerlendirmeye göre (t testi) farkın önemli olmadığı belirlenmiştir (Tablo 5).

Tablo 2. Domates çeşit ve genotipinde % 100 tam sulama yapılan kontrol ve % 50 su stresi uygulama koşullarında bitki büyüme parametrelerine ve fizyolojik parametrelere etkisi

| İncelenen parametreler | Falcon | | | Tom-29 | | | LSD Kontrol uygulaması | LSD Kuraklık stresi uygulaması |
|---|--------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------------|
| | Kontrol uygulaması | Kuraklık stresi uygulaması | Kontrolle göre % değişim | Kontrol uygulaması | Kuraklık uygulama stresi | Kontrolle göre % değişim | | |
| Bitki boyu (cm) | 85,67 | 55,83 ^b | -34,83 | 76 | 73,67 ^a | -3,07 | 42,96 | 12,51* |
| Bitki çapı (mm) | 9,61 | 7,86 | -18,21 | 8,35 | 7,87 | -5,75 | 1,94 | 0,91 |
| Bitki yaş ağırlığı (g) | 226,33 | 92,33 | -59,21 | 225,33 | 99,33 | -55,92 | 64,47 | 18,81 |
| Gövde yaş ağırlığı (g) | 79,33 | 29,67 ^b | -62,60 | 67,67 | 45 ^a | -33,50 | 36,89 | 9,26** |
| Yaprak yaş ağırlığı (g) | 146,33 | 60 | -59,00 | 154 | 54,33 | -64,72 | 31,81 | 16,28 |
| Yaprak sayısı (adet bitki ⁻¹) | 22,83 | 14,67 | -35,74 | 18,33 | 15,33 | -16,37 | 5,5 | 3,16 |
| Koltuk sayısı (adet bitki ⁻¹) | 2,83 | 1,83 | -35,34 | 2,33 | 1,5 | -35,62 | 1,59 | 0,542 |
| Kök ağırlığı (g) | 37,33 | 22,67 | -39,27 | 31,83 | 19,67 | -38,20 | 13,6 | 10,52 |
| Yaprak alanı (cm ² bitki ⁻¹) | 2325,07 | 1341 ^a | -42,33 | 2922,4 | 946 ^b | -67,63 | 523,95 | 30,22* |
| Turgor (%) | 84,99 | 82,41 | -3,04 | 86,78 | 82,7 | -4,70 | 26,37 | 14,77 |
| Yaprak su potansiyeli (MPa) | -2,9 ^b | -3,85 ^b | 32,76 | -2,25 ^a | -3,1 ^a | 37,78 | 0,54* | 0,66* |
| SPAD | 45,43 | 51,48 | 13,32 | 51,65 | 55,32 | 7,11 | 6,45 | 9,12 |

* ; P < 0.05, ** ; P < 0.01, *** ; P < 0.01, LSD; Asgari önemli fark, Ö.D; Önemli değil

Tablo 3. Domates çeşit ve genotipinde % 50 su stresi uygulaması ve bakteri uygulamasının bitki büyüme parametrelerine ve fizyolojik parametrelere etkisi

| İncelenen parametreler | Falcon | | | Tom-29 | | | LSD Bakteri uygulaması | LSD Kuraklık stresi +Bakteri uygulaması |
|---|----------------------|------------------------------------|--------------------------|----------------------|------------------------------------|--------------------------|------------------------|---|
| | Bakteri uygulaması | Kuraklık stresi+Bakteri uygulaması | Kontrolle göre % değişim | Bakteri uygulaması | Kuraklık stresi+Bakteri uygulaması | Kontrolle göre % değişim | | |
| Bitki boyu (cm) | 80,17 | 52 | -35,14 | 89 | 58 | -34,83 | 24,75 | 20,51 |
| Bitki çapı (mm) | 10,09 | 8,41 | -16,66 | 8,975 | 7,43 | -17,21 | 1,39 | 1,9 |
| Bitki yaş ağırlığı (g) | 214,33 | 90,33 | -57,70 | 214,67 | 106 | -50,62 | 42,3 | 20,71 |
| Gövde yaş ağırlığı (g) | 71,67 | 29,33 | -59,08 | 74,33 | 34,67 | -53,36 | 28,77 | 11,32 |
| Yaprak yaş ağırlığı (g) | 142,33 | 59,33 | -58,32 | 140,67 | 68,33 | -51,43 | 24,99 | 12,99 |
| Yaprak sayısı (adet bitki ⁻¹) | 20,33 | 13,83 | -31,97 | 21,5 | 13,83 | -35,67 | 6,24 | 3,87 |
| Koltuk sayısı (adet bitki ⁻¹) | 2,83 | 1,67 | -40,99 | 3,17 | 2,17 | -31,55 | 2,06 | 1,1 |
| Kök ağırlığı (g) | 26,33 | 30 | 13,92 | 31,5 | 24 | -23,81 | 19,06 | 8,07 |
| Yaprak alanı (cm ² bitki ⁻¹) | 3397,44 ^a | 2545,13 ^a | -25,09 | 2399,77 ^b | 1130,21 ^b | -52,90 | 587,66** | 313,59*** |
| Turgor (%) | 85,86 | 81,04 ^b | -5,61 | 86,4 | 83,08 ^a | -3,84 | 10,31 | 5,27* |
| Yaprak su potansiyeli (MPa) | -2,95 ^a | -3,8 ^b | 28,81 | -1,95 ^a | -2,05 ^b | 5,13 | 0,800* | 0,84** |
| SPAD | 50,78 | 51,25 | 0,92 | 51,9 | 56,62 | 9,09 | 8,081 | 5,84 |

* ; P < 0.05, ** ; P < 0.01, *** ; P < 0.01, LSD; Asgari önemli fark, Ö.D; Önemli değil

Tablo 4. Domates çeşit ve genotipinde % 100 tam sulama yapılan kontrol uygulaması ve bakteri uygulamasının bitki büyüme parametrelerine ve fizyolojik parametrelere etkisi

| İncelenen parametreler | Falcon | | | | Tom-29 | | | |
|---|--------------------|--------------------|--------------------------|------------|--------------------|--------------------|--------------------------|------------|
| | Kontrol uygulaması | Bakteri uygulaması | Kontrolle göre % değişim | t-testi | Kontrol uygulaması | Bakteri uygulaması | Kontrolle göre % değişim | t-testi |
| Bitki boyu (cm) | 85,67 | 80,17 | -6,42 | 0.5177 ö.d | 76 | 89 | 17,11 | 0.4285 ö.d |
| Bitki çapı (mm) | 9,61 | 10,092 | 5,01 | 0.4269 ö.d | 8,35 | 8,975 | 7,49 | 0.4741 ö.d |
| Bitki yaş ağırlığı (g) | 226,33 | 214,33 | -5,30 | 0.6512 ö.d | 225,33 | 214,67 | -4,73 | 0.4587 ö.d |
| Gövde yaş ağırlığı (g) | 79,33 | 71,67 | -9,66 | 0.5270 ö.d | 67,67 | 74,33 | 9,84 | 0.5950 ö.d |
| Yaprak yaş ağırlığı (g) | 146,33 | 142,33 | -2,73 | 0.7994 ö.d | 154 | 140,67 | -8,66 | 0.2253 ö.d |
| Yaprak sayısı (adet bitki ⁻¹) | 22,83 | 20,33 | -10,95 | 0.1360 ö.d | 18,33 | 21,5 | 17,29 | 0.2277 ö.d |
| Koltuk sayısı (adet bitki ⁻¹) | 2,83 | 2,83 | 0,00 | 1.00 ö.d | 2,33 | 3,17 | 36,05 | 0.3411 ö.d |
| Kök ağırlığı (g) | 37,33 | 26,33 | -29,46 | 0.0756 ö.d | 31,83 | 31,5 | -1,04 | 0.9420 ö.d |
| Yaprak alanı (cm ² bitki ⁻¹) | 2325,07 | 3397,44 | 46,12 | 0.0167* | 2922,4 | 2399,77 | -17,88 | 0.0282* |
| Turgor (%) | 84,99 | 85,86 | 1,02 | 0.8934 ö.d | 82,7 | 83,085 | 0,47 | 0.9514 ö.d |
| Yaprak su potansiyeli (MPa) | -2,9 | -2,95 | 1,72 | 0.8361 ö.d | -2,25 | -2,05 | -8,89 | 0.0917 ö.d |
| SPAD | 45,43 | 50,783 | 11,78 | 0.0234* | 51,65 | 51,9 | 0,48 | 0.9368 ö.d |

* ; P < 0.05, ** ; P < 0.01, *** ; P < 0.01, LSD; Asgari önemli fark, Ö.D; Önemli değil

Tablo 5. Domates çeşit ve genotipinde % 50 su stresi uygulama koşullarında ve bakteri uygulamasının bitki büyüme parametrelerine ve fizyolojik parametrelere etkisi

| İncelenen parametreler | Falcon | | | | Tom-29 | | | |
|---|----------------------------|---|----------------------------------|------------|----------------------------|--------------------|----------------------------------|------------|
| | Kuraklık stresi uygulaması | Kuraklık stresi uygulaması+Bakteri uygulaması | Kuraklık stresine göre % değişim | t-testi | Kuraklık stresi uygulaması | Bakteri uygulaması | Kuraklık stresine göre % değişim | t-testi |
| Bitki boyu (cm) | 55,83 | 52 | -6,86 | 0.5295 ö.d | 73,67 | 58 | -21,27 | 0.2012 ö.d |
| Bitki çapı (mm) | 7,86 | 8,41 | 7,00 | 0.1617 ö.d | 7,87 | 7,43 | -5,59 | 0.2999 ö.d |
| Bitki yaş ağırlığı (g) | 92,33 | 9,33 | -89,89 | 0.7676 ö.d | 99,33 | 106 | 6,71 | 0.4961 ö.d |
| Gövde yaş ağırlığı (g) | 29,67 | 29,33 | -1,15 | 0.9190 ö.d | 45 | 34,67 | -22,96 | 0.1216 ö.d |
| Yaprak yaş ağırlığı (g) | 60 | 59,33 | -1,12 | 0.8748 ö.d | 54,33 | 68,33 | 25,77 | 0.0979 ö.d |
| Yaprak sayısı (adet bitki ⁻¹) | 14,67 | 13,83 | -5,73 | 0.5343 ö.d | 15,33 | 13,83 | -9,78 | 0.0913 ö.d |
| Koltuk sayısı (adet bitki ⁻¹) | 1,83 | 1,67 | -8,74 | 0.6109 ö.d | 1,5 | 2,17 | 44,67 | 0.1019 ö.d |
| Kök ağırlığı (g) | 22,67 | 30 | 32,33 | 0.0197* | 19,67 | 24 | 22,01 | 0.3724 ö.d |
| Yaprak alanı (cm ² bitki ⁻¹) | 1340,9742 | 2545,13 | 89,80 | 0.0003** | 945,9067 | 1130,21 | 19,48 | 0.1780 ö.d |
| Turgor (%) | 82,41 | 81,04 | -1,66 | 0.7079 ö.d | 86,78 | 86,4 | -0,44 | 0.8232 ö.d |
| Yaprak su potansiyeli (MPa) | -3,85 | -3,8 | -1,30 | 0.7177 ö.d | -3,1 | -1,95 | -37,10 | 0.0090** |
| SPAD | 51,48 | 51,25 | -0,45 | 0.8819 ö.d | 55,32 | 56,62 | 2,35 | 0.6810 ö.d |

* ; P < 0.05, ** ; P < 0.01, *** ; P < 0.01, LSD; Asgari önemli fark, Ö.D; Önemli değil

4. SONUÇ

Bakteri uygulamasının Falcon çeşidinde ve Tom-29 genotipinde bazı parametreler üzerine kontrol ve stres koşullarında olumlu etki yaparken bazı parametrelerde

azalışa neden olduğu görülmüştür. Kontrol koşullarında Falcon çeşidinde bakteri uygulanmasının bitki uzunluğunu, bitki çapını, bitki yaş ağırlığını, gövde yaş ağırlığını, yaprak yaş ağırlığını, kök yaş ağırlığını ve yaprak sayısını düşürdüğü, yaprak alanını, turgor

potansiyelini ve SPAD değerini arttırdığı belirlenmiştir. Kuraklık stresi altında Falcon çeşidine bakteri uygulanmasının bitki çapı, kök yaş ağırlığı ve yaprak alanı parametrelerini olumlu etkilediği, kuraklık stresinin bu parametrelere olan olumsuz etkisini azalttığı belirlenmiştir. Kontrol koşullarında Tom-29 genotipinde bakteri uygulanmasının bitki boyu, bitki çapı, gövde yaş ağırlığı, yaprak sayısı, yaprak su potansiyeli ve SPAD değerinde artış sağladığı diğer parametrelerde ise azalışa neden olduğu belirlenmiştir. Kuraklık stresi altında Tom-29 genotipine bakteri uygulamasının bitki yaş ağırlığı, yaprak yaş ağırlığı, kök yaş ağırlığı, yaprak alanı, yaprak su potansiyeli, turgor ve SPAD değerinde artış sağladığı kuraklık stresinin bu parametrelere olan olumsuz etkisini bakteri uygulamasının azalttığı görülmüştür. Kontrol koşullarında Tom-29 genotipinde bakteri uygulamasının bitki boyu, bitki çapı, gövde yaş ağırlığı, yaprak sayısı, turgor potansiyeli, yaprak su potansiyeli ve SPAD değerini arttırdığı görülmüştür. Yapılan bu çalışma ile bakteri uygulamasının kuraklık stresinin olumsuz etkisini azaltmada kullanılabilme olanaklarının daha ayrıntılı araştırılması, farklı bakteri türlerinin, domates çeşit ve genotiplerinin denenmesinin daha sonraki yapılacak çalışmalar için faydalı olabileceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Cui J, Shao G, Lu J, Keabetswe L, Hoogenboom G. Yield, quality and drought sensitivity of tomato to water deficit during different growth stages. *Sci. agric.* 2020;7(2):e20180390.
- [2] Nangare DD, Singh Y, Kumar PS, Minhas PS. Growth, fruit yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as affected by deficit irrigation regulated on phenological basis. *Agric Water Manag.* 2016;171:73-79.
- [3] Shi J, LeMaguer M. Lycopene in tomatoes: chemical and physical properties affected by food processing. *Crit. Rev. Food Sci. Technol.* 2000;40(1):1-42.
- [4] Dere S, Daşgan HY. Effect of waterlogging on three different tomato genotypes. 2th International Mersin symposium, 2019. Mersin;2003.p.145-158.
- [5] Shao GC, Deng S, Liu, N, Wang MH, She, DL. Fruit quality and yield of tomato as influenced by rain shelters and deficit irrigation. *J Agr Sci Tech-Iran.* 2015;17:691-704.
- [6] Shao HB, Chu LY, Jaleel CA, Manivannan P, Panneerselvam R, Shao MA. Understanding water deficit stress-induced changes in the basic metabolism of higher plants-biotechnologically and sustainably improving agriculture and the ecoenvironment in arid regions of the globe. *Crit. Rev. Biotechnol.* 2009;29(2):131-151.
- [7] Anjum SA, Wang LC, Farooq M, Hussain M, Xue LL, Zou CM. Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. *J Agron and Crop Sci.* 2011a;97(3):177-185.
- [8] Topcu S, Kirda C, Dasgan Y, Kaman H, Cetin M, Yazici A, Bacon MA. Yield response and N-fertiliser recovery of tomato grown under deficit irrigation. *Eur J Agron.* 2007;26(1):64-70.
- [9] Anjum SA, Xie XY, Wang LC, Saleem MF, Man C, Lei W. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *Afr. J. Agric. Res.* 2011b;6(9):2026-2032.
- [10] Saba J, Moghaddam M, Ghassemi K, Nishabouri MR. Genetic properties of drought resistance indices. *J Agr Sci Tech-Iran.* 2001;3(1): 43-49.
- [11] Villalobos MA, Bartels D, Iturryinga G. Stress tolerance and glucose insensitive phenotypes in Arabidopsis overexpressing the CpMYB10 transcription factor gene. *J Plant Physiol.* 2004;135(1):309-324.
- [12] Farooq M, Wahid A, Kobayashi N, Fujita D, Basra SMA. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agron. Sustain. Dev.* 2009;29:185-212.
- [13] Asraf M, Foolad MR. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environ. Exp. Bot.* 2007;59(2):206-216.
- [14] Nam M. Patates çeşitlerinin yüksek sıcaklık stresine toleranslarının büyüme ve verim parametreleri ile hücre zarı stabilitesi yöntemine göre 52 belirlenmesi [Yüksek Lisans Tezi]. Hatay: Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü; 2010.
- [15] Amira MS, Qados A. Effect of salt stress on plant growth and metabolism of bean plant *Vicia faba* L. *J. Saudi Soc. Agric. Sci.* 2011;10:7-15.
- [16] Ors S, Ekinci M. Kuraklık stresi ve bitki fizyolojisi. *Derim.* 2015;32(2);237-250.
- [17] Li Y, Li H, Li Y, Zhang S. Improving water-use efficiency by decreasing stomatal conductance and transpiration rate to maintain higher ear photosynthetic rate in drought-resistant wheat. *Crop J.* 2017;5(3):231-239.
- [18] Marasco R, Rolli E, Ettoumi B, Vigani G, Mapelli F, Borin S, Zocchi G. A drought resistance-promoting microbiome is selected by root system under desert farming. *Plos.* 2012;7(10):e48479.
- [19] Marulanda A, Azcón R, Chaumont F, Ruiz-Lozano JM, Aroca R. Regulation of plasma membrane aquaporins by inoculation with a *Bacillus megaterium* strain in maize (*Zea mays* L.) plants under unstressed and salt-stressed conditions. *Planta.* 2010;232(2):533-543.
- [20] Marulanda A, Barea JM, Azcón R. Stimulation of plant growth and drought tolerance by native microorganisms (AM fungi and bacteria) from dry environments: mechanisms related to bacterial effectiveness. *J Plant Growth Regul.* 2009;28(2):115-124.
- [21] Weller DM, Thomashow LS. Current challenges in introducing beneficial microorganisms into the rhizosphere. In: o0 gara f, dowling d, boesten n (eds) molecular ecology of rhizosphere microorganisms biotech and release of GMOs. New York:Wiley Digital Archives; 1994. p. 1-18.
- [22] Glick BR. The enhancement of plant growth by free-living bacteria. *Can J Microbiol.* 1995;41(2):109-117.

- [23] Probanza A, Lucas JA, Acero N, Gutierrez-Manñero FS. (1996). The influence of native Rhizobacteria on European alder (*Alnus glutinosa* (L.) (Gaerth)) growth. *Plant Soil*. 1996;164:213–219.
- [24] Forchetti G, Masciarelli O, Alemano S, Alvarez D, Abdala G. Endophytic bacteria improve seedling growth of sunflower under water stress, produce salicylic acid, and inhibit growth of pathogenic fungi. *Curr Microbiol*. 2010;61(6):485–493.
- [25] Ullah U, Ashraf M, Shahzad SM, Siddiqui AR, Piracha MA, Suleman M. Growth behavior of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under drought stress in the presence of silicon and plant growth promoting rhizobacteria. *Soil Environ*. 2016;35(1):65–75.
- [26] Kohler J, Hernández JA, Fuensanta Caravaca F, Roldán A. Plant-growth-promoting rhizobacteria and arbuscular mycorrhizal fungi modify alleviation biochemical mechanisms in waterstressed plants. *FPB*. 2008;35(2):141-151.
- [27] Casanovas E, Barassi C, Sueldo R. Azospirillum inoculation mitigates water stress effect in maize seedlings. *Cereal Res Comm*. 2002;30:343–350.
- [28] Creus CM, Sueldo RJ, Barassi CA. Water relations and yield in Azospirillum-inoculated wheat exposed to drought in the field. *Can J Bot*. 2004;82(2):273–281.
- [29] Schröder FG, Lieth JH. Irrigation control in hydroponics. In: Savvas D, Passam P (Eds) hydroponic production of vegetables and ornamentals. Greece: Embryo Publications;2002.p. 263-269.
- [30] Dere S, Coban A, Akhoundnejad Y, Ozsoy S, Daşgan HY. Use of mycorrhiza to reduce mineral fertilizers in soilless melon (*Cucumis melo* L.) cultivation. *Not Bot Horti Agrobo*. 2019;47(4):1331-1336.
- [31] Yılmaz, M. Topraksız biber yetiştiriciliğinde mikoriza ve bakteri biyogübreleri kullanılarak mineral gübrelerin azaltılması [yüksek lisans tezi]. Adana: Çukurova Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü; 2020.
- [32] Altuntaş O, Daşgan HY, Akhoundnejad Y, Kutsal IK. Does Silicon Increase The Tolerance Of A Sensitive Pepper Genotype To Salt Stress?. *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus*. 2020;19(2):87-96.
- [33] Yasemin S, Köksal N, Özkaya A, Yener M. Growth and physiological responses of 'Chrysanthemum paludosum' under salinity stress. *J. Biol. Environ. Sci*. 2017;11(32):59-66.
- [34] Dere S. Domateste besin özellikleri ve kalitenin kuraklığa dayanıklılıkla artırılması [doktora tezi]. Adana: Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü; 2019.
- [35] Akhoundnejad Y, Daşgan HY. Effect of different irrigation levels on physiological performance of some drought tolerant melon (*Cucumis melo* L.) genotypes. *App Eco Environ Res*. 2019;17(4):9997-10012.
- [36] Daşgan HY, Kuşvuran Ş, Abak K, Sarı N. Screening and saving of local vegege tarımsal araştırma enstitüsübles for their resistance todrought and salinity. UNDP Project Final Report;2010.
- [37] Sanchez FJ, Andres EF, Tenorio JL, Ayerbe L. 2004. Growth of Epicotyls, Turgor Maintenance and Osmotic Adjustment in Pea Plants (*Pisum sativum* L.) Subjected to Water Stres. *Field Crops Res*. 2004;86(1):81-90.
- [38] Türkan İ, Bor M, Özdemir F, Koca H. Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant *P. acutifolius* Gray and drought-sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress. *Plant Sci*. 2005;168(1): 223-231.
- [39] Jump. Version 7.0, Statistical software, 2007.
- [40] Lucas García JA, Probanza A, Ramos B, Ruiz Palomino M, Gutiérrez Mañero FJ. Effect of inoculation of *Bacillus licheniformis* on tomato and pepper. *Agronomie*. 2004;24(4):169–176.
- [41] Lucy M, Reed E, Glick BR. Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria. *Anton Leeuw Int J G*. 2004;86(1):1-25.
- [42] Alp Y, Kabay T. Kuraklık stresinin yerli ve ticari domates çeşitlerinde bazı fizyolojik parametreler üzerine etkileri. *YYÜ Tar Bil Derg*. 2017;22(2):86-96.
- [43] Leskovar DI, Cantliffe DJ (1992). Pepper seedling growth response to drought stress and exogenous abscisic acid. *J Am Soc Hortic Sci*. 1992;117(3):389-393.
- [44] Khan SH, Khan A, Litaf U, Shah AS, Khan MA. Effect of drought stress on tomato cv. Bombino. *J Food Process Technol*. 2015;6(7):1-6.
- [45] Zhou R, Yu X, Ottosen CO, Rosenqvist E, Zhao L, Wang Y, Wu Z. Drought stress had a predominant effect over heat stress on three tomato cultivars subjected to combined stress. *BMC Plant Biol*. 2017;17(1):24.
- [46] Mayak S, Tirosh T, Glick BR. Plant Growth-promoting bacteria that confer resistance to water stress in tomatoes and pepper. *Plant Science*. 2004;166(2):525-530.
- [47] Kıran S, Özkay F, Kuşvuran Ş, Ellialtıoğlu ŞŞ. Tuz stresine tolerans seviyesi farklı domates genotiplerinin kuraklık stresi koşullarında bazı özelliklerinde meydana gelen değişimler. *Jafag*. 2014;31(3):41-48.
- [48] Yuwono T, Handayani D, Soedarsono J. The role of osmotolerant rhizobacteria in rice growth different drought conditions. *Aust J Agric Res*. 2005;56(7):715-721.
- [49] Kıran S, Kuşvuran Ş, Özkay F, Ellialtıoğlu ŞŞ. Domates, patlıcan ve kavun genotiplerinin kuraklığa dayanım durumlarını belirlemeye yönelik olarak incelenen özellikler arasındaki ilişkiler. *Nevşehir bilim teknol. derg*. 2015;4(2):9-9.
- [50] Earl H, Davis, R.F. Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. *Agron. J*. 2003;95(3):688-696.
- [51] Dodd IC, Belimov AA, Sobeih WY, Safronova VI, Grierson D, Davies WJ. Will modifying plant ethylene status improve plant productivity in water-limited environments?. 4th international crop

- science congress; 2004. Australia: Australian Society of Agronomy Inc; 2004. p. 510.
- [52] Sarig S, Okon Y, Blum A. Effect of *Azospirillum brasilense* inoculation on growth dynamics and hydraulic conductivity of Shorgum bicolor roots. *J. Plant Nutr.* 1992;15:805-819.
- [53] Egilla JN, Davies Jr FT, Boutton TW. Drought stress influences leaf water content, photosynthesis, and water-use efficiency of *Hibiscus rosa-sinensis* at three potassium concentrations. *Photosynthetica.* 2005;43:135-140.
- [54] Taiz L, Zeiger E. *Bitki fizyolojisi*. Ankara: Palme Yayıncılık; 2006.
- [55] Castillo P, Escalante M, Gallardo M, Alemano S, Abdala G. Effects of bacterial single inoculation and co-inoculation on growth and phytohormone production of sunflower seedlings under water stress. *Acta Physiol Plant.* 2013;35:2299-2309.
- [56] Dodd IC, Pe'rez-Alfocea F. Microbial amelioration of crops salinity stress. *J Exp Bot.* 2012;63:3415-3428.
- [57] Heidari M, Golpayegani A. Effects of water stress and inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on antioxidant status and photosynthetic pigments in basil (*Ocimum basilicum* L.). *J. Saudi Soc. Agric. Sci.* 2012;11(1):57-61.
- [58] Gururani MA, Upadhyaya CP, Baskar V, Venkatesh J, Nookaraju A, Park SW. Plant growth-promoting rhizobacteria enhance abiotic stress tolerance in *Solanum tuberosum* through inducing changes in the expression of ROS scavenging enzymes and improved photosynthetic performance. *J. Plant Growth Regul.* 2013;32:245-258.
- [59] Marcinska I, Czyczyło-Mysza I, Skrzypek E, Filek M, Grzesiak S, Grzesiak MT, Janowiak F, Hura T, Dziurka M, Dziurka K, Nowakowska A, Quarrie SA. Impact of osmotic stress on physiological and biochemical characteristics in droughtsusceptible and drought-resistant wheat genotypes. *Acta Physiol. Plant.* 2013;35(2):451-461.
- [60] Ashraf M. Inducing drought tolerance in plants: some recent advances. *Biotechnol Adv.* 2010;28:169-183.
- [61] Lu GH, Ren DL, Wang XQ, Wu JK, Zhao MS. Evaluation on drought tolerance of maize hybrids in China. *J. Maize Sci.* 2010;3:20-24.
- [62] Blum K, Lohmann B, Taute E. Angular distribution and polarisation of Auger electrons. *J. Phys. B: At. Mol. Phys.* 1986;19(22):3815.
- [63] Özer H, Karadoğan T, Oral E. Bitkilerde su stresi ve dayanıklılık mekanizması. *Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg.* 1997;28(3):488-495.
- [64] Güneri Bağcı E. Nohut çeşitlerinde kuraklığa bağlı oksidatif stresin fizyolojik ve biyokimyasal parametrelerle belirlenmesi [doktora tezi]. Ankara: Ankara üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi; 2010.
- [65] Potts M. Desiccation tolerance of prokaryotes. *Microbi Rev.* 1994;58:755-805.
- [66] Sandhya V, Ali Sk Z, Grover M, Reddy G, Venkateswarlu B. Alleviation of drought stress effects in sunflower seedlings by the exopolysaccharides producing *pseudomonas putida* strain GAP-P45. *Biol Fertil Soils.* 2009;46(1):17-26.
- [67] Chenu C, Roberson EB. Diffusion of glucose in microbial extracellular polysaccharide as affected by water potential. *Soil Biol. Biochem.* 1996;28(7):877-884.
- [68] Lawlor DW, Cornic D. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant Cell Environ.* 2002;25(2):275-294.
- [69] Capell T, Bassie L, Christou P. Modulation of the polyamine biosynthetic pathway in transgenic rice confers tolerance to drought stress. *Pnas.* 2004;101(26):9909-9914.
- [70] Altunlu H. Aşılamanın domateste kuraklık stresine etkileri [doktora tezi]. İzmir: Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü; 2011.
- [71] Çakmakçı R. Stres kosullarında ACC deaminaze üretici bakteriler tarafından bitki gelişiminin teşvik edilmesi. *Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg.* 2009;40(1):109-125.
- [72] Sanchez-Rodriguez E, Rubio-Wilhelmi M, Cervilla LM, Blasco B, Rios JJ, Rosales MA, Ruiz JM. Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. *Plant Science.* 2010;178(1):30-40.
- [73] Mohawesh O. Utilizing deficit irrigation to enhance growth performance and water-use efficiency of eggplant in arid environments. *J Agr Sci Tech-Iran.* 2016;18(1):265-276.
- [74] Visentin I, Vitali M, Ferrero M, Zhang Y, Ruyter-Spira C, Novák O, Cardinale F. Low levels of strigolactones in roots as a component of the systemic signal of drought stress in tomato. *New Phytol.* 2016;212(4):954-963.
- [75] Zhanga, W., Xiea, Z., Zhanga, X., Langc, D., Zhang, X., 2019. Growth-promoting bacteria alleviates drought stress of *G. uralensis* through improving photosynthesis characteristics and water status. *J Plant Interact.* 2019;14(1):580-589.
- [76] Yang PM, Huang QC, Qin GY, Zhao SP, Zhou JG. Different drought-stress responses in photosynthesis and reactive oxygen metabolism between autotetraploid and diploid rice. *Photosynthetica.* 2014;52(2):193-202.
- [77] Zhang L, Zhang L, Sun J, Zhang Z, Ren H, Sui X. Rubisco gene expression and photosynthetic characteristics of cucumber seedlings in response to water deficit. *Sci Hortic.* 2013;161:81-87.
- [78] De Mezer M, Turska-Taraska A, Kaczmarek Z, Glowacka K, Swarcewicz B, Rorat T. Differential physiological and molecular response of barley genotypes to water deficit. *Plant Physio Biochem.* 2014;80:234-248.
- [79] Flexas J, Medrano H. Drought inhibition of photosynthesis in C3 plants: stomatal and non-stomatal limitations revisited. *Ann Bot.* 2002;89(2):183-189.



Hematit Mineralli Polimer Kompozitlerin Mekanik Özellikleri

Hasan POLAT^{1*}, Meral OLTULU²

¹ Bingöl Üniversitesi, Teknik bilimler MYO, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Bingöl, Türkiye

² Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye

Hasan POLAT ORCID No 0000-0003-1521-0695

Meral OLTULU ORCID No: 0000-0002-3779-6888

*Sorumlu yazar: hpolat@bingol.edu.tr

(Alınış: 26.10.2020, Kabul: 29.04.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Anahtar Kelimeler
 Polimer
 kompozitler,
 Basınç dayanımı,
 Hematit minareli,
 Mekanik
 özellikler

Öz: Ülkemizin önemli yer altı kaynaklarından biri olan hematit minerali için alternatif bir kullanım alanı oluşturmak ve polimer matrisin özelliklerini iyileştirmek amacıyla polimer matrisine ağırlıkça farklı oranlarında (%0, 10, 20, 30 ve 40) hematit minerali (Fe₂O₃) eklenerek polimer kompozit malzeme grupları hazırlanmıştır. Üretilen polimer kompozit numuneler uygun koşullarda kür edildikten sonra, numuneler üzerinde birim hacim ağırlık, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, birim hacim ağırlık ve ultrases geçiş hızı değerlerinde hematit minerali oranının artmasıyla artış gözlemlenmiştir. Ayrıca basınç dayanımı değerleri incelendiğinde %10 hematit minerali oranında artış gözlemlenirken diğer oranlarda azalma meydana gelmiştir.

Mechanical Properties of Hematite Mineral Polymer Composites

63

Keywords
 Polymer composite,
 Compressive
 strength,
 Hematite mineral,
 Mechanical
 properties

Abstract: In order to create an alternative usage area for hematite mineral, one of the important underground resources of our country, and to improve the properties of the polymer matrix Polymer composite material groups were prepared by adding hematite mineral (Fe₂O₃) in different proportions (0, 10, 20, 30 and 40%) by weight to the polymer matrix. After the polymer composite samples were cured under suitable conditions, unit volume weight, ultrasound velocity, compressive strength and bending strength tests were performed on the samples. According to the results, an increase was observed in unit volume weight and ultrasound velocity values with the increase of hematite mineral ratio. In addition, when the compressive strength values were examined, an increase was observed up to 10% hematite mineral, while a decrease was observed in other rates.

1. GİRİŞ

Dünya çapında en yaygın kullanılan yapı malzemesi, düşük maliyeti, uygulama kolaylığı ve yüksek basınç dayanımı sayesinde geleneksel Portland-çimentolu betondur [1-3]. Öte yandan, portland-çimentolu beton düşük eğilme ve çekme mukavemeti, yüksek geçirgenlik ve düşük kimyasal direnç gibi özelliklerinden dolayı bazı dezavantajlara sahiptir [4-5]. Ayrıca çimento, bağlayıcı malzeme olarak günümüzde en çok kullanılan malzeme olmasına rağmen dünyadaki CO₂ emisyonunun yaklaşık %5-8'inden sorumlu olduğundan çimento üretiminde düşük sağlama çevresel açıdan tercih edilmektedir [6].

Bu nedenlerden dolayı özellikle mukavemet ve dayanıklılığı arttırmak, bakım ve onarım işlerini hızla

bitirmek ve inşaat alanında yapı malzemelerini geliştirmek amacıyla uygulamalarda polimer kompozitler kullanılmaya başlanmıştır [7-8]. Polimer kompozitlerin geleneksel Portland çimentolu betona göre çok sayıda avantajı vardır. Yüksek mukavemet ve dayanıklılık, üstün kimyasal direnç, çok hızlı kürlenme özellikleri, düşük büzülme, geliştirilmiş kırılma tokluğu ve agrega ile yüksek aderans gibi özelliklerinden dolayı normal betona göre kullanımı giderek artmaktadır [9-11]. Polimer kompozitler, inşaat endüstrisinde polimer modifiyeli beton (PMB), polimer beton (PB) ve polimer emdirilmiş beton (PEB) olmak üzere üç farklı biçimde kullanılmaktadırlar [12-14].

PMB, PB ve PEB kullanımı son 20 yılda önemli ölçüde artmıştır. Ancak, son zamanlarda çalışmalar termoset polimerin (örneğin epoksi, polyeester) beton için yapışkan

matris olarak çimentonun yerini aldığı PB üretimine odaklanmıştır [15]. PB, belirli oranlarda sertleştirici ve hızlandırıcı ilave edildikten sonra dolgu malzemesi ve polimer bağlayıcı (reçine) polimerizasyonu ile elde edilen kompozit bir malzemedir [16]. Polimer kompozitler köprü zemin kaplaması, beton çatlak onarımı, kaldırım kaplamaları, tehlikeli atık konteynerleri, atık su boruları ve dekoratif yapı panelleri gibi bir dizi inşaat ve yapısal uygulamada kullanılmaktadır [17-20]. Son yirmi yılda PB'nin farklı alanlarda kullanımı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi konularında birçok araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalar; örneğin %10 oranında uçucu kül eklenmesi ile PB'nin basınç dayanımının %30 arttığı [21], geri dönüştürülmüş polimerin polimer betonda kullanımı ile sünme davranışının iyileştirildiği [22], Gaz beton atıklarının %20 oranında, mermer minerali atığının %30 oranında kullanılmasıyla basınç dayanımının arttığı [23], andezit mineralinin %10 oranında kullanılmasıyla polimer betonun basınç dayanımının iyileştirildiği [24].

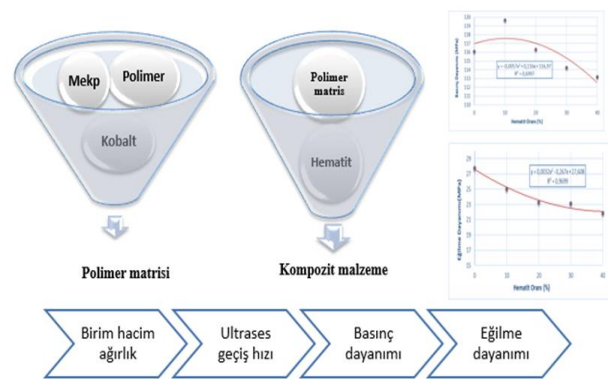
Literatürdeki çalışmalarda faz malzemelerini özellikle atık minerallerden seçmek ve minerallerin yapı malzemelerinde kullanımı ile ek değerlendirilme alanları oluşturmak tercih edilmektedir. Bu maksatla değerlendirilecek malzemelerden biri de hematit mineralidir. Ülkemizdeki demir içerikli minerallerden başlıcaları; manyetit (Fe_3O_4), hematit (Fe_2O_3), limonit ($2Fe_2O_3 \cdot 2H_2O$), götit ($Fe_2O_3 \cdot H_2O$) ve siderit ($FeCO_3$)'tir. 2016 verilerine göre demir cevheri üretimi yaklaşık 70 milyon ton civarındadır. Önemli bir demir cevheri olan hematit, hidrotermal damarlarda ve magmatik kayalarda aksesuar minerali olarak bulunabilir. Volkanik kayalarda, birçok metamorfik kayada, kontakt metamorfik yataklarda, birincil veya ikincil olarak sedimanter kayalarda yaygın olarak oluşabilir. Ülkemizin en büyük demir cevheri işletmesi Sivas (Divriği)'tadır. Bu işletmede yoğun olarak hematit cevheri üretilmektedir [25]. Hematit cevherinin, kozmetikte ve boya endüstrisinde, çimento sektöründe ve yüksek birim ağırlığından dolayı radyasyon zıhlama işlemlerinde kullanımıyla ilgili yoğun çalışmalar bulunmaktadır [26-30].

Fakat polimer malzemenin içerisinde kullanımı ile çok sınırlı çalışma vardır. Çalışmalar incelendiğinde özellikle radyasyon zıhlama ile alakalı yapılan çalışmaların çoğunda mekanik özelliklerinin incelenmediği görülmüştür.

Yapılan bu çalışmada ülkemizin önemli yer altı kaynaklarından biri olan hematit mineralinin, literatürde kullanılan başka faz malzeme oranlarına dayanarak bağlayıcı olan doymamış polyester reçineye %0, 10, 20, 30 ve 40 oranlarında eklenip kompozitlerin mekanik özelliklerinin araştırılması hedeflenmiştir. Bu bağlamda hematit minerali kullanılarak farklı bir polimer kompozit malzeme elde etmek, mekanik özelliklerini incelemek ve bu minerale farklı bir kullanım alanı sağlamak çalışmanın temel amacı olarak belirlenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Hematit minerali Malatya Hekimhan madencilikten temin edilmiştir. Kimyasal formülü Fe_2O_3 ve özgül ağırlığı $5.26 - 6.20 \text{ gr/cm}^3$ arasındadır. Gerçekleştirilen bu çalışmada Polipol 314 dolgu tipi polyester reçine kullanılmıştır. Birim ağırlığı 1.113 gr/cm^3 dür. Sertleştirici olarak MEKP (metil etil keton peroksit) kullanılmıştır. MEKP kobalt hızlandırıcısı ile birlikte reçinelerin kürlenmesi için uygundur. Hızlı jelleşme ve kürleşme özelliğine sahiptir. Birim ağırlığı 1.17 gr/cm^3 dür. Kobalt; hızlandırıcı olarak doymamış polyester reçinelerin oda sıcaklığında kürlenmesi için kullanılmıştır. Birim ağırlığı 0.92 gr/cm^3 dür. Çalışmada kullanılan malzemeler ve deneysel plan Şekil 1'de verilmiştir.



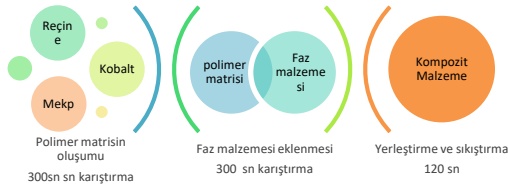
Şekil 1. Çalışmada kullanılan malzemeler ve deneysel planı

Mekp (metil etil keton peroksit) ve kobalt kullanım oranlarını belirlemek için literatürdeki çalışmalar göz önüne alınmıştır [31-32]. Yapılan deneysel çalışmada doymamış polyester reçinenin % oranlarında Mekp ve Kobalt eklenerek yapılmış olup elde edilen sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir. Farklı Mekp ve kobalt oranları kullanılarak elde edilen numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı verileri incelendiğinde, en yüksek basınç dayanımı değeri %1 Mekp oranı + %0,2 kobalt oranı kullanılarak üretilen numunelerden elde edilmiş olup yapılan bu çalışmada belirlenen Mekp ve kobalt oranları kullanılmıştır.

Tablo 1. Mekp ve Kobalt Oranları

| Mekp Oranı | Basınç Dayanımı- (0,2 kobalt) | Basınç Dayanımı- (0,5 kobalt) |
|------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 0,5 | 104,07 | 76,2 |
| 0,8 | 109,11 | 80,34 |
| 1 | 110,15 | 80,74 |
| 1,3 | 103,23 | 78,4 |

Eklenen faz malzeme doymamış polyester reçinenin ağırlıkça %10, 20, 30 ve 40'ı oranlarında eklenerek polimer kompozit numuneler elde edilmiş olup üretim metodolojisi Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Polimer kompozit numune üretim yöntemi [24]

Şekil 2’de polimer kompozit numunelerin üretim yönteminde gösterildiği gibi, birinci aşamada doymamış polyester reçine içerisine, reaksiyonu tamamlaması için sertleştirici olarak MEKP ve hızlandırıcı olarak organik peroksit (Kobalt) eklenerek polimer matris oluşturulmuştur. Faz malzemesinin yüksek birim ağırlığından dolayı polimer matris içerisinde çökme yapmasını engellemek ve homojen karışım elde etmek için polimer matrisi 300sn süreyle karıştırıldı. Oluşan polimer matrisine faz malzeme eklenerek polimer kompozit numuneler elde edildi. Polimer kompozitlerden her bir grup için 3 tane 5×5×5 cm’lik küp numuneler ve 3 tane 4×4×16 cm’lik numuneler üretilmiş, 28 gün oda sıcaklığında kürede bırakılmıştır. 28. gün sonunda birim ağırlık, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır.

3. BULGULAR

Yapılan çalışma sonucunda üretilen kompozit numunelerin bazı fiziko-mekanik, (BHA, Ultrases Geçiş Hızı, Basınç, Eğilme Dayanımı) özellikleri incelenmiş olup, elde edilen veriler ve kontrol numunesine göre değişimleri Tablo 3’de verilmiştir.

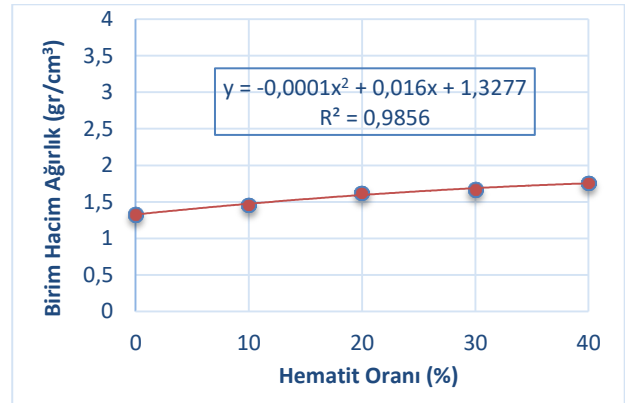
Tablo 3: Deney Verileri ve Kontrol Numunesine Göre Değişimleri

| Kod | B.H.A(gr/cm ³)/Değişim değerleri (%) | Ultrases Geçiş Hızı (km/sn) Değişim Değerleri (%) | Basınç Dayanımı (MPa)/Değişim Değerleri(%) | Eğilme Dayanımı (MPa)/ Değişim Değerleri(%) |
|-----|--|---|--|---|
| H0 | 1,332/ 0 | 2,79/ 0 | 116,06/ 0 | 27,77/ 0 |
| H10 | 1,456/ 9,3 | 2,85/ 2,2 | 119,63/ 3,1 | 25,04/ -9,8 |
| H20 | 1,624/ 21,9 | 2,86/ 2,5 | 116,3/ 0,2 | 23,25/ -16,3 |
| H30 | 1,667/ 25,1 | 2,88 / 3,2 | 114,22/ -1,6 | 23,13/ -16,7 |
| H40 | 1,760/ 32,1 | 2,96/ 6,1 | 113,18/ -2,5 | 21,82/ -21,43 |

3.1. Birim Hacim Ağırlık Deney Sonuçları

Birim hacim ağırlık deneyi TS EN 1015-10 (2001) [33]’ye göre yapılmış olup Şekil 3’te polimer kompozitlerin birim hacim ağırlık değerleri verilmiştir. Bu değerler incelendiğinde grupların birim hacim ağırlık değerleri Hematit minerali oranı arttıkça artış göstermektedir. Artış oranı %7,3-%27 arasında değişmektedir. Kullanılan hematit mineralinin özgül ağırlığının, matris malzemenin özgül ağırlığından yüksek

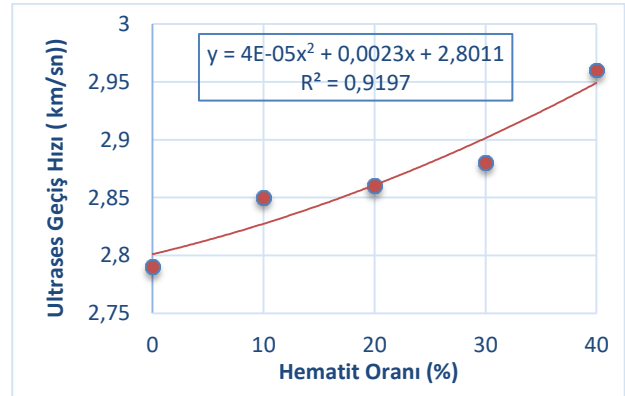
olmasından dolayı elde edilen sonuçlar zaten beklenen bir durum olarak gözlemlenmiştir.



Şekil -3. Birim Hacim Ağırlık Değerleri

3.2. Ultrases geçiş hızı deney sonuçları

Ultrases geçiş hızı deneyi ASTM C 597, (1997) [34]’e göre yapılmış olup, faz malzemesi oranının ultrases geçiş hızı değerleri üzerindeki etkisi Tablo 2’de ve Şekil 4’de gösterilmiştir. Faz malzeme oranına bağlı olarak ultrases geçiş hızı değerlerinde artış elde edilmiştir. Artış değerleri incelendiğinde en yüksek ultrases geçiş hızı değerinin %40 hematit minerali katkılı numunelerden elde edildiği ve kontrol numunesine göre %6,1 oranında değişim olduğu gözlemlenmiştir



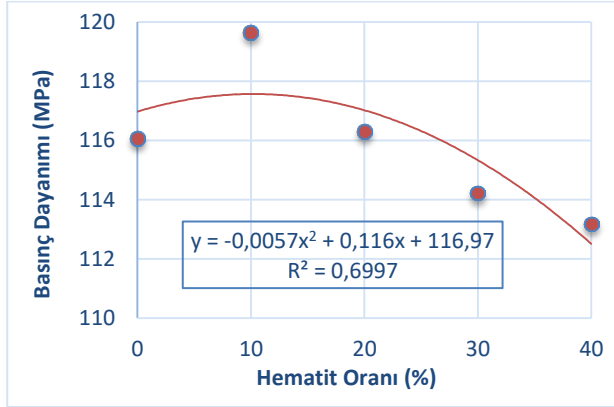
Şekil 4. Ultrases geçiş hızı değerleri

3.3. Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

Basınç dayanımı deneyi TS EN 12390-3 (2010) [35]’e göre yapılmış olup elde edilen deney sonuçları Şekil 5’de verilmiştir. Mekanik özellikler açısından %10 hematit içeren polimer kompozit numunelerde en yüksek basınç dayanımı elde edilirken (%3 artış) en düşük değerler H40 (%2,5 azalma) numunelerinden elde edilmiştir. Kontrol numunesine göre gruplarda azalma miktarı yaklaşık olarak %2,5-3 arasında değişmektedir. Bu sonuç aslında mineralin uygun optimum oran değerinde kullanıldığında basınç dayanımını az da olsa artırdığı böylelikle mekanik özellikleri de iyileştireceğini göstermektedir.

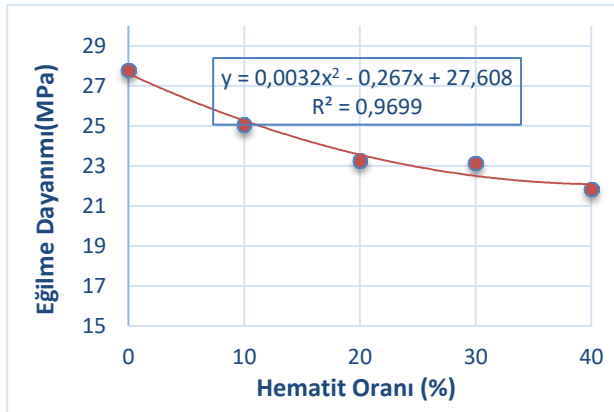
Basınç dayanımı ve ultrases hızı arasında çimentolu kompozitlerden farklı bir ilişki olduğu belirlenmiş olup ultrases geçiş hızı değerleri tüm hematit minerali

oranında artış gösterirken, basınç dayanımı değerleri sadece %10 hematit minerali oranında artış göstermiştir. Üretim aşamasında faz malzeme doymamış polyester reçineye farklı yüzdesel oranlarda ikame edilerek kullanılmış, faz malzemesinin yüksek birim hacim ağırlığı ve yüksek oranlarda kullanımı numunelerde çökmeye sebep olmuştur. Basınç dayanımı değerlerinde bu nedenden dolayı azalma meydana gelmiştir.



Şekil 5. Basınç dayanımı deney sonuçları

Eğilme dayanımı deneyi TS EN 12390 -5 (2010)' [36] göre yapılmış olup elde edilen deney sonuçları Şekil 6'da verilmiştir. Elde edilen eğilme dayanımı değerleri incelendiğinde hematit minerali oranının artmasıyla basınç dayanımından farklı olarak, eğilme dayanımı değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Meydana gelen değişim miktarı yaklaşık olarak %9,48 – %21,43 arasındadır. Basınç dayanımı değerlerinde açıklandığı üzere %10'dan düşük değerlerde hematit mineralinin kullanımı ile eğilme dayanımı değerlerinde de farklı sonuçlar elde edilebileceği düşünülmektedir.



Şekil 6. Eğilme dayanımı deney sonuçları

4. SONUÇLAR

Hematit mineralinin polimer kompozitlerde kullanılabilirliğinin incelendiği bu çalışma bahsedilen kompozitlerin diğer performans özelliklerinin inceleneceği çalışmalara ışık tutacaktır. B.H.A değerleri incelendiğinde Hematit minerali oranı arttıkça birim hacim ağırlık değerleri artış göstermekte kontrol numunesine göre artış %7,3-%27 oranları arasında değişmektedir. Faz malzeme oranına bağlı olarak ultrases geçiş hızı değerlerinde artış elde edilmiş H40 grubunun birim hacim ağırlık değerlerinde olduğu gibi

ultrases geçiş hızı değerlerinde en yüksek değerler elde edildiği (kontrol numunesine göre artış %6,1 oranında artış) gözlemlenmiştir.

Mekanik özellikler açısından H10 numunelerinde kontrolden yüksek (% 3,01 artış) dayanım elde edilirken çökmeden dolayı en düşük değerler %40 hematit içeren (%2,5 azalma) numunelerden elde edilmiştir. Mineral homojen olarak eklendiğinde mekanik özellikleri az da olsa yükseltebileceği görülmüş olup bu sonuç polimer malzeme miktarının azaltılması açısından da önemli bir sonuçtur.

Hematit minerali oranının artmasıyla kontrole göre eğilme dayanımı değerleri oldukça azalmış kontrol numunesine göre azalış oranları %9,8-%21,43 değerleri arasında değişim göstermiştir.

Seçilen kullanım oranları ile kontrol numunesine göre daha yüksek basınç dayanımı veren %10 hematit değeri düşünüldüğünde daha sonra yapılacak çalışmalar için bu orandan daha düşük oranlarda mineral kullanımının araştırılması ve kompozitin diğer performans özelliklerinin de belirlenmesi önerilmektedir.

Ayrıca farklı reçine türü ve farklı oranlarda faz malzemeleri kullanılarak çalışmaların yapılması ile polimer kompozitlerin mekanik ve durabilite özelliklerinin saptanması sonraki yapılacak çalışmalara tavsiye edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Muthukumar M. Moha D. Studies on polymer concretes based on optimized aggregate mix proportion, European Polymer Journal. 2004; 40, 2167–2177.
- [2] Polat H. Özel C. TS EN 206-1'e göre Tasarlanan ve Zararlı Kimyasal Ortamlara Maruz Kalacak Betonların Basınç Dayanımının Bulanık Mantık Yöntemiyle Tahmini. Electronic Journal of Construction Technologies/Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi. 2012; 8(1).
- [3] Polat H. Yurtcan U. E. Kolak M. N. Atık Bordür Taşlarının Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Tr. Doğa ve Fen Derg. – Tr. J. Nature Sci. 2014; Vol. 3 No.
- [4] Toufigh V, Hosseinali M, Shirkorshidi S.M. Experimental study and constitutive modeling of polymer concrete's behavior in compression, Construction and Building Materials. 2016; 112, 183–190.
- [5] Polat H. Farklı çimento tipinin silindire sıkıştırılmış betonun basınç dayanımı üzerindeki etkisinin araştırılması. Bilecik şeyh edebali üniversitesi fen bilimleri dergisi. 2018; 5(2), 75-81.
- [6] Yadollahi M. M. Varolgüneş S. Polipropilen Liflerin Perlit Esaslı Geopolimerlerin Mekanik Davranışına Etkisi. Türk Doğa ve Fen Dergisi. 2018; 7(2), 36-41.
- [7] Polat H. Demirel B. Kolak, M.N. Oltul M. Polimer betonlarda barit minerali kullanımının

- araştırılması, Bingöl Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi, 2020; Cilt:1, Sayı: 1, Sayfa: 25-32.
- [8] Vipulanandan C, Paul E.(1993). Characterization of polyester polymer and polymer concrete. *J Mater Civ Eng.* 1993; 5(1):62–82.
- [9] Fowler D.W. Polymers in concrete: a vision for the 21st century, *Cement and Concrete Composites.* 1999; 21, 449-452.
- [10] Reis J.M.L. Effect of aging on the fracture mechanics of unsaturated polyester based on recycled PET polymer concrete, *Materials Science and Engineering A.* 2011; 528, 3007–3009.
- [11] Heidari-Rarani M, Aliha M.R.M, Shokrieh M.M, Ayatollahi M.R. Mechanical durability of an optimized polymer concrete under various thermal cyclic loadings – An experimental study, *Construction and Building Materials.* 2014; 64, 308-315.
- [12] ACI Committee 548. Polymers and adhesives in concrete. State of the Art Report. 2019.
- [13] Bignozzi, M C, Saccani, A., Sandrolini, F. New polymer mortars containing polymeric wastes. Part 1. Microstructure and mechanical properties. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing.*2000; 31(2), 97–106.
- [14] Borowski E, Soliman E, Kandil U F, Taha, M R. Interlaminar fracture toughness of CFRP laminates incorporating multi-walled carbon nanotubes. *Polymers.* 2015; 7(6), 1020–1045.
- [15] Wang, T, Zhang J, Bai W, Hao S. Forming process and mechanical properties of fibers-reinforced polymer concrete. *Journal of Reinforced Plastics and Composites.* 2013; 32(12), 907–911.
- [16] Rebeiz, K S, Craft, A P. Polymer concrete using coal fly ash. *Journal of Energy Engineering—ASCE.*2002; 128(3), 62–73.
- [17] Jo BW, Park SK, Park JC. Mechanical properties of polymer concrete made with recycled PET and recycled concrete aggregates. *Constr Build Mater.*200 ; 22:2281–91.
- [18] Jo BW, Park SK, Lee KS. Prediction of stress-strain relationship for polyester polymer concrete using recycled polyethylene terephthalate under compression. *Adv Cem Res.* 2008; 20:151–9.
- [19] Jamshidi M, Pourkhorshidi AR. Modified polyester resins as an effective binder for polymer concretes. *Mater Struct* 2012; 45:521–7.
- [20] Rebeiz, K S, Serha. S. P, Craft, A P. Properties of polymer concrete using fly ash. *Journal of Materials in Civil Engineering.*2004; 16(1), 15–19.
- [21] Jo B W, Tae G H, Kim C H. Uniaxial creep behavior and prediction of recycled-PET polymer concrete. *Construction and Building Materials.*2007; 21(7), 1552–1559.
- [22] Tawfik M E , Eskander S B. Polymer concrete from marble wastes and recycled poly (ethylene terephthalate). *Journal of Elastomers and Plastics.*2006; 38(1), 65–79.
- [23] Polat H, Oltulu M. Andezit Atıklı Polimer Kompozitlerin Fiziko Mekanik Özellikleri, 1. Uluslararası Battalgazi Multi Disipliner Çalışmalar Kongresi.2018; 7-9 Aralık, Malatya.
- [24] Polat H. Oltulu M. Atık Mermer Tozu Katkılı Polimer Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi II. Uluslararası Battalgazi multidisipliner çalışmalar kongresi. 2019; 15-16-17.
- [25] Maden teknik arama genel müdürlüğü, Dünyada ve Türkiye’de demir, Fizibilite etütleri daire başkanlığı, Eylül. 2017.
- [26] Turhan M. Akamn F. Polat H. Kaçal M. R. Demirkol İ. Gamma-ray attenuation behaviors of hematite doped polymer composites. *Progress in Nuclear Energy.*2020; 129, 103504.
- [27] Kılıçarslan Ş. Ağır betonların radyasyon zayıflatma katsayılarının belirlenmesinde bulanık mantık yaklaşımı. *Engineering sciences.*2008; 3(2), 171-180.
- [28] Binici H, Küçükönder A, Sevinç A. H, Mustafa E, Tüfenk N. Atık kâğıt ve mukavvaların yalıtım malzemesi ve radyasyon tutucu materyal olarak üretiminde kullanılması. *Çukurova üniversitesi mühendislik-mimarlık fakültesi dergisi.* 2013; 28(1), 21-30.
- [29] Shirayama K. Properties of radiation shielding concrete. In *Journal Proceedings.*1963; Vol. 60, No. 2, pp. 261-280.
- [30] Hassan A M, Habib A, El-Kady A, Use of radiative capture technique for multielement analysis of domestic hematite ore sample. *Radiochemical and Radioanalytical Letters.* 1981; 49(5), 323-339.
- [31] Çakır F, Yıldırım P, Gündoğdu M, Kul K . Metil Etil Keton Peroksidin (MEKP) Polimer Betonun (PC) Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkisi, Uluslararası 10. Beton Kongresi. 2019; pp:447-456.
- [32] Poyraz B. Kompozit malzeme üretiminde kullanılan polyesterlerin mekanik, termal ve kimyasal özelliklerine başlatıcı etkisinin incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi.* 2018; 33(4), 1383-1396.
- [33] TS EN 1015-10. Kâgir Harcı-Deney Metotları-Bölüm 10: Sertleşmiş Harcın Boşluklu Kuru Birim Hacim Kütlelerinin Tayini. *Türk Standartları Enstitüsü.* 2001; Ankara.
- [34] ASTM C 597. Standard Test Method for Pulse Velocity through Concrete. *Annual Book of ASTM Standards, Pennsylvania.* 1979; USA.
- [35] TS EN 12390-3. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımını Tayini. *Türk Standartları Enstitüsü.* 2010; Ankara.
- [36] TS EN 12390-5. Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 5: Deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini, *Türk Standartları Enstitüsü.* 2010; Ankara.



Türk Doğa ve Fen Dergisi

Turkish Journal of Nature and Science

www.dergipark.gov.tr/tdfd



LSTM Tabanlı Derin Ağlar Kullanılarak Diyabet Hastalığı Tahmini

Mehmet Bilal ER¹, İbrahim IŞIK^{2*}

¹ Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye
² İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye
 Mehmet Bilal ER ORCID No: 0000-0002-2074-1776
 İbrahim IŞIK ORCID No: 0000-0003-1355-9420

*Sorumlu yazar: ibrahim.isik@inonu.edu.tr

(Alınış: 30.10.2020, Kabul: 11.02.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Anahtar Kelimeler

Uzun kısa süreli bellek, Diyabet tahmini, Evrimsel sinir ağı

Öz: Diyabet, vücudun yeterli miktarda insülini üretmemesi veya iyi kullanmadığı durumda kan şekerinin normalin üstüne çıkması ile ortaya çıkan bir hastalıktır. Kan şekeri insanların ana enerji kaynağıdır ve bu enerji tüketilen yiyeceklerden gıdalardan gelir. Bu hastalık tedavi edilmez ise ölümcül olabilir. Ancak, erken tanı konulup tedaviye başlandığında tedavisi en olanaklı hastalıklardan biridir. Geleneksel diyabet teşhis süreci zorlu olduğundan, diyabetin klinik ve fiziksel verileri kullanılarak yapay sinir ağı, görüntü işleme ve derin öğrenme gibi sistemler kullanılarak hastalık teşhis edilebilmektedir. Bu çalışmada diyabet teşhisi için derin öğrenmeye dayalı bir model sunulmaktadır. Bu bağlamda Evrimsel Sinir Ağı (ESA), Uzun Kısa Süreli Bellek (Long-short Term Memory Networks- LSTM) modelinin hibrit kullanımı sınıflandırma için tercih edilmiştir. Ayrıca ESA ve LSTM modelleri deneylerde ayrı ayrı kullanılmıştır. Önerilen modelin performansını değerlendirmek için literatürde yaygın olarak kullanılan Pima Indians Diabetes veri seti kullanılmıştır. En yüksek sınıflandırma başarısı %86,45 olarak ESA+LSTM modelinden elde edilmiştir.

Prediction of the Diabetes Using LSTM-Based Deep Networks

Keywords

Long-short Term Memory, Diabetes prediction, Convolutional neural network

Abstract: Diabetes is a metabolic disease that occurs when blood sugar is too high. Blood sugar is your main source of energy and comes from the food we eat. Sometimes our body doesn't produce enough or doesn't use insulin well. If this disease is not treated, it can be fatal. It is one of the most possible diseases when diagnosed early and treatment is started. Because the diabetes diagnosis process is challenging, an automated system is needed to identify diabetes from clinical and physical data. In this research, a deep learning-based model is presented for the diagnosis of diabetes. In this paper, the hybrid use of Convolutional Neural Network (CNN) and Long-short Term Memory Networks (LSTM) model was proposed for classification. In addition, CNN and LSTM models were used separately in the experiments. Pima Indians Diabetes data set, which is widely used in the literature, was used to evaluate the performance of the proposed model. The highest classification success was obtained from CNN + LSTM model with 86.45%.

1. GİRİŞ

Bazı hastalıkların teşhis süreci zorlu olduğundan, diyabet gibi çeşitli hastalıkların klinik ve fiziksel verileri kullanılarak yapay sinir ağı, görüntü işleme ve derin öğrenme gibi sistemler kullanılarak hastalık teşhis edilebilmektedir [1]. Diyabet, küçük ve büyük tüm yaş gruplarında görülebilen en yaygın kronik, hastalıklardan biridir. Pankreas, insan kan akışındaki şeker seviyesini düzenleyen çok önemli bir enzim olan insülin adlı hormonun üretilmesinden sorumlu bir organdır. İnsülin,

insan vücudunda metabolizmanın dengelenmesinde hayati ve önemli bir bileşendir. Diyabetin, insülinin yetersiz üretimi veya üretilen insülinin uygun olmayan kullanımı nedeniyle ortaya çıktığı bilinmektedir [2]. Ancak diyabetin altında yatan neden diyabetin Tip 1 ve Tip 2 çeşidi olmasına göre değişiklik göstermektedir.

Tip 1 ve tip 2 olmak üzere iki farklı diyabet türü vardır [3]. İnsülin eksikliği nedeniyle, Tip 1 diyabet meydana gelir. Normalde zararlı bakteriler veya virüslerle savaşan bağışıklık sisteminiz bu hastalık durumunda pankreastaki insülin üreten hücrelere saldırır ve tahrip

eder. Bu tip diyabet için tek çözüm, gerekli miktarda insülini hastanın vücuduna takviye olarak enjekte etmektir. Tip 2 diyabette, hücreler insülin etkisine dirençli hale gelir ve pankreas bu direncin üstesinden gelmek için yeterli insülin salınımı yapamaz. Tip 2 diyabet gelişiminde de genetik ve çevresel faktörlerin rol oynadığına inanılmaktadır. Aşırı kilolu olmak, tip 2 diyabet gelişimi ile güçlü bir şekilde bağlantılıdır. Diyabet yaygınlığı, orta ve düşük gelirli ülkelerde daha hızlı bir şekilde artmaktadır. Diyabetin, körlük, böbrek yetmezliği ve kalp krizinin ana nedenleri arasında olduğu bilinmektedir.

Bir diyabet hastası uygun tanı ve tedavi ile normal bir yaşam sürdürebilir. Diyabetin tanımlanması için A1c, rastgele kan şekeri, açlık kan şekeri ve oral glikoz tolerans testi gibi farklı ölçümler vardır [4]. Tek bir parametreye dayalı diyabet tanımlaması yanlış tanıya ve yanıltıcı karar vermeye yol açabilir. Bu nedenle, diyabeti etkili bir şekilde teşhis etmek için farklı parametreleri birleştirmeye ihtiyaç vardır. Glikoz, vücut kitle indeksi, diyabet soyağacı, kan basıncı, yaş, gebelik ve cilt kalınlığı gibi verilerle diyabeti tanımlamak ve tedavi etmek daha etkili olacaktır.

Hastalığın tahmini ve erken teşhisi bir doktorun bilgi ve tecrübesine bağlıdır, ancak bazı durumlarda yanlış teşhisler olabilir. Sağlık sektörü, sağlık hizmetleriyle ilgili çok miktarda veri toplamaktadır, ancak bu veriler tespit edilmemiş vakalarda etkin şekilde kullanılmamaktadır. Manuel kararlar, sağlık görevlisinin her zaman doğru olmayan gözlem ve yargısına dayandığından erken hastalık teşhisi için oldukça tehlikeli olabilir [5]. Sonuç olarak, hastalar düşük hizmet almaktadır; bu nedenle, otomatik tanı ve daha iyi doğruluk ile hastalıkların erken tespiti için farklı ileri mekanizmalar ve yazılım tabanlı çeşitli programların gerekli olduğu düşünülmektedir. Örneğin, makine öğrenimi algoritmalarının geliştirilmesi, büyük miktarda veriyi işlemeye ve karar verme sürecini kolaylaştıran temel veri modelini çıkarmaya yardımcı olur.

Bu çalışmada, diyabeti tahmin etmek için ESA ve LSTM modellerinin birleşimi kullanılmıştır. Modeller için en uygun konfigürasyonu bulmak için farklı parametreler denenerek modeller test edilmiştir. Ayrıca önerilen modelin performansı literatürdeki diğer yöntemler ile karşılaştırılmıştır.

Bu makalenin geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir. Bölüm 2'de literatürdeki çalışmalar gözden geçirilmiştir ve aralarındaki farklar ortaya koyulmuştur. Bölüm 3 ve 4'de materyal ve önerilen yöntem tanıtılmıştır. Bölüm 5'de araştırmada kullanılan veri seti ve diyabet tespit edilmesiyle ilgili deneysel uygulamalar verilmiştir. Bölüm 6'de ise araştırmanın bulguları tartışılmıştır.

2. İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Diyabet teşhisi için oluşturmuş literatürde çok sayıda modern teknik vardır. Diyabet tahmini için makine öğrenme algoritmalarının performansının değerlendirildiği [6] çalışmada kullanılan algoritmalar

destek vektör makinesi (DVM), yapay sinir ağı (YSA), lojistik Regresyon ve K-en yakın komşu (K-NN) şeklindedir. Sistemin performansı, doğruluk, özgülük, duyarlılık, kesinlik açısından değerlendirilmiştir. Test ve eğitim verilerini ayırmak on kat çapraz doğrulama yöntemi tercih edilmiştir. En yüksek doğruluk %78 olarak lojistik Regresyon kullanılarak elde edilmiştir. [7] çalışmasında, diyabet sınıflandırması için çoklu sınıflandırma algoritmaları karşılaştırılmıştır. Kullanılan algoritmalar YSA, Bayes sınıflandırıcı, Karar ağacı, DVM ve K-NN'dir. En iyi performans olarak %97,44 olarak YSA'dan elde edilmiştir. DVM, K-NN, Karar ağacı ve Bayes sınıflandırıcılar ile sırasıyla %81,19, %90,85, %95,03 ve %91,60 doğruluk elde edilmiştir. Sistem için kullanılan veri seti, Tabriz Üniversitesi Tıp Bilimleri Üniversitesinden toplanmıştır ve tip 2 diyabet için taranan 2536 vaka içerir. Yazarlar [8] çalışmasında, ESA, LSTM ve giriş olarak kalp atım hızı değişkenliği (HRV) verilerinin bileşik kronolojik özelliklerini tespit etmek için bir model geliştirmişlerdir. Verileri sınıflandırmak için tespit edilen özelliklere DVM uygulanmıştır. DVM'ye dayalı çalışmalara kıyasla ESA ve ESA-LSTM mimarisinde sırasıyla % 0,03 ve % 0,06 performans artışı elde edilmiştir. Diyabet teşhisi için akıllı bir DVM modelinin sunulduğu [8] çalışmada, yazarlara göre diyabet, dünya çapında önemli bir sağlık sorunudur ve erken aşamada tespit edilirse tip 2 diyabet komplikasyonlarının %80'e kadar azalabilir. Önerilen senaryoda, diyabet tahmini için birçok veri madenciliği ve makine öğrenme algoritması analiz edilmiştir. Diyabet tahmini için hadoop tabanlı kümelerde makine öğrenme algoritmalarının yeni uygulanması önerildiği [9] çalışmasında, algoritmanın çalışmasını değerlendirmek için Ulusal Diyabet ve Sindirim Hastalıkları Enstitüsü'nden alınan Pima Indians Diyabet veri seti kullanılmıştır. Rastgele orman algoritması, 4 düğümlü hadoop küme ortamında karar ağacı ve bayes algoritmasından daha yüksek doğruluk sağlamıştır. [10] çalışmasında, K-ortalama ve lojistik regresyon algoritmalarını kullanarak diyabet tip-2'nin tespiti için yeni bir model önerilmiştir. Önerilen yöntemler hem küme hem de sınıf yöntemlerinden oluşmaktadır. Önerilen yöntemler, diyabeti tahmin etmede doğruluğu %3 artırmaktadır. Evrişimli Uzun Kısa Süreli Belleğe (Conv-LSTM) dayalı yeni bir diyabet sınıflandırma modeli geliştirildiği [10] çalışmasında, ESA, geleneksel LSTM ve Conv-LSTM gibi üç popüler model önerilmiş ve modellerin performansları değerlendirilmiştir. Uygulanan modeller için en uygun parametreleri bulmak amacıyla Grid arama algoritması kullanarak hiper parametre optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. İlk deneyde veri seti test ve eğitim için farklı oranlarda bölünmüştür. İlk deneyde, Conv-LSTM tabanlı model diyabet hastalarını %91,38 ile en yüksek doğrulukla sınıflandırmıştır. İkinci deneyde ise çapraz doğrulama tekniği uygulanmıştır. Çapraz doğrulama tekniğini kullanarak Conv-LSTM modeli ile %97,26 ile en yüksek doğruluk elde edilmiştir. Pima Indians Diabetes'' veri seti ile farklı makine öğrenme algoritmaları kullanarak diyabet tahmini için bir metodolojinin sunulduğu [2] çalışmasında, YSA, Bayes sınıflandırıcı, karar ağacı ve derin öğrenme ile elde edilen doğruluklar genel olarak %90-98 aralığındadır. En iyi sınıflandırma

sonucu %98,07 olarak derin öğrenmeden elde edilmiştir. Çalışmada, derin öğrenme yaklaşımının doğruluğu omik veriler dahil edilerek daha da arttırılabileceği belirtilmiştir. [11]'de diyabet tahmini için LSTM sinir ağı uygulaması geliştirilmiştir. Önerilen modeli doğrulamak için literatürde kullanılan tipik bir veri kümesi kullanılmıştır. Çalışma, yapay kayıtlar kullanılarak doğru bir LSTM veri analizi için izlenecek prosedüre odaklanmıştır. Ayrıca geleneksel YSA ve LSTM yaklaşımları karşılaştırılmıştır. LSTM yaklaşımı sonuçları güncel YSA çalışmaları ile karşılaştırıldığında, test seti doğruluğunda %6,5'lik bir iyileşme gözlenmiştir. Etkin diyabet tahmini için hibrit bir yöntem önerildiği [12] çalışmasında Pima diyabetik veri kümesi kullanılarak önerilen model test edilmiştir. Önerilen hibrit modelin ilk aşamasında diyabet oluşma olasılığını yansıtan en ayırt edici belirleyicileri seçmek için özelliği seçimi işlemi uygulanmıştır. İkinci aşamada, modelin genel tanıma oranını arttırmak için DVM ve sinir ağı birleştirilerek filtrelenmiş verilere iki katmanlı bir sınıflandırma uygulanmıştır. Önerilen hibrit modelden %96,09 genel doğruluk elde edilmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Evrişimsel Sinir Ağı

Evrişimsel sinir ağları, özellikle görüntü nesnesi tanıma gibi görüntü analizi ve bilgisayarlı görmede başarıyla uygulanmış çok katmanlı, ileri beslemeli yapay sinir ağları gurubundadır. Evrişim ağları beyindeki biyolojik süreçlerden esinlenmiştir. Nöronlar arasındaki bağlantı paterni, görsel korteksün organizasyonuna benzer [13]. ESA'lar, görüntü tanıma ve sınıflandırma gibi alanlarda çok etkili olduğu kanıtlanmış bir sinir ağı modelidir [14]. ESA, tipik olarak üç tip katmandan oluşan matematiksel bir yapıdadır. Bu katmanlar konvolüsyon, havuzlama ve tamamen bağlı katmanlardır [15]. Konvolüsyon ve havuzlama katmanları, özellik çıkarma işlemini gerçekleştirirken, tamamen bağlı katmanlar ise çıkarılan özellikleri, sınıflandırmak için son çıktıya gönderir.

Bir sinir ağının görüntüdeki pikselleri sayısal değerler olarak yorumlayabilmesi için konvolüsyonlar gereklidir. Konvülasyon katmanların işlevi, görüntüyü sinir ağının yorumlayabileceği sayısal değerlere dönüştürmek ve daha sonra ilgili kalıpları çıkarmaktır [15]. Konvolüsyon katmanında filtreler giriş görüntüsü üzerinde dolaştırılır. Konvolüsyon formülü denklem 1 de verilmiştir. Denklemde verilen 'M' özellik haritasını, 'w' ise (x,y) boyutunda konvolüsyon çekirdeğini ifade eder.

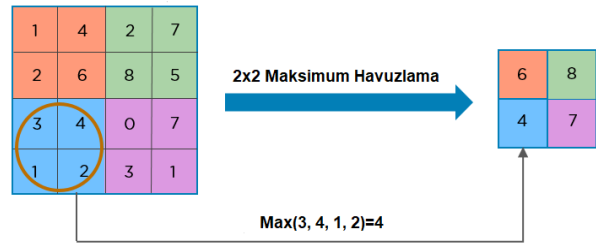
$$M(i,j)=(R*w)(i,j)=\sum_x \sum_y R(i-x,j-y)w(x,y) \quad (1)$$

Her konvolüsyon katmanından sonra, doğrusal olmayan bir katmanın veya aktivasyon katmanının uygulanması ESA'da yaygındır. Bu katmanın amacı, temelde doğrusal işlemleri hesaplayan bir sistemi doğrusal olmayan hale getirmektir. Doğrultulmuş Doğrusal Birim (ReLU) katmanı, gelen tüm değerlere $f(x) = \max(0, x)$ işlevini uygular. Temel olarak, bu katman tüm negatif aktivasyonları 0 olarak değiştirir. Bu katman, konvolüsyon katmanından gelen özellikleri etkilemeden

modelin ve genel ağı doğrusal olmayan özelliklerini arttırır [16]. ReLu için gerekli formül Denklem 2'de verilmiştir.

$$\text{ReLU}(x) = \max(x,0) \quad (2)$$

Havuzlama (pooling) katmanı bir ESA'nın başka bir yapı taşıdır ve konvolüsyon ve ReLu işleminden sonra uygulanır. İşlevi, ağıdaki parametre ve hesaplama miktarını azaltmaktır. Havuzlama katmanı her özellik haritasından bağımsız olarak çalışır. Havuzlamada kullanılan en yaygın yaklaşım maksimum havuzlamadır. Şekil 1'de maksimum havuzlama (maxpooling) örneği gösterilmektedir.



Şekil 1. Maksimum havuzlama

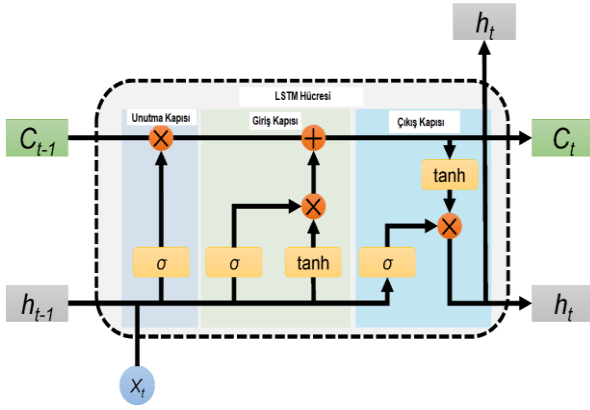
Konvolüsyon ve havuzlama katmanları tarafından alt örneklenen özellikler oluşturulduktan sonra bu özellikler tam bağlı katmana bağlanır. Özellikler bir veya daha fazla tamamen bağlı katmana bağlanır. Burada her girdi bir çıktıya bağlanır ve her bir nöron öğrenilebilir ağırlığa sahiptir [16]. Son tam bağlı katman tipik olarak sınıf sayısı ile aynı sayıda çıkış düğümüne sahiptir ve bu katmanda sınıflandırma işlemi yapılır. Son katmanda farklı sınıflandırıcılar kullanılabilir de genellikle Softmax kullanılır. Softmax denklemi 3'de verilmiştir. Softmax, nöronların çıkış değerlerinin (0,1) aralığında olmasını sağlar.

$$\text{softmax}(x)_j = \frac{e^{x_j}}{\sum_{n=1}^N e^{x_n}} \quad \text{for } j=1, \dots, N \quad (3)$$

3.2. Uzun Kısa Süreli Bellek

Uzun Kısa Süreli Bellek ağları genellikle "LSTM" olarak adlandırılır ve Tekrarlayan Yapay Sinir Ağlarının (RNN) özel bir türüdür. LSTM sinir ağı, gizli katmanında LSTM hücresi olarak adlandırılan karmaşık bir yapıya sahiptir. Şekil 2'de gösterilen LSTM hücresi, hücre ve sinir ağı boyunca bilgi akışını kontrol eden giriş kapısı, unutma kapısı ve çıkış kapısı olmak üzere üç kapıya sahiptir.

LSTM modeli bir zincir yapısı şeklinde düzenlenmiştir [17]. Ancak tekrar eden modül farklı bir yapıya sahiptir. Standart bir RNN gibi tek bir sinir ağı yerine, benzersiz bir iletişim yöntemine sahip dört etkileşimli katmana sahiptir. Tipik bir LSTM ağı, hücreler adı verilen bellek bloklarından oluşur. Hücre durumları bir sonraki hücreye aktarılır. Hücre durumu, verilerin temelde değişmeden ilerlemesine izin veren ana veri akış zinciridir.



Şekil 2. LSTM Modeli

Bununla birlikte, bazı doğrusal dönüşümler meydana gelebilir. Veriler, sigmoid kapılar aracılığıyla hücre durumuna eklenebilir veya buradan çıkarılabilir. Bir geçit, farklı bireysel ağırlıkları içeren bir katmana veya bir dizi matris işlemine benzer. Bir LSTM ağı oluşturmanın ilk adımı, gerekli olmayan ve hücreden çıkarılacak olan bilgileri belirlemektir. Bu veri tanımlama ve hariç tutma işlemine, $t-1$ zamanında son LSTM biriminin (h_{t-1}) çıktısını ve t zamanında mevcut girdiyi (X_t) alan sigmoid fonksiyonu karar verir. Ek olarak, sigmoid fonksiyonu eski çıktının hangi kısmının elenmesi gerektiğini belirler. Bu kapıya unutma kapısı (veya f_t) denir; burada h_{t-1} , 0 ile 1 arasında değişen ve hücre durumundaki her sayıya karşılık gelen C_{t-1} olan bir vektördür.

$$f_t = \sigma(W_f[h_{t-1}, X_t] + b_f) \quad (4)$$

Burada, σ sigmoid fonksiyonudur ve W_f ve b_f , sırasıyla, unutma kapısının ağırlık matrisleri ve bias'dır.

Aşağıdaki adım, yeni girişten (X_t) gelen bilgileri kararlaştırır, depolar ve ayrıca hücre durumunu günceller. Bu adım, sigmoid katman ve ikinci tanh katman olmak üzere iki bölümden oluşur. İlk olarak, sigmoid katmanı, yeni bilginin güncellenip güncellenmeyeceğine (0 veya 1) karar verir ve ikincisi, tanh fonksiyonu, önem düzeylerine (-1 ila 1) karar vererek, geçen değerlere ağırlık verir. Yeni hücre durumunu güncellemek için iki değer çarpılır. Bu yeni bellek daha sonra eski belleğe C_{t-1} eklenir ve C_t ile sonuçlanır.

$$i_t = \sigma(W_i[h_{t-1}, X_t] + b_i), \quad (5)$$

$$N_t = \tanh(W_n[h_{t-1}, X_t] + b_n), \quad (6)$$

$$C_t = C_{t-1}f_t + N_t i_t \quad (7)$$

Burada, C_{t-1} , C_t , $t-1$ ve t zamanlarındaki hücre durumlarıdır. Sigmoid katman, hücre durumunun hangi kısımlarının çıktıya ulaşacağına karar verir. Daha sonra, sigmoid geçidin (O_t) çıktısı, tanh katmanı tarafından hücre durumundan (C_t) oluşturulan yeni değerle çarpılır.

$$O_t = \sigma(W_o[h_{t-1}, X_t] + b_o), \quad (8)$$

$$h_t = O_t \tanh(C_t) \quad (9)$$

Burada W_o ve b_o , çıkış kapısının sırasıyla ağırlık matrisleri ve bias'dır.

4. ÖNERİLEN YÖNTEM

Diyabet tespiti için önerilen yöntem üç adımdan oluşmaktadır. İlk olarak veri setindeki örneklerden elde edilen özellikler tasarlanan ESA'dan geçirilmiştir. Daha sonra ESA'dan elde edilen özellikler LSTM'e girdi olarak verilmiştir. Son olarak Softmax sınıflandırıcı kullanılarak veri setindeki örnekler sınıflandırılmıştır. Önerilen yöntem şekil 3'de verilmiştir. Ayrıca aynı deneyler ESA ve LSTM ayrı ayrı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Tasarlanan ESA'nın topolojisi, 1 giriş katmanı, 2 konvolüsyon katmanı, 2 havuzlama katmanı, 2 tam bağlantılı katmanı ve 1 çıkış katmanından oluşur. Tasarlanan mimaride toplam 6 katman bulunmaktadır. Birinci konvolüsyon katmanında 128 adet konvolüsyon filtresi, ikinci konvolüsyon katmanında 64 adet konvolüsyon filtresi bulunmaktadır. Aktivasyon fonksiyonu olarak ReLu kullanılmıştır. Ayrıca her konvolüsyon ve ReLu işleminden sonra 2x1 boyutunda maksimum havuzlama yapılmıştır. Konvolüsyon katmanlarından sonra veriler LSTM katmanından geçirilmiştir. Son olarak tamamen bağlantı katmanlar ve Softmax bağlanarak model tamamlanmıştır. Tasarlanan ESA mimarisi Tablo 1'de verilmiştir.

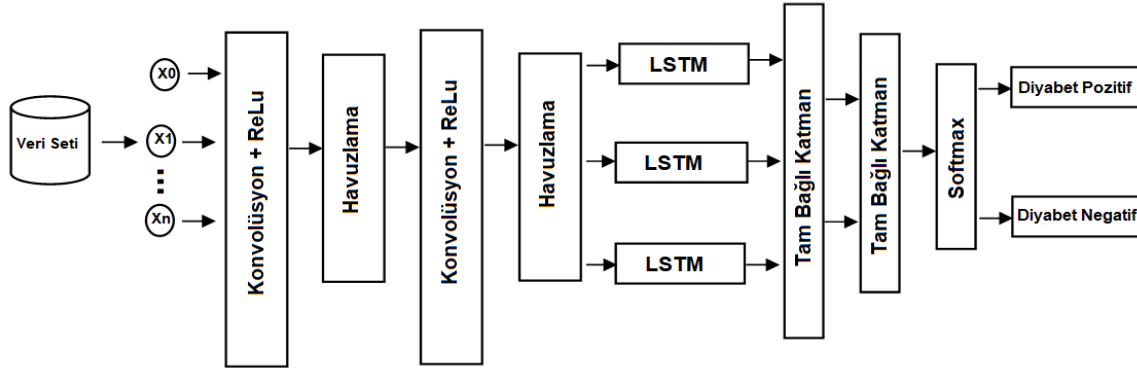
Tablo 1. Tasarlanan ESA mimarisi

| No | Katman İsmi | Açıklama | Özellikler |
|----|-------------|--------------------|---|
| 1 | Giriş | Giriş vektörü | - |
| 2 | 'conv1' | Konvolüsyon | 1 boyutunda 128 adet konvolüsyon filtresi |
| 3 | 'relu1' | ReLu | - |
| 4 | 'pool1' | Maksimum Havuzlama | 2x1 havuzlama |
| 5 | 'conv2' | Konvolüsyon | 1 boyutunda 64 adet konvolüsyon filtresi |
| 6 | 'relu2' | ReLu | - |
| 7 | 'pool2' | Maksimum Havuzlama | 2x1 havuzlama |
| 8 | 'fc1' | Tam Bağlı Katman | 1024 nöron |
| 9 | 'relu7' | ReLu | - |
| 10 | 'drop7' | Dropout | 50% dropout |
| 11 | 'fc2' | Tam Bağlı Katman | 512 nöron |
| 12 | Çıkış | Softmax | 2 sınıf |

5. DENEYSEL UYGULAMALAR

5.1. Veri Seti

Modelimizin performansı, UCI makine öğrenimi havuzundan elde edilen popüler bir veri kümesi olan Pima Indians Diabetes kullanılarak değerlendirilmiştir [18]. Veri seti, 268 tanesi diyabet pozitif ve geri kalanı diyabet negatif olan en az 21 yaşındaki 768 kadın hastanın kayıtlarını içermektedir. Veri setinde, bir hastanın diyabetli olup olmadığını tanısal olarak tahmin



Şekil 3. Önerilen Yöntem

etmek için Gebelik sayısı, Glikoz, Kan Basıncı, Beden kitle indeksi, Deri Kalınlığı, İnsülin, Diyabet Soy ağacı ve Yaş gibi sekiz değişken ve sonuç olarak adlandırılan bir hedef değişken vardır. Veri setinin açıklaması Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Pima Indian Diabetes Veri Kümesi

| No | Özellikler | Açıklama | Aralık |
|----|---------------------|---|------------|
| 1 | Gebelik sayısı | Bir katılımcının hamile kalma sayısı | 0-17 |
| 2 | Glikoz | Oral glikoz tolerans testinde 2. saat plazma glikoz konsantrasyonu | 0-199 |
| 3 | Kan Basıncı | Diyastolik kan basıncı | 0-122 |
| 4 | Beden kitle indeksi | Vücut kitle indeksi (kg cinsinden ağırlık / (m cinsinden yükseklik) | 0-67,1 |
| 5 | Deri Kalınlığı | Deri kıvrım kalınlığı | 0-99 |
| 6 | İnsülin | 2. Saatteki insülin değeri | 0-846 |
| 7 | Diyabet Soy ağacı | Diyabet prognozunda kullanılan bir özellik | 0,078-2,42 |
| 8 | Yaş | Katılımcıların yaşı | 21-81 |
| 9 | Sınıf | İkili değişken (0, 268 örneğin diyabetik olmadığını gösterir. 1 ise kalan 500 örneğin diyabetik olduğunu gösterir). | 1/0 |

5.2. Deneysel Sonuçlar

Önerilen yöntemin başarımlarını kriterleri doğruluk, kesinlik ve F-skoru oranlarına dayalı olarak yapılmıştır.

- Yanlış pozitifler (YP): negatif sınıftan olan, pozitif olarak tahmin edilen örnekler.
- Yanlış negatifler (YN): gerçek sınıfı pozitif olan negatif olarak tahmin edilen örnekler.
- Doğru pozitifler (DP): pozitif sınıfa ait doğru tahmin edilen örnekler.
- Doğru negatifler (DN): negatif sınıfa ait olarak doğru tahmin edilen örnekler.

$$\text{Doğruluk} = \frac{|DN|+|DP|}{|YN|+|YP|+|DN|+|DP|} \quad (10)$$

Kesinlik (P), pozitif bir tahminin doğru olma olasılığını tahmin eden bir ölçüdür. Kesinlik ölçümü Denklem 11’de verilmiştir.

$$\text{Kesinlik(P)} = \frac{|DP|}{|DP|+|YP|} \quad (11)$$

F-skoru, pozitif kestirim oranı ve duyarlılık ölçülerinin uyumlu bir ortalaması olup Denklem12’de gösterildiği gibi hesaplanır.

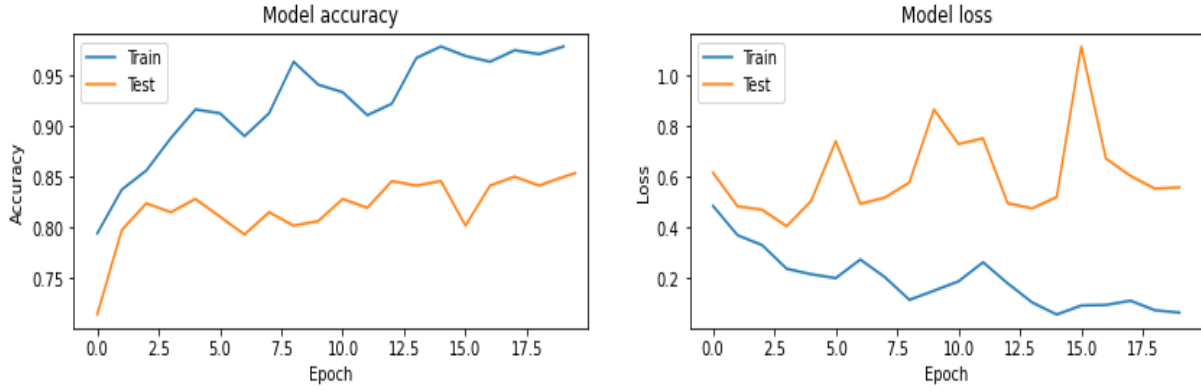
$$F - \text{skor} = \frac{2*|DP|}{2*|DP|+|YP|+|YN|} \quad (12)$$

Öğrenme oranı, epoch sayısı ve minibatch boyutu ESA’nın performansını etkileyen en önemli hiper parametrelerdir. Tasarlanan mimaride minibatch boyutu 64, maksimum epok sayısı 20 ve öğrenme oranı 1e-4 olarak ayarlanmıştır. Eğitim ve test için ayrılan verilerin boyutunun ağırlık performansı üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla, bu veriler 2 farklı şekilde bölünmüştür. İlk deneyde, verilerin %70’i eğitim için, %30’i test için kullanılır; ikinci deneyde ise verilerin %80’i eğitim, %20’si test için kullanılmıştır.

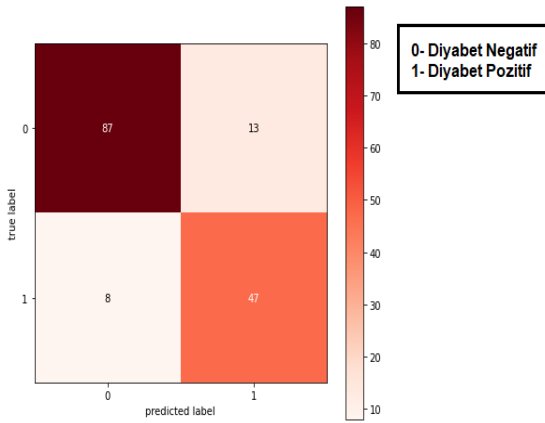
Tablo 3’de ESA, LSTM ve ESA+LSTM’den elde edilen sınıflandırma sonuçları verilmiştir. Verilerin eğitim ve test için sırasıyla %70-%30 olarak bölünmesiyle ESA’dan %82,47, LSTM’den %83,77 ve ESA+LSTM’den %85,21 doğruluk olarak elde edilmiştir. Verilerin eğitim ve test için sırasıyla %80-%20 olarak bölünmesiyle ESA’dan %83,25, LSTM’den %85,21 ve ESA+LSTM’den %86,45 doğruluk olarak elde edilmiştir. Eğitim ve test sıralarındaki en iyi sınıflandırma sonucuna ait doğruluk ve kayıp grafiği Şekil 4’de verilmiştir. En iyi sınıflandırma sonuçlarına ait karışıklık matrisleri Şekil 5’de verilmiştir.

Tablo 3. Sınıflandırma sonuçları

| Verinin Eğitim ve Test için Farklı oranlarda Bölünmesi | Model | Doğruluk % | Kesinlik % | F-skoru % |
|--|----------|------------|------------|-----------|
| %70- %30 | ESA | 82,47 | 83,14 | 83,56 |
| | LSTM | 83,77 | 84,46 | 84,23 |
| | ESA+LSTM | 85,21 | 84,94 | 58,14 |
| %80- %20 | ESA | 83,25 | 83,56 | 83,69 |
| | LSTM | 85,21 | 85,33 | 85,41 |
| | ESA+LSTM | 86,45 | 87,00 | 88,23 |



Şekil 4. Öğrenme grafikleri



Şekil 5. En iyi sınıflandırma sonucuna ait karışıklık matrisi

Performans değerlendirmesi için elde ettiğimiz bulgularla literatürde kullanılan diğer yöntemlerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Tablo 4'de önemli bazı çalışmalar verilmiştir.

Tablo 4. Performans karşılaştırılması

| Yöntem | Sınıflandırıcı | Doğruluk % |
|-------------------------|-------------------------------|------------|
| Ashiqzaman ve ark. [19] | Derin Öğrenme Mimarisi | 81,00 |
| Rahman ve ark. [20] | Conv-LSTM | 97,26 |
| Massaro ve ark. [11] | LSTM | 86,00 |
| Dadgar ve ark.[21] | Genetik Algoritmali Sinir Ağı | 87,46 |
| Haritha ve ark. [22] | Ateşböceği Algoritmaları | 81,00 |
| Önerilen Yöntem | ESA-LSTM | 86,45 |

Tablo 4'de görüldüğü gibi önerilen yöntem, literatürde kullanılan diğer üç yöntemden daha iyi bir performansa göstermiştir.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, diyabetin ölçümü için bir tahmin modeli geliştirilmesi amaçlanmıştır. İnsan nüfusunun büyük bir kısmı diyabet hastalığından mustarıdır. Geliştirilen modelin uygulaması Pima Indian Diabetes veri seti üzerinde yapılmıştır. Geliştirilen modelde ESA ve LSTM mimarisi birlikte kullanılmıştır. Deney sırasında veri setindeki özellikler tasarlanan ESA+LSTM modeline girdi olarak verilmiştir. Sınıflandırma için tasarlanan mimarinin son katmanına Softmax yerleştirilmiştir. Ayrıca ESA ve LSTM mimarileri ayrı ayrı da kullanılarak aynı deneyler tekrar yapılmıştır. Veri seti ilk deneyde %70 eğitim %30 test, ikinci deneyde ise

%80 eğitim ve %20 test olarak bölünmüştür. Önerilen modelden %86,45 genel doğruluk elde edilmiştir. ESA ve LSTM'den ise sırasıyla %83,25 ve %85,21 doğruluk elde edilmiştir. Geliştirilen modelin son teknoloji modellerle karşılaştırılması, modelimizin diyabet tahmininde etkinliğini göstermektedir. Gelecekteki çalışmalarda, diyabetin erken teşhisinde sağlık uzmanlarına yardımcı olmak ve derin öğrenme algoritmalarını kullanarak uygulamalar geliştirilmesi planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Işık E, Toktamış H, Işık İ. Analysis of thermoluminescence characteristics of a lithium disilicate glass ceramic using a nonlinear autoregressive with exogenous input model. *Luminescence* 2020;35:827–34. <https://doi.org/10.1002/bio.3788>.
- [2] Naz H, Ahuja S. Deep learning approach for diabetes prediction using PIMA Indian dataset. *J Diabetes Metab Disord* 2020;19:391–403. <https://doi.org/10.1007/s40200-020-00520-5>.
- [3] Allam F, Nossai Z, Gomma H, Ibrahim I, Abdelsalam M. A Recurrent Neural Network Approach for Predicting Glucose Concentration in Type-1 Diabetic Patients BT - Engineering Applications of Neural Networks. In: Iliadis L, Jayne C, editors., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2011, p. 254–9.
- [4] Ramachandran A. Know the signs and symptoms of diabetes. *Indian J Med Res* 2014;140:579–81.
- [5] Palaniappan S, Awang R. Intelligent heart disease prediction system using data mining techniques. 2008 IEEE/ACS Int Conf Comput Syst Appl 2008. <https://doi.org/10.1109/aiccsa.2008.4493524>.
- [6] Dwivedi AK. Analysis of computational intelligence techniques for diabetes mellitus prediction. *Neural Comput Appl* 2017;30:3837–45. <https://doi.org/10.1007/s00521-017-2969-9>.
- [7] Heydari M, Teimouri M, Heshmati Z, Alavinia SM. Comparison of various classification algorithms in the diagnosis of type 2 diabetes in Iran. *Int J Diabetes Dev Ctries* 2015;36:167–73. <https://doi.org/10.1007/s13410-015-0374-4>.
- [8] G. S, R. V, K.P. S. Diabetes detection using deep learning algorithms. *ICT Express* 2018;4:243–6. <https://doi.org/10.1016/j.ict.2018.10.005>.
- [9] Yuvaraj N, SriPreetha KR. Diabetes prediction in

- healthcare systems using machine learning algorithms on Hadoop cluster. *Cluster Comput* 2017;22:1–9. <https://doi.org/10.1007/s10586-017-1532-x>.
- [10] Wu H, Yang S, Huang Z, He J, Wang X. Type 2 diabetes mellitus prediction model based on data mining. *Informatics Med Unlocked* 2018;10:100–7. <https://doi.org/10.1016/j.imu.2017.12.006>.
- [11] Massaro A, Maritati V, Giannone D, Convertini D, Galiano A. LSTM DSS Automatism and Dataset Optimization for Diabetes Prediction. *Appl Sci* 2019;9:3532. <https://doi.org/10.3390/app9173532>.
- [12] Gill N, Mittal P. A computational hybrid model with two level classification using SVM and neural network for predicting the diabetes disease 2016;87:1–10.
- [13] Fu Y, Aldrich C. Flotation froth image recognition with convolutional neural networks. *Miner Eng* 2019;132:183–90. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.12.011>.
- [14] GÜLCÜ A, KUŞ Z. Konvolüsyonel Sinir Ağlarında Hiper-Parametre Optimizasyonu Yöntemlerinin İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilim Derg Part C Tasarım ve Teknol* 2019;7:503–22. <https://doi.org/10.29109/gujsc.514483>.
- [15] Cireundefinedan DC, Meier U, Masci J, Gambardella LM, Schmidhuber J. Flexible, High Performance Convolutional Neural Networks for Image Classification. *Proc. Twenty-Second Int. Jt. Conf. Artif. Intell. - Vol. Vol. Two*, AAAI Press; 2011, p. 1237–1242.
- [16] ER MB. Akciğer Seslerinin Derin Öğrenme İle Sınıflandırılması. *Gazi Üniversitesi Fen Bilim Derg Part C Tasarım ve Teknol* 2020. <https://doi.org/10.29109/gujsc.758325>.
- [17] Olah C. Understanding LSTM Networks n.d.
- [18] Predict the Onset of Diabetes Based on Diagnostic Measures n.d.
- [19] Ashiquzzaman A, Tushar AK, Islam MR, Shon D, Im K, Park J-H, et al. Reduction of Overfitting in Diabetes Prediction Using Deep Learning Neural Network. *IT Converg Secur* 2017 2017:35–43. https://doi.org/10.1007/978-981-10-6451-7_5.
- [20] Rahman M, Islam D, Mukti RJ, Saha I. A deep learning approach based on convolutional LSTM for detecting diabetes. *Comput Biol Chem* 2020;88:107329. <https://doi.org/10.1016/j.compbiolchem.2020.107329>.
- [21] Dadgar SMH, Kaardaan M. A Hybrid Method of Feature Selection and Neural Network with Genetic Algorithm to Predict Diabetes, 2017.
- [22] Haritha R, Babu DS, Sammulal DP. A Hybrid Approach for Prediction of Type-1 and Type-2 Diabetes using Firefly and Cuckoo Search Algorithms, 2018.



Krom-Nikel Kaplı Segmanların Segman Silindir Çifti Arasındaki Sürtünme Ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi

İdris CESUR^{1*}, Mehmet AKGÜNDÜZ²

¹ Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Sakarya/ Türkiye

² Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Enstitüsü, Makina Mühendisliği EABD, Sakarya/ Türkiye

İdris CESUR ORCID No: 0000-0001-7487-5676

Mehmet AKGÜNDÜZ No: 0000-0002-6213-7155

*Sorumlu yazar: icesur@subu.edu.tr

(Alınış: 05.11.2020, Kabul: 15.02.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Anahtar Kelimeler
Sürtünme,
Aşınma,
Segman,
Kaplama

Öz: İçten yanmalı motorlarda güç kayıplarının en büyük sebebi sürtünmelerden kaynaklı kayıplardır. Bu kayıplar motor içinde çalışan parçaların birbirine sürtünmesi sonucu meydana gelmektedir. Motorlarda çalışan parçalar arasında meydana gelen sürtünme ile hem malzeme kaybı hem de performansta azalmalar meydana gelmektedir. Sürtünme kaybının büyük bir bölümü segman silindir çifti arasında meydana gelmektedir. Bu çalışmada, ham segman krom ve nikel malzemelerin kaplanması durumunda segman-silindir çifti arasındaki oluşan sürtünme ve aşınma davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel olarak, farklı sıcaklık, yük ve hızın sürtünme ve aşınma karakteristiği üzerine etkileri araştırılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda; düşük devirlerde sürtünmeye maruz bırakılan silindir gömleği ve segman numunelerinin, daha yüksek devirlere göre daha fazla aşınmaya maruz kaldığı saptanmıştır. Ayrıca, farklı yüklerde yapılan deneylerde ise yük değeri arttıkça sürtünme ve aşınma miktarları artmıştır. Kaplamalar karşılaştırıldığında, nikel kaplamalı segmanın krom segmana göre daha düşük sürtünme katsayısı ve aşınma miktarı gözlemlenmiştir. Çalışmada silindir gömleğindeki en düşük aşınma miktarı; nikel kaplı segmanda 40N yük, 150 d/d ve 80 °C' de 0,11 g'dır. Silindir gömleğinde maksimum aşınma miktarı ise krom kaplı segmanda, 150 d/d' da ve 80°C 0,16 g' dır. Segman numunesindeki aşınma miktarları incelendiğinde; minimum aşınma miktarı 40N, 80 °C ve 150 d/d' da 0,02 g olarak tespit edilmiştir.

75

Investigation of the Friction and Wear Characteristics of Chrome-Nickel Coated Rings Between Ring Cylinder Pairs

Keywords
Friction,
Wear,
Piston ring,
Coated

Abstract: In internal combustion engines, friction losses are the major cause of power losses. These losses occur as a result of the friction of parts working in the engine to each other. With the friction between the parts working in the engines, both material loss and performance decrease occur. Most of the friction loss occurs between the piston ring and cylinder pair. In this study, the friction and wear behaviors between the ring-cylinder pair in case of coating raw ring chrome and nickel materials were investigated experimentally. In the experiments, the effects of different temperature, load and speed on the friction and wear characteristics were investigated. As a result of the experimental study; It was determined that cylinder liner and ring samples, which were subjected to friction at low speeds, were exposed to more wear than at higher speeds. In addition, in the experiments conducted at different loads, the amount of friction and wear increased as the load value increased. In the study, the lowest abrasion amount in the cylinder liner is 40N load in nickel piston ring, 0.11 g at 150 rpm and 80 °C. The maximum wear amount in the cylinder liner is 0.16 g at 150 rpm and 80 °C in the chrome piston ring. When the amount of wear in the ring sample is examined; the minimum wear amount has been determined as 0.02 g at 40N, 80 °C and 150 rpm.

1. GİRİŞ

Dünya üzerinde petrol tüketiminin artmasına karşın petrol rezervleri giderek azalmaktadır. Bu durum yeni

enerji kaynaklarının araştırılmasına neden olmaktadır. Bu ihtiyaçların küçük bir kısmı yeniden kazanılabilecek olan yenilenebilir enerji ile giderilebilirken büyük bir kısmı ise halen geri kazanılamamaktadır. Geri kazanmayı arttırmak için mevcut sistemlerde iyileştirme

ve verimsel artış arayışlarını zorunlu kılmaktadır. Bunun için malzeme kalitesi, sürtünme özelliği, aşınma dayanımı ve mukavemet özellikleri günümüz üretim teknolojisinde önemli yer tutmaktadır[1-3].

İçten yanmalı motorlarda, piston segmanları ve silindir arasındaki aşınma ve sürtünmeyi azaltmak yakıt tüketimini azaltırken performansı da arttırmaktadır. Bunu yapmak için segmanlar farklı malzemelerle kaplanmıştır [4]. Gelişen teknolojiye rağmen otomotiv sektöründe halen sürtünme kaybı ve verim düşüktür. Verim kaybının bir değer sebebi de çalışan parçalar arasındaki malzeme uyumudur. Sürtünme kuvveti birbiri ile çalışan parçaların malzemelerine ve yüzey pürüzlülüğüne bağlıdır [4]. Sürtünme kuvvetini optimum değerlere çekebilmek için araştırmalar hala sürmektedir. Aksi durumda sürtünme ve aşınma, parçalar arası boşluğun artmasına, istenmeyen hareket serbestliğine, hassasiyet kayıplarına ve malzemenin kırılmasına sebep olmaktadır [1-6].

İçten yanmalı motorlarda sürtünme, toplam güç kaybının önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Çalışma prensibine göre silindir içerisindeki yakıt-hava karışımının yanması sonucu oluşan basınç, piston-biyel-krank mekanizmasıyla işe dönüştürülür ve çıkış miline aktarılır. Bu aktarımda, işin bir kısmı sürtünmeleri yenmek için harcanmaktadır. Motorlarda mekanik sürtünme bölgeleri: Piston grubu, supap düzeneği, krank mili (yataklar) ve diğer donanımlardır (yağ pompası vb.). Piston-silindir çifti sürtünme kayıplarına en çok sebep olan parçalardan biridir [1,8,9].

Silindir içinde yanma sonrasında meydana gelen basınç nedeniyle segmanlar silindir duvarlarına doğru bir kuvvet ile yaslanmaktadır. Bu etkileyen kuvvet nedeniyle segman silindir çifti arasında sürtüne ve aşınma meydana gelmektedir. Segmanların motorlarda iki temel görevi vardır. Bunlar; yanma odasındaki oluşan yüksek yanma basıncının kaçmasına engellemek ve silindir gömleğindeki fazla yağı sıyırmaktır. Segmanların bu işlemleri yapabilmeleri için silindir gömleğine bir kuvvet ile baskı yapmaları gerekmektedir. Yapılan bu baskı kuvveti segman ve silindir gömleği arasında aşınmaya neden olmaktadır. Ayrıca silindir gömleğindeki maksimum aşınma miktarı ÜÖN'da (üst ölü nokta) oluşmaktadır. ÜÖN'da aşınmanın yüksek olmasının nedeni, yağlama diğer bölgelerden düşük seviyede gerçekleşmesi ve yanma olayı nedeniyle yağlama yağının yanmasından kaynaklanmaktadır [10].

Segmanların özelliklerine bakıldığında genellikle dökme demirlerden imal edildikleri bilinmektedir [11]. Segmanları yüksek sıcaklık ve basınç altında zorlu çalışma koşullarından korumak için farklı alaşım ve malzemeler ile kaplanmaktadır. Piston segmanlarının malzemeleri, segmanların performans karakteristiğine ve hangi koşullar altında çalışmak zorunda olduklarına bakılarak seçilir. Çünkü iyi esneklik ve korozyona karşı direnç olduğu kadar, aşırı kullanım koşulları altında hasara karşı yüksek dayanım da önemlidir. Hasara sebep olan durumlar yüksek aşınma sonucunda meydana gelir.

Makine elemanlarının yaklaşık olarak % 70'inin işe yaramaz hale gelmesinin sebebi aşınmadır [12].

Ryk ve ark. [13], Segmandaki sürtünmeyi azaltmak için lazer kaplama yöntemini (LST) kullanmışlardır. Deney aşamasında kaplamalı ve kaplamsız segmanı kullanarak sürtünmeye etkisini araştırmışlardır. Deney sonucunda kaplamalı segmanda %25 daha az bir sürtünme görülmüştür. Simon ve ark. [14], Bir aşınma cihazında farklı oranlarda farklı yakıtlar kullanarak farklı malzemelerle sürtünme ve aşınmayı araştırmışlardır. Segman malzemesi olarak paslanmaz nitrür çelik (NSS) ile paslanmaz krom kaplı çelik kullanmışlar ve bu segmanlara krom nikel (CrN), PVD ile (DLC) kaplama yapmışlardır. Guizhen ve ark. [15], Düşük sıcaklıklarda katı yağlama ile yüzey karakteristiklerini ve tribolojik özellikleri araştırmışlardır. 1045 çeliğe iki çeşit kaplama uygulayıp dizel motorlarının silindirlerinde katı yağlama yaparak sürtünme ve aşınma karakteristiklerini deneysel olarak incelemiştir. Deneysel sonuçlara göre iyon kaplı molibdene çift kaplı iyon-proton ile kaplayarak daha az sürtünme ve daha sınırlı aşınma elde etmişlerdir. Truhan ve ark. [16], çalışmalarında segman-silindir arasındaki sürtünme ve aşınmayı incelemiştir. Çalışmalarında segman-silindir çifti arasındaki sürtünme ve aşınmayı bir aşınma cihazında incelemiştir. Farklı yağları ve farklı sıcaklıklarda yük uygulamak suretiyle segman malzemesinin sürtünme davranışı araştırmışlardır. Ayrıca 100°C de sınır yağlamada ve farklı yağlama şartlarında sürtünmeyi etkisini incelemiştir. Aşınma testinde ise 240 N yük altında test etmişler ve aşınma miktarını ölçmüşlerdir. Liu [17], yapmış olduğu çalışmada, dizel motor silindirlerinin aşınma önleyici özelliklerini ortaya çıkartmak için silindir gömleği ve piston segmanının çalışma durumu taklit edilmiştir. Bunun için dinamik sürtünme katsayısını ve aşınma derinliğini ölçmek amacıyla bir SRV IV aşınma test cihazı kullanılmıştır. Aşınmış yüzey topografyası taramalı elektron mikroskobu ile gözlenmiştir. Sonuçlar, aynı sürtünme çiftinde segman aşınmasının silindirinkinden daha büyük olduğunu göstermiştir. Qu, ve ark. [18], yapmış oldukları araştırmada ağır hizmet tipi dizel motorlarının, piston segmanları ve silindir gömleklerinin sürtünme ve aşınma davranışlarını incelemiştir. Deneysel çalışma sonucunda, yüzey dokusunun farklı yüklerde sürtünme ve aşınma performansı üzerinde çeşitli etkiler yarattığını göstermektedir. Düşük yüklerde aşınma miktarı düşük iken yük miktarı arttıkça aşınma miktarını arttığını saptamışlardır. Ayrıca yüksek yükte honlama uygulanmış yüzey dokusu yağlamayı geliştirmiştir. Bir piston segmanının krom kaplanması aşınma direnci performansını arttırmıştır. Ayrıca, silindir gömleğinin honlama yapılmış kabartmalı yüzey dokusu, piston segmanlarının aşınma kaybını azaltmada önemli bir rol oynamıştır. Abdullah ve ark. [19], yapmış oldukları çalışmada, segmanı difüzyon yöntemi ile kaplamışlardır. Bunun için piston segmanı ASSAB DF-3 çelikten ve % 0,9 karbon (C), % 0.85 krom (Cr), % 96,6 demir (Fe), % 1,2 manganez (Mn) ve % 0.55 titanyum gibi çeşitli maddelerden yapılmıştır. Sürtünme ve aşınmayı iyileştirmek için, segman difüzyon kaplama tekniği kullanılarak % 99,5 krom tozu ile kaplanmıştır. Bu

sayede segmanın, aşınma direncinden ötürü orijinal piston segmanına kıyasla daha yüksek bir sertlik sağlar. Bu sayede daha düşük aşınma miktarını olduğunu saptamışlardır. Hirapara ve ark. [20], çalışmalarında, piston segmanına molibden kaplamışlardır. Molibden kaplı piston segmanının aşınma direnci, sıradan dökme demir piston segmanlarına kıyasla yüksektir. Deneysel çalışmada motorun performans parametreleri ve egzoz emisyon değerlerini deneysel olarak araştırmışlardır. Sonuç olarak plazma püskürtme yöntemi kaplanan segmanın aşınma direnci daha düşük olduğunu saptamışlardır.

Bu çalışmada, motorlarda kullanılan segman numunesinin krom ve nikel kaplanmasıyla sürtünme ve aşınma üzerine etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Deneyler farklı devir, sıcaklık ve yük koşulları altında gerçekleştirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Çalışmada, motorlarda % 15'e varan mekanik kayıpların yaklaşık yarısını oluşturan piston-silindir çifti arasındaki sürtünme ve aşınma davranışları incelenmiştir[22,23]. Aşınma miktarını ve sürtünme katsayısını belirlemek için bir aşınma cihazı kullanılmıştır. Aşınma cihazı, motorlarda segman- silindir çiftinin çalıştığı gibi doğrusal bir hareket yaparak çalışmaktadır (Şekil 2.1).

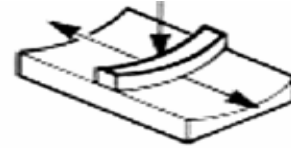


Şekil 2.1. Aşınma test cihazı

Deneyler farklı devir, sıcaklık ve yük şartlarında gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneylerinde her bir devir, sıcaklık ve yük koşulları için ayrı segman ve silindir gömleği numunesi kullanılmıştır. Deney düzeneğinde segman ve silindir gömleği direnç-termistör kontrolüyle 30°C ve 80°C sıcaklıklara çıkarılıp, deneyler bu sıcaklık şartlarında yapılmıştır. Seçilen bu sıcaklıklar motorun rejim ve yağlama sıcaklığıdır. Kaplanan malzemelerin mikro yapısı ve segman yüzeylerinin taranması için deneylerden sonra SEM (Scanning Electron Microscope, taramalı elektron mikroskopu) görüntüleri alınmıştır. EDX analizi de alınarak elementel içerikler saptanmaya çalışılmıştır. Taramalı elektron mikroskopu, odaklanmış bir elektron demeti ile numune yüzeyini tarayarak görüntü elde eden bir elektron mikroskopudur.

Aşınma deneyleri, gömlek ve segman numunesinin bağlanabildiği "karşılıklı tip aşınma" cihazında yapılmıştır. Kullanılan cihaz ASTM G-133 standardına uygundur. Aşınma cihazında segman ve gömlek

numunesi küçültülerek kullanılmıştır. Kullanılan segman numuneleri orijinal çapta olup 3mm genişliğindedir. Aşınma testlerinde aşınma miktarı ağırlık fark metodu ile belirlenmiştir. Bu nedenle hassas terazide gömlek aşınma miktarının ölçülebilmesi için gömlek numuneleri boyu 120 mm ve kalınlığı ise 5mm ebatlarında kesilmiştir. Deneylerde, her bir test için yeni segman ve gömlek numunesi kullanılmıştır. Şekil 2.2'de segman, gömlek numunesi ve hareket yönü şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Segman-gömlek numunelerinin şematik görünümü

Aşınma cihazında 1,5 kW'lık üç fazlı DC motor kullanılmıştır. Maksimum devri 2200 d/d' dir. DC motorun hız ayarlamasında, 2 faz girişli, üç faz çıkışlı, 1 ile 60 Hz aralığında frekansı ayarlanabilen LG marka sürücü kullanılmıştır. Gömlek numunesinin bağlandığı yatağı ısıtmak için, 20 W gücünde 3 adet fişek ısıtıcı kullanılmıştır. Sıcaklığın istenilen değerde sabit kalması için devre kesicili bir termostat kullanılmıştır. Termostat probu gömlek numunesine yakın bir yere bağlanmıştır.

Deneylerde aşınma miktarı ağırlık fark metodu ile tespit edilmiştir. Aşınma miktarı tespitinde 0,0001 g hassasiyetinde bir hassas terazi kullanılmıştır. Deneylerde gömlek ve segman numunesi deneylere başlamadan önce etanol ile temizlenip her iki numuneden etanolün buharlaşması için kurutma işlemi yapıldıktan sonra hassas terazide ölçülmüştür. Numunelerin ağırlıkları tespit edildikten sonra deneylere başlanmıştır. Her deney sonrası tekrar numuneler etanol ile temizlenip kurutulduktan sonra hassas terazide ölçülmüştür. Ölçülen değerlerin farkı alınarak aşınma miktarları belirlenmiştir.

Sürtünme katsayısının belirlenmesi için segman numunesine gelen normal yüklerin belirlenmesi gerekmektedir. Normal yükler, segman numunesinin bağlandığı taşıyıcı kola istenilen değerleri verecek şekilde ağırlıklar asılarak verilmiştir.

Aşınma cihazında sürtünme katsayısının belirlenmesi için bir üç eksenli kuvvet sensörü kullanılmıştır (Şekil 2.3 ve Tablo 2.1). Deneylerde her bir yük ve devir için 60 saniye boyunca çalıştırılarak bilgisayara aktarılmıştır. Verilerin bilgisayara aktarılması şarj amplifikatörü, sinyal şartlandırıcı, DAQ kart ve BNC kablolar kullanılmıştır. Verilerin sensörden okunabilmesi ve excele aktarılması için Labview programı kullanılmıştır. Veriler bilgisayara 1000 çevrim olarak aktarılmış olup bu verilerin ortalaması alınarak normal kuvvet saptanmıştır. Ortalaması alınan sürtünme kuvvetlerinin normal yüklerle bölünerek ortalama sürtünme katsayıları belirlenmiştir. Çalışma devirleri 50,75,100, 125 ve 150 d/d, normal yükler için ise 40, 60, 80 ve 100 N olarak seçilmiştir. Motorlarda özellikle ilk hareket esnasında ve ÜÖN(üst ölü nokta) ve AÖN(alt ölü nokta) civarlarında

sınır sürtünme şartı hakim olduğundan deneyler esnasında özellikle düşük devir aralıkları seçilmiştir.



Şekil 2.3 Üç eksenli kuvvet sensörü (PCB2011)

Tablo 2.1. Kuvvet sensörü özellikleri (PCB2011)

| Özellikler | Değerler |
|---|----------|
| Z eksenli hassasiyeti (pC/N) | 3,37 |
| X ve Y eksenleri hassasiyetleri (pC/N) | 7,19 |
| Z eksenli maksimum ölçüm değeri (kN) | 4,45 |
| X ve Y eksenleri maksimum ölçüm değeri (kN) | 2,22 |
| Z eksenli maksimum kuvvet(kN) | 5,87 |
| X ve Y eksenleri maksimum kuvvetleri(kN) | 2,94 |
| Z eksenli maksimum moment (Nm) | 18,98 |
| X ve Y eksenleri maksimum moment (Nm) | 17,63 |
| Üst frekans limiti (kHz) | 90 |
| Sıcaklık limitleri (° C) | -73 +177 |

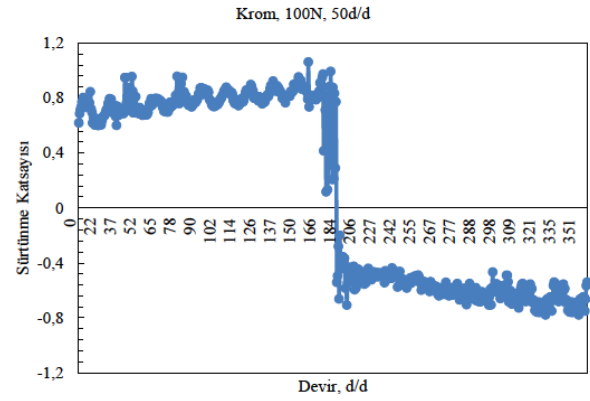
Ham segmanlar Senkron Metal kaplama A.S' de temin edilmiş olup, ham segmanların üzerine krom ve nikel kaplama tozu ile kaplanmıştır. Kaplama işleminin istenilen şartlarda gerçekleşmesi için segman tutucu aparatından faydalanılmıştır. Aparat sayesinde segman yüzeyine atılan kaplama kalınlığının bütün yüzeylerde eşit olması sağlanmıştır. Kaplama sonrası yüzeylere, yüzey pürüzlülüğünün istenen değerlerde olması için taslama işlemi uygulanmıştır. Segmanların nikel ve krom kaplanmasının amacı; malzemede meydana gelen aşınma miktarını ve sürtünme katsayılarını azaltmak, yüzeylerin korozyona karşı korumaktır[21].

3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

3.1. Sürtünme Deneyleri

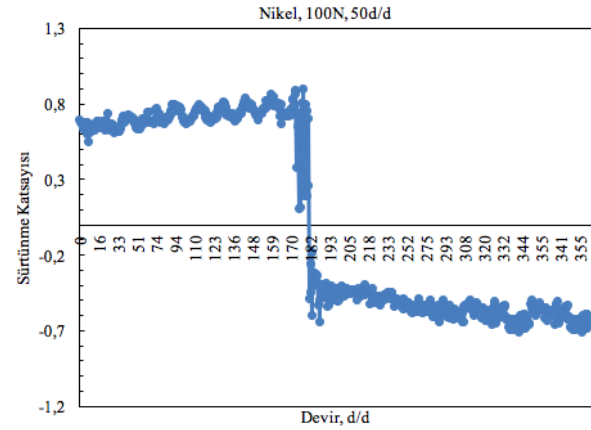
Sürtünme deneyleri, segman numunesine belirlenen yüklerin uygulanması ve segman numunesinin gömlek numunesi yüzeyine teması ile uygulanmıştır. Deneyler, segman numunesi sabit, gömlek numunesi ise hareketli bir tabla üzerine yerleştirilmiş olup segman-silindir çifti arasında gerçekleştirilmiştir.

İçten yanmalı motorlarda ilk hareket esnasında ÜÖN bölgesinde sınır sürtünme şartları hakim olduğundan deneyler düşük devir aralıkları seçilmiştir. Şekil 3.1 'de krom kaplı segmanın 100N ve 50d/d'daki sürtünme katsayısı değişim grafiği görülmektedir. Şekil incelendiğinde sürtünme katsayısı artı ve eksi değer aldığı görülmektedir. Bunun nedeni ileri harekette sürtünme kuvvetinin artı ölçülmesi, geri harekette ise bu değerlerin eksi ölçülmesidir. Şekilde sürtünme katsayısı pistonun ÜÖN' larda yön değiştirmek için durakladığı ve hızın sıfır olması nedeniyle sürtünme katsayısı artmaktadır. Çünkü sürtünme katsayısı direkt olarak hıza bağlı olarak değişmektedir. İçten yanmalı motorlarda da pistonun ÜÖN ve AÖN' larda yön değiştirmek için hızın sıfıra inmesi sürtünme miktarının artmasına neden olmaktadır.



Şekil 3.1. Krom kaplı segmanın sürtünme katsayısı değişimi

Şekil 3.2.'de nikel kaplı segmanın sürtünme değişimi gösterilmiştir. Şekil incelendiği takdirde sürtünme katsayısı pistonun ÜÖN'larda yön değiştirmek için durakladığı anda sürtünme katsayısı artmaktadır. Nikel kaplı segmanda da krom kaplı segman gibi ÜÖN ve AÖÜ' larda sınır sürtünme şartları hakim olmaktadır.



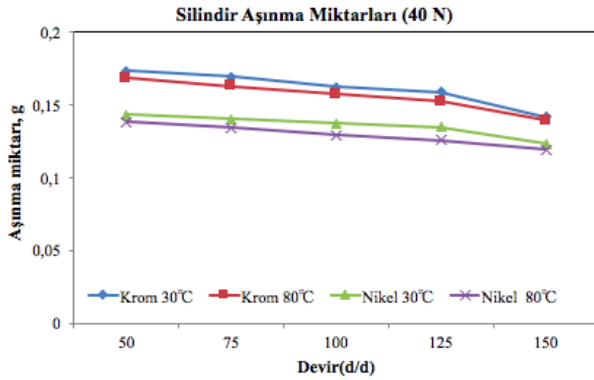
Şekil 3.2. Nikel kaplı segmanın sürtünme katsayısı değişimi

3.2. Aşınma Deneyleri

Aşınma deneyleri, segman numunesinin gömlek numunesine belirlenen yüklerin uygulanması sonucu oluşan yüzey teması ile gerçekleştirilmiştir. Deneylerde segman-silindir çifti arasında doğrusal hareket eden bir aşınma cihazı kullanılmıştır. Aşınma deneylerinde toplam kat edilen mesafe 1000 m olarak belirlenmiştir. Deneylerde segman ve gömlek numunesi her deney için yenilenmiştir.

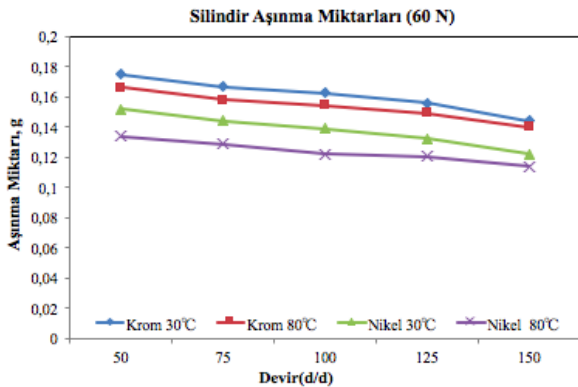
Şekil 3.3.'te bir silindir numunesinin 40N, 30°C ve 80°C deney şartlarında aşınma grafiği verilmiştir. Uygulanan yük miktarı düşük olması gömlek ve segman arasında dikey kuvvet etkisi daha az olduğu için aşınma miktarları daha düşük seviyede olmuştur. Silindirde aşınma miktarı en düşük nikel kaplı segman, 80°C ve 150 d/d' da elde edilmiştir. Nikel kaplı segmanda krom kaplı segmana göre tüm devirlerde ortalama %15 oranında azalmalar görülmüştür. Ayrıca sıcaklık arttıkça aşınma miktarı azalmaktadır. Motorun rejim sıcaklığı olan 80°C' de aşınma miktarı 30°C' ye göre daha düşüktür. Motorun ilk çalıştırma esnasında ısınma periyoduna kadar geçen sürede aşınma miktarının daha fazla olduğu

anlaşılmaktadır. Yüksek sıcaklıkta aşınma miktarının düşme nedeni; yağın içerisindeki aşınmayı azaltıcı katkıları, yüzey sıcaklığının artışı ile sürtünen yüzeyler arasında fiziksel ve kimyasal etkileşime daha çabuk girdiği düşünülmektedir[24].



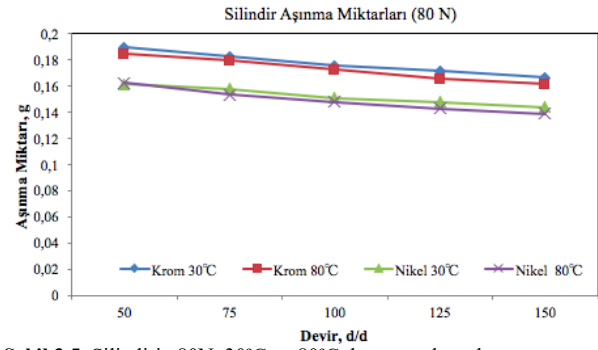
Şekil 3.3. Silindirin 40N, 30°C ve 80°C deney şartlarında aşınma miktarı

Şekil 3.4.'te bir silindir numunesinin 60N, 30°C ve 80°C deney şartlarında aşınma grafiği verilmiştir. Şekil incelendiği taktirde 40N' a göre yük miktarı arttıkça aşınma miktarı da artmaktadır. Devir sayısı arttıkça aşınma miktarı azalmaktadır. Bu azalma izafi hareket eden parçalar arasında yağlama rejimleri ile açıklanabilir. Hızın artması ile yağlama rejiminin hidrodinamik yağlamaya geçmektedir. Ayrıca yüzey pürüzlülüklerinin etkisi ile oluşan adhezif etki azalmakta ve böylece sürtünme katsayısında belirgin bir azalma görülmektedir. Kromun aşınma miktarı 150 d/d'da ve 80°C 0,14 g iken nikelin ise aynı devirde 0,11 g'dır.



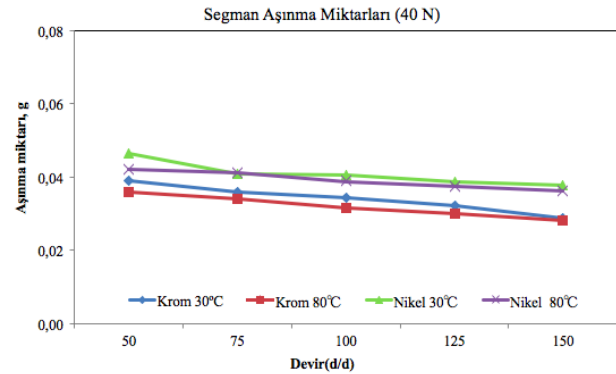
Şekil 3.4. Silindirin 60N, 30°C ve 80°C deney şartlarında aşınma miktarı

Şekil 3.5.'te bir silindir numunesinin 80N, 30°C ve 80°C deney şartlarında aşınma grafiği verilmiştir. Şekil incelendiği taktirde yük miktarı arttıkça silindirde oluşan aşınma miktarı artmaktadır. 40N ve 60N göre en fazla aşınma miktarı 80N yük altında elde edilmiştir. Ayrıca aşınma miktarı üzerinde devir etkilidir. Devir artışı ile birlikte aşınma miktarı da azalmaktadır. Nikelin aşınma miktarı krom segmana göre daha düşük olduğu görülmektedir. Kromun aşınma miktarı 150 d/d'da ve 80°C 0,16 g iken nikelin ise aynı devir ve sıcaklıkta 0,13 g'dır. Krom segmanın nikel segmana göre tüm devirler için ortalama %15 oranında silindir aşınma miktarlarında azalmalar tespit edilmiştir.



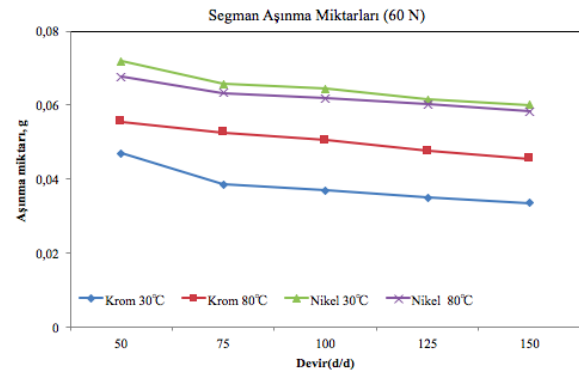
Şekil 3.5. Silindirin 80N, 30°C ve 80°C deney şartlarında aşınma miktarı

Şekil 3.6.'da segman numunesinin 40N, 30°C ve 80°C deney şartlarında aşınma grafiği verilmiştir. Nikelin aşınma miktarı krom segmana göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Aşınma miktarındaki bu değişim malzemelerin sertliği ve yüzey pürüzlülüğünden kaynaklandığı düşünülmektedir. Kromun aşınma miktarı 150 d/d'da ve 80°C 0,02 g iken nikelin ise aynı devirde 0,03 g'dır. Maksimum aşınma miktarında azalma oranı 150 d/d ve 80°C' de %20'dir.



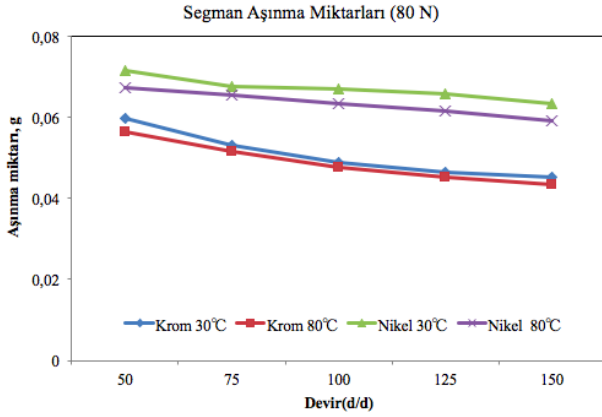
Şekil 3.6. Segmanın 40N, 30°C ve 80°C deney şartlarında aşınma miktarı

Şekil 3.7.'de segman numunesinin 60N, 30°C ve 80°C deney şartlarında aşınma grafiği verilmiştir. Şekil incelendiği takdirde krom kaplı segmanın aşınma miktarı nikelin aşınma miktarına göre daha düşük olduğu görülmektedir. Kromun aşınma miktarı 150 d/d'da ve 80°C 0,04 g iken nikelin ise aynı devirde 0,05 g'dır. Ayrıca grafik incelediğinde devir sayısı arttıkça aşınma miktarı azalmaktadır. Maksimum aşınma miktarında azalma oranı 150 d/d ve 80°C' de %21'dir.



Şekil 3.7. Segmanın 60N, 30°C ve 80°C deney şartlarında aşınma miktarı

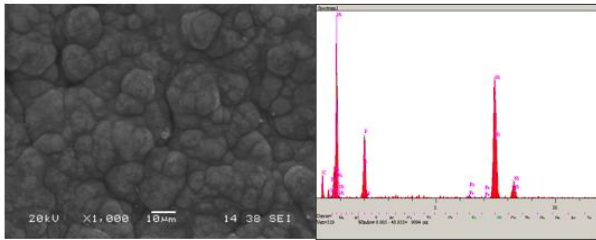
Şekil 3.8.'de segman numunesinin 80N, 30°C ve 80°C deney şartlarında aşınma grafiği verilmiştir. Kromun aşınma miktarı nikel segmana göre daha düşük olduğu görülmektedir. Kromun aşınma miktarı 150 d/d'da ve 80°C 0,04 g iken nikelin ise aynı devirde 0,05 g'dır. Motor devri arttıkça yağlama rejimi değişmesinden kaynaklı olarak aşınma miktarında azalmalar tespit edilmiştir. Maksimum aşınma miktarında azalma oranı 150 d/d ve 80°C' de %25'dir.



Şekil 3.8. Segmanın 80N, 30°C ve 80°C deney şartlarında aşınma miktarı

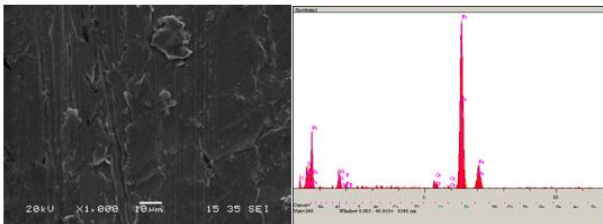
3.3. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Elementel Analiz incelemeleri (EDX)

Deneysel çalışma için gerekli olan segman kaplama maddeleri olan nikel ve krom kaplama tabakalarının segman üzerindeki mikro yapıları ve elementel analiz sonuçları aşağıda verilmiştir. Şekil 3.9.'de nikel kaplı segmanın SEM görünüşü ile elementel analizi verilmiştir. Analiz sonucu Ni, P, C, O, Fe elementlerinin mevcut olduğu görülmüştür. Nikel 'den sonra en fazla fosfor elementi görülmüştür.



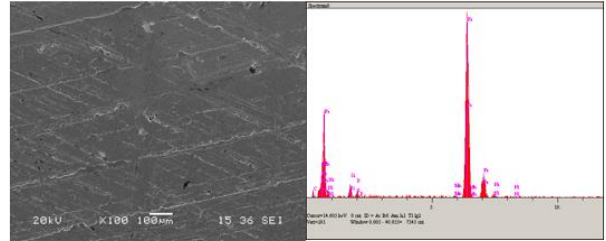
Şekil 3.9. Nikel kaplamanın SEM görünüşü ve EDX analizi

Şekil 3.10.'da krom kaplı segmanın SEM görünüşü ile elementel analizi verilmiştir. Analiz ile ortaya çıkan elementel tabloda Fe, Cr, C, Si, P, görülmektedir. Krom kaplamada demir oranı fazlaca görülmektedir.



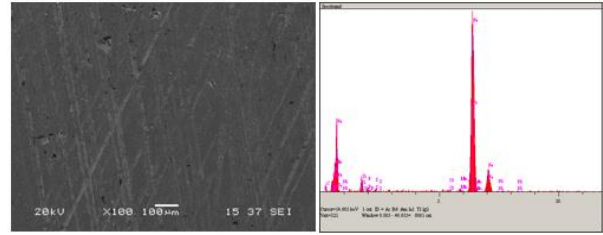
Şekil 3.10. Krom kaplamanın SEM görünüşü ve EDX analizi

Şekil 3.11.'de Nikel kaplanmış segmanın silindirik yüzeyinde meydana getirdiği aşınmanın SEM görünüşü ile elementel analizi verilmiştir. SEM görüntüsüne bakıldığında, gömlek numunesine etkileyen yük ve arttıkça aşınma miktarı artmaktadır. Aşınma, gömlek numunesinde honlama çizgilerinin yok olmasına veya azalmasına neden olmaktadır. Honlama çizgilerinin yok olması yağın, aşınan yüzeyler arasında depolanmasını engellemektedir. Bu etki motorlardaki aşınma miktarını arttırmaktadır. Silindirik gömleği numunesi içerisinde analize göre fazlaca oranda Fe, Si, P, C, Ni, Mn bulunmaktadır.



Şekil 3.11. Nikel kaplanmış segmanın silindirik yüzeyinde meydana getirdiği aşınmasının SEM görünüşü ve EDX analizi

Şekil 3.12.'de krom kaplanmış segmanın silindirik yüzeyinde meydana getirdiği aşınmanın SEM görünüşü ile elementel analizi verilmiştir.



Şekil 3.12. Krom kaplanmış segmanın silindirik yüzeyinde meydana getirdiği aşınmasının SEM görünüşü ve EDX analizi

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada farklı malzeme kaplı segman numuneleri ile silindirik gömleği arasında, içten yanmalı motor prensibine göre çalışan bir aşınma deney cihazında aşınma ve sürtünme testleri yapılmıştır. Testler 30°C ve 80°C sıcaklık şartlarında gerçekleştirilmiştir. Çalışma devirleri 50 d/d, 75 d/d, 100 d/d, 125 d/d, 150 d/d, normal yükler ise 40N, 60N, 80N ve 100N olarak seçilmiştir. Düşük devirlerde ölü noktalardaki sürtünme direnci fazla olduğundan, deneyler düşük devirlerde yapılmıştır.

Aşınma cihazında yapılan deneylerde sürtünme katsayısı motor devrinin artması ile azalmıştır. Aynı şekilde pistonun yön değiştirmek amacıyla ölü noktalarda hızın sıfıra inmesi sürtünme katsayısının artmasına neden olmaktadır. Diğer noktalarda ise hızın artmasına bağlı olarak sürtünme katsayısı azalmıştır. Ayrıca farklı segman kaplamaları ile yapılan deneylerin tümünde sürtünme katsayısı sıcaklığın artması ile azalmaktadır. Krom kaplı segmanda yapılan deneysel çalışma sonucunda, 100 N yük ve 50d/d'da ortalama sürtünme

katsayısı 0,75'dir. Nikel kaplı segmanda ise aynı şartlar altında ise sürtünme katsayısı ortalama 0,69'dır.

Segman numunesinin farklı kaplama malzemeler ile kaplanması durumunda yapılan aşınma deneylerinde: yükün artması aşınma değerlerinin artmasına neden olmaktadır. Deneysel çalışma sonucunda: gömlek numunesinde honlama çizgilerinin zarar görmesine sebep olmaktadır. Bu durum motorlarda yağın gömlek üzerinde depolanmasında engelleyerek yağlama rejiminin hidrodinamik yağlama rejiminden karışık yağlama rejime geçmesinde neden olarak motor ömrünü azaltmaktadır. Aşınma miktarı hızın ve sıcaklığın artması ile azalmaktadır. Silindir aşınma miktarı; krom kaplı segmanda minimum aşınma miktarı 40N, 150 d/d ve 80 °C'de 0,13 g'dır. Nikel kaplı segmanda yapılan deneylerde silindir gömleğindeki minimum aşınma miktarı ise 40N, 150 d/d ve 80 °C'de 0,11 g'dır. Segman numunesinde elden edilen sonuçlara göre minimum aşınma miktarları 40N, 80 °C ve 150 d/d'da 'krom ve nikel kaplı segmanlarda sırasıyla 0,02 g ve 0,03 g'dır.

Deney sonuç verilerine bakıldığında şu şekilde bulgular yorumlanabilir:

- Segman ve silindir gömleği arasındaki belirgin aşınma ve sürtünme düşük devir ve yüksek yük değerlerinde görülmüştür.
- Kaplamalar uygun teknikte yapıldığında, malzemenin koruyucu özelliklerini arttırdığı görülmüştür.
- Yük arttıkça tüm malzemelerde sürtünmenin arttığı görülmektedir.
- İçten yanmalı motorlarda rejim sıcaklığına doğru geldikçe optimum kayıplar meydana gelip, sürtünme azalmıştır.
- Silindir gömleği içerisindeki honlama çizgileri zamanla azalmış, bu da yüzeyde yağ tutulma kabiliyetini azaltmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Akgündüz M. Farklı Malzemelerle Kaplanmış Segman-Silindir Çiftinin Sürtünme ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi: Yüksek Lisans Tezi. Lisansüstü Eğitim Enstitüsü: Sakarya: Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, 2019.
- [2] Priest M, Taylor, C.M., Automobile engine tribology-approaching the surface. *Wear*. 2000;241, 193-203.
- [3] Cesur İ, Ayhan V, Parlak A. Farklı Yakıt Karışımlarının Segman-Silindir Çifti Arasındaki Sürtünme ve Aşınma Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi. 10. Uluslararası Yanma Sempozyumu. Sakarya. 2008.
- [4] Cesur İ. Farklı yakıt karışımlarının segman-silindir çifti arasındaki sürtünme ve aşınma özelliklerine etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Sakarya. 2008.
- [5] Cesur I, Ayhan V, Parlak A, Savas O, Aydın Z. The Effects of Different Fuels on Wear Between Piston Ring and Cylinder, *Advances in Mechanical Engineering*. Volume 2014. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/503212>.

- [6] Bayvas Ş. Genel Mekanik. Meb. Ankara. 1978.
- [7] Hutchings I.M. Tribology: friction and wear engineering materials. Edward Arnold. 1992. London.
- [8] Andersson BS. Company perspectives in vehicle tribology-volvo. Leeds-lyon symposium on tribology-vehicle tribology, Elsevier Science. 18, 503-506. 1992.
- [9] Ruddy BL, Economou PN, Dowson D. A review of studies of piston ring lubrication. *Proc. 9th Leeds-Lyon Symp. on tribology: Tribology of Reciprocating Engines*, Paper 5, 1, 109-121. 1982.
- [10] Hazar H. Bir dizel motor silindir yüzeyinin seramik malzeme ile kaplanarak aşınma davranışının deneysel incelenmesi. Doktora Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Fırat Üniversitesi. Elazığ. 2004.
- [11] Andersson P, Tamminen J, Sandström CE. Piston ring tribology, A literature survey. VTT Tiedotteita. Finland. 2002.
- [12] Hazar H, Öner C. CrN kaplamanın dizel motor silindir gömleği aşınmasına etkisi. *Mühendis ve Makine*: 2007. 48, 14-18.
- [13] Ryk G, Etsion I. Testing piston rings with partial laser surface texturing for friction reduction. *Wear*. 2006: 261 792-796.
- [14] Simon CT, Hong G. Tribological characteristics and surface interaction between piston ring coatings and a blend of energy-conserving oils and ethanol fuels. *Wear*, 2003: Volume 255. Issues.1276-1285.
- [15] Grudzys E, Meskinis S, Juraitis A. Influence of WC/Co Concentration on Structure and Mechanical Properties of the Thermally Sprayed WC/Co-NiCrBSi Coatings. *Materials Science*. Vol:15 No.1. 2009.
- [16] Truhan J., Qu J, Blau P J. A ring test to measure friction and wear of heavy duty diesel engine piston rings and cylinder liners using realistic lubricants. University of Tennessee. Knoxville TN 37996, USA.
- [17] Liu, CS. Experimental investigation of influence of different surface textures on wear characteristics of straight type diesel engine cylinders. *Applied Mechanics and Materials*.2014: 443, 141-144.
- [18] Qu, SH, Yang Z, Research on friction and wear performance of heavy duty diesel engine piston rings and cylinder liners. *International Journal of Advances on Automotive and Technology Promech Corp. Press*. Istanbul. Turkey. 2017.
- [19] Abdullah SE, Muchtar A, Ariffin AK. Friction reduction in compressed natural gas direct injection engine using piston rings with diffusion chromium coating. *Journal of applied sciences*. 2010:10, 462-470.
- [20] Hirapara BB, Sharma HR, Ranjan RK., Patel PD. A Technical research on piston ring coating of single cylinder four stroke SI engine fuelled with compressed natural gas. *International Journal of Science Technology & Engineering*. 2015. 1, 270-275.
- [21] Woydt, M. ve Ebrecht, J., Testing friction and wear of the tribosystem piston ring and cylinder liner outside of engines, *Tribotest*, 14, 113-126, 2008.

- [22] Taylor, C.M., Automobile engine tribology— design considerations for efficiency and durability, *Wear* 221,1–8, 1998
- [23] Taylor, C.M, *Engine Tribology*. Elsevier Science Publishers, B.V.J., 1993.
- [24] Mcqueeen, J.S., Gao, H., Black E.D., Gangopadhyay, A.K., Jensen, R.K., Friction and wear of tribofilms formed by zinc dialkyl dithiophosphate antiwear additive in low viscosity engine oils, *Tribology International*, 38, 289–297, 2005.



Determining Electromagnetic Energy Resolution of a Combined GdTaO₄ Crystal-Photodetector System with a Simulation Study

Ali ÖZTÜRK^{1,2}, Gural AYDIN^{1*}

¹ Hatay Mustafa Kemal University, Faculty of Arts and Science, Department of Physics, Hatay, Turkey

² now at, Turkish Red Crescent Community Center, 33070, Akdeniz/Mersin, Turkey

Ali ÖZTÜRK ORCID No: 0000-0002-1404-6515

Gural AYDIN ORCID No: 0000-0002-4996-1174

*Corresponding author: gaydin@mku.edu.tr

(Alınış: 09.11.2020, Kabul: 18.03.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Keywords

Energy resolutions, Geant4, High density scintillator, Homogeneous electromagnetic calorimeter

Abstract: Scintillators used as active materials of calorimeters play an important role in particle physics experiments. The optical, scintillating and physical properties of scintillation materials affect performances of calorimeters significantly. In this work, GdTaO₄ crystal with very high density was examined as an active material in a homogenous calorimeter using Geant4 simulation code. This paper presents the results of the electromagnetic performances of a homogenous calorimeter with active material of GdTaO₄. The calorimeter modules were reconstructed in the simulation program in different geometries and energy resolution values for various scintillator-photodetector combinations were obtained as a function of incident gamma beam energies. The predictions of the improvements in energy resolutions with the interested scintillator-photodetector combinations compared to previous studies were noted.

Birleşik GdTaO₄ Kristal-Foto Detektör Sistemi için Elektromanyetik Enerji Çözünürlüğünün Benzetim Çalışması ile Belirlenmesi

Anahtar Kelimeler

Enerji çözünürlüğü, Geant4, Yüksek yoğunluklu sintilatör, Homojen elektromanyetik kalorimetresi

Öz: Kalorimetrelerin aktif malzemesi olarak kullanılan sintilatörler parçacık fiziği deneylerinde önemli rol oynamaktadır. Bu sintilasyon malzemelerinin optik, ışıltama ve fiziksel özellikleri kalorimetrelerin performansını önemli derecede etkilemektedir. Bu çalışmada, yüksek yoğunluklu GdTaO₄ kristali, bir homojen kalorimetrenin aktif malzemesi olarak Geant4 benzetim programını kullanarak incelenmiştir. Bu makale, aktif malzemesi GdTaO₄ olan bir homojen kalorimetresinin elektromanyetik performansını sunmaktadır. Benzetim programında kalorimetre modülü farklı geometrilerde inşa edilmiş ve gama ışını enerjilerine bağlı olarak farklı sintilatör-fotodetektör birleşimleri için enerji çözünürlüğü değerleri elde edilmiştir. Enerji çözünürlüklerindeki daha önce yapılan çalışmalara oranla öngörülen ilerlemeler not edilmiştir.

1. INTRODUCTION

Homogenous calorimeters used in particle physics experiments are designed solely with a scintillation material mainly to measure energy and direction of incident particles. The properties of scintillators affect performances of homogenous electromagnetic calorimeters in terms of scintillator-photodetector combinations in high energy and particle physics experiments. For example, the light yield of a scintillation material is an important factor to achieve required energy resolutions related to the photoelectron

statistics. Scintillation decay times in scintillators and signal formation in photodetectors should be fast enough for satisfying data taking rate. On the other hand, density of a scintillation material is very important factor for constructing compact calorimeters and having better spatial and energy resolutions since high density scintillators produce well defined light bursts. Since homogenous calorimeters uses long scintillators, self-absorption of the scintillators could be seriously effective in light collection at the photodetectors. If there is no self-absorption in the scintillator, measured transmission spectra of a given scintillator will be close to theoretical transmission limits which consider

multiple bounces of photons between two parallel ends. Another factor affecting the calorimeter performance is how well emission spectra of the emitted lights in the scintillator matches with photodetector's spectral response range and quantum efficiencies. Recently, PIN photodiodes and avalanche photodiodes (APD) were used in particle physics experiments: Hamamatsu S2744-08 PIN diode as the photodetector was used in BesIII [1], Babar [2], and BELLE [3] experiments. APD S8664-55 was used in Compact Muon Selenoid (CMS) experiment at CERN [4] with PWO crystals. The quantum efficiencies of the Silicon photodiodes (SPDs) are higher at relatively high wavelengths compared to those for the conventional photo multiplier tubes (PMT). This was one of the main reasons that recent experiments used SPDs with appropriate scintillators. Generally, SPDs have broad spectral range from infrared to high energy regions. They have high-speed response, high sensitivity, high stability, and low noise [5]. APD is suitable in the case of low light yield since it produces high current in short time. This is one of the main reasons to be used with PWO crystals for the electromagnetic calorimetry in the CMS experiment [6, 7].

The main focus of this study is to search how high density scintillator material could allow more compact calorimeter and achieving high energy resolutions. The material which was examined as the active material of a homogenous calorimeter is GdTO₄, which is a scintillator with the highest density (8.94 g/cm³) among current scintillators. It was grown by Czochralski method and reported that the high quality and bulk single crystal of GdTO₄ was first grown [8, 9]. Its pulse-height measurement, scintillation decays, thermal and hardness properties were also reported [8, 9]. Before that study, the growth of the crystal were either with inclusion and twins or were of small size which was not large enough for scintillation measurements. Its attenuation length has been reported to be 1 cm, which is second to PWO [10, 11]. GdTO₄ has transmission spectra indicating that it has no significant self-absorption within its emission spectra ranging from 400 nm to 700 nm peaking at 541 nm. It was shown that its scintillation light yield is about three times that of PWO whose light yield is 120 photons/MeV [12, 13]. Its scintillation fast and slow decay time constants were reported as 72.6 ns and 1236.2 ns, respectively [9]. It appears that the main drawback of the interested scintillator is its slow decay component. Future studies for understanding the luminescence mechanism of the material may eliminate this drawback. GdT_aO₄ is a crystal which has not been used so far in particle physics experiments in a calorimeter or its simulation study regarding to the electromagnetic performances has not been presented to the best of our knowledge. This study aimed to determine energy resolutions of a homogenous calorimeter consisting of promising GdT_aO₄ scintillator in different sizes as scintillator-photodetector combinations. The study was performed with Geant4 [14-16] simulation program and experimental results of the scintillation and optical properties were used in the calculations leading to the energy resolution parametrization.

2. MATERIAL AND METHOD

The first contribution to the total energy resolution is the shower fluctuation with energy leakage out of detector volume which mainly depends on material itself and detector geometry. This effect will manifest as energy fluctuations deposited in a scintillation material. The second one is photoelectron statistics contribution regarding to the number of produced primary photoelectrons in photodetectors coupled to scintillators. Photodetector signal fluctuations will be related to the photoelectron statistics. The photoelectron statistics mainly depends on light yield of a scintillator material, photon transmission in the material through the photodetectors, and photodetector quantum efficiency as a function of scintillation emission spectrum. Another possible factor which could affect the energy resolution is the electronic noise that is defined as signal production in photodetectors without any incident beam on the detector. This factor will strongly depend on electronics in signal readout. On the other hand, some experimental techniques such as applying energy threshold for the calorimeters could reduce electronic noise contribution significantly.

In this study, the contribution to the energy resolution due to fluctuation in electromagnetic shower containment were determined by fitting the energy deposition distributions with the function shown by Equation 1 [17]. The energy deposition distribution were obtained with Geant4 (Geometry and Transportation) simulation program in which the physics list of standard electromagnetic process was selected. The related distributions were obtained for several detector geometries as a function of incident beam energies.

$$F(x) \equiv N \exp \left(-\frac{1}{2\sigma_0^2} \ln^2 \left(1 - \frac{x - x_p}{\sigma_E} \eta \right) - \frac{\sigma_0^2}{2} \right) \quad (1)$$

where $\sigma_0 = 2/\xi \sinh^{-1}(\eta\xi/2)$ and $\xi = 2\sqrt{\ln 4}$. Here, x_p is the peak value and η is defined as the asymmetry parameter which measures the tail occurring at lower edges in the energy deposition distributions, N is the normalization factor, and σ_E is the full width at half maximum (FWHM) divided by ξ . In this case, the energy resolution is determined taking the ratio of σ_E to x_p . A Typical fit belonging to the distribution for 1 GeV gamma beam on the scintillator with 100 mm x 100 mm transverse size and 20 cm thickness is shown in Figure 1.

The intrinsic energy resolutions were determined for various incident gamma beam energies between 100 MeV to 2 GeV. Numerous detector geometries were built in the simulation program, which could be considered in the matrix forms of 3 x 3, 4 x 4, and 5 x 5 scintillator slabs. Each scintillator slab has the transverse size of 20 mm x 20 mm and the thicknesses of the slabs were arranged in three lengths of 16 cm, 18 cm, and 20 cm. In this way, nine geometric configurations were simulated within the program. In this setup, the detector

module has the transverse sizes of 60 mm x 60 mm, 80 mm x 80 mm, or 100 mm x 100 mm.

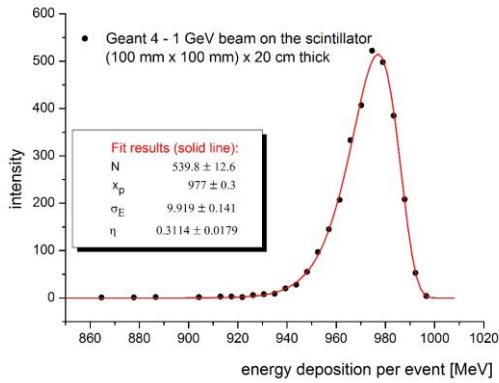


Figure 1. Energy deposition distribution with fit the function (solid line). 1 GeV incident gamma beam on GdTaO₄.

The detector intrinsic resolutions (energy leakage contribution) were determined by fitting the energy deposition distributions with the function given with Equation 1. It was figured out that these energy resolutions follow quite well with beam energies with the function given by Equation 2.

$$\frac{\sigma(E)}{E} = \frac{a_{lateral}}{E^{1/4}} \oplus b \quad (2)$$

The symbol indicates a quadratic summation of neighboring items. Mainly, the energy leakage in transverse direction is represented with $a_{lateral}$ and the leakage in the longitudinal direction appears in constant term.

Photodetector signal fluctuation contributes to the total energy resolution regarding to the number of produced primary photoelectrons and emission weighted excess noise factor which is related to the internal gain fluctuation. The photoelectron statistics term a_{pe} is determined with Equation 3 [6].

$$a_{pe} = \sqrt{\frac{\bar{F}}{N_{pe}}} \quad (3)$$

In the formula, \bar{F} refers to the emission weighted excess noise factor and N_{pe} refers to the number of primary photoelectrons produced at the photodetector for per GeV incident beam energy. Two types of photodetectors were considered in this study: a PIN diode and an APD. The spectral ranges for the APD S8664-55 and pin diode S2744-08 are reported between 320- 1100 nm, 340-1100 nm, respectively [5]. They well match with the emission spectra of the interested material. In this study, \bar{F} was determined as 3.1 for APD by taking account of wavelength dependent excess noise factor for the APD structure at the constant gain value of 50 [18]. Since PIN diodes have no internal gain, this value was taken as 1 in this case. The average number of primary photoelectrons was estimated by taking account of the material's average light yield and transmission spectra, photodetector emission weighted quantum efficiencies

and photodetector active area compared to the scintillator back face area. Since APD used in this study has much less size than PIN and it has excess noise factor, it will contribute to the energy resolution significantly. The ratios of the PIN and APD active areas to the area of the scintillator cross section were 1 and 0.125, respectively considering that each scintillator includes two photodetectors at rear face. The emission weighted quantum efficiencies were determined as 84% and 79% for APD and PIN photodetectors, respectively. These efficiencies were calculated by considering both emission spectrum of the scintillator [8] and quantum efficiencies of the photodetectors as a function of wavelength [5]. In this way, emission weighted quantum efficiencies were determined for each photodetector. The average scintillation light yield was taken as 360 photons/MeV in the calculations. The photostatistics term, a_{pe} , was determined for the detector geometries of 100 mm x 100 mm in transverse size and thicknesses of 20 cm and 18 cm in the unit of $\text{GeV}^{1/2}$ as 0.22 % and 1.04 % for PIN and APD, respectively. This fluctuation contributes to the total energy resolution with the function of type (a_{pe}/\sqrt{E}) , where is in GeV unit.

Previous studies showed that this type of simulation gives consistent results with experimental data and the estimation of the average number of photoelectrons has been reported reasonable when it is compared with experimental results by taking account of detector geometries [19, 20].

3. RESULTS AND DISCUSSION

Figures 2-4 shows the intrinsic energy resolution results for certain calorimeter thicknesses with different transverse sizes. The common property of these figures is that at lower beam energies, the transverse size becomes more effective and so the resolutions varies significantly with transverse sizes for a constant calorimeter thickness. Figures 5-7 shows the energy resolutions for the same transverse sizes to compare the results belonging to the different calorimeter thicknesses. It could be said that the resolutions varies more with calorimeter thicknesses at the larger transverse sizes especially for those with the 100 mm x 100 mm transverse area. The intrinsic resolutions reach the values of 1.67, 1.40, and 1.14% for the calorimeter with 80 mm x 80 mm transverse size and 18 cm thickness at the beam energies of 0.6, 1, and 2 GeV, respectively. For the calorimeter whose transverse size is 100 mm x 100 mm and thickness 18 cm, the resolutions are seen to be 1.29, 1.14, and 0.97% belonging to the beam energies of 0.6, 1, and 2 GeV, respectively. The energy resolution values reach 1.55, 1.31, and 0.99% for the calorimeter with 80 mm x 80 mm transverse size and 20 cm thickness at the beam energies of 0.6, 1, and 2 GeV, respectively. For the calorimeter whose transverse size is 100 mm x 100 mm and thickness is 20 cm, the resolutions were determined as 1.19, 1.02, and 0.82% belonging to the beam energies of 0.6, 1, and 2 GeV, respectively. It is seen that the results belonging to even 80 mm x 80 mm transverse size and thicknesses of 18 cm and 20 cm are very good

and the results for the calorimeter geometry of having 100 mm x 100 mm transverse size reach excellent values at both 18 cm and 20 cm thicknesses.

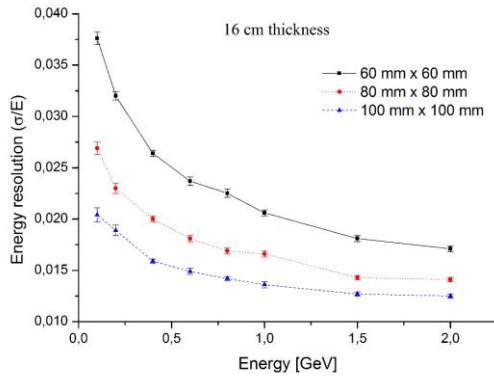


Figure 2. Intrinsic energy resolutions in terms of incident beam energies for 16 cm calorimeter thickness and various calorimeter transverse sizes.

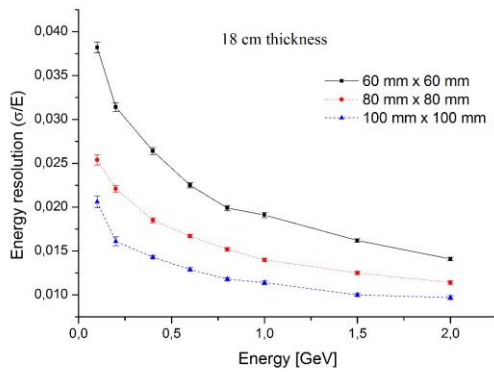


Figure 3. Intrinsic energy resolutions in terms of incident beam energies for 18 cm calorimeter thickness and various calorimeter transverse sizes.

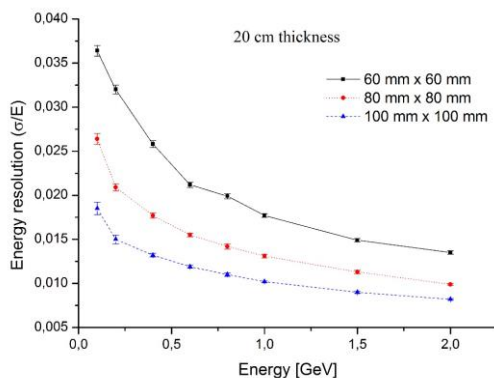


Figure 4. Intrinsic energy resolutions in terms of incident beam energies for 20 cm calorimeter thickness and various calorimeter transverse sizes.

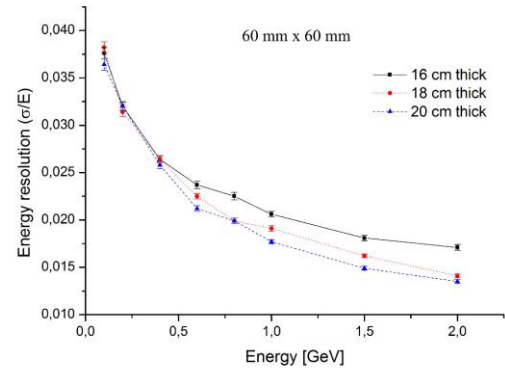


Figure 5. Intrinsic energy resolutions in terms of incident beam energies for 60 mm x 60 mm calorimeter transverse size and various calorimeter thicknesses.

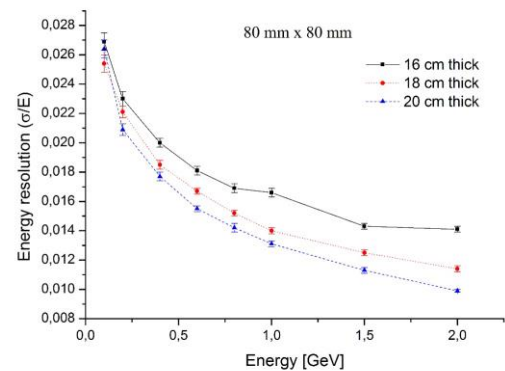


Figure 6. Intrinsic energy resolutions in terms of incident beam energies for 80 mm x 80 mm calorimeter transverse size and various calorimeter thicknesses.

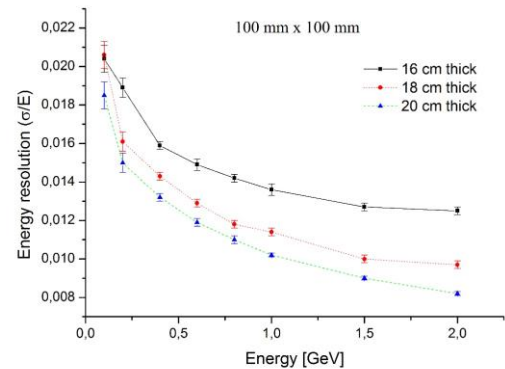


Figure 7. Intrinsic energy resolutions in terms of incident beam energies for 100 mm x 100 mm calorimeter transverse size and various calorimeter thicknesses.

The parametrized energy resolutions were determined for the calorimeter geometries of 100 mm x 100 mm in transverse size and for 18 cm and 20 cm thicknesses. The intrinsic energy resolutions were fitted with the function given in Equation 2. Figure 8 shows the resolutions with the fit functions. In this way, the fit results gave the lateral and constant terms of the total energy resolution function in addition to the photoelectron statistics terms. The total energy resolutions were then calculated as the quadratic summation of each contributing term. The parametrized

energy resolution functions are shown with two types of photodetectors in Equations 4-7. The total energy resolution functions for scintillator-photodetector combinations were drawn with the obtained parametrized functions and shown in Figure 9 and Figure 10. It is obviously seen that the resolutions with APD are significantly lower compared to that of PIN diode especially at relatively low beam energies as it is expected due to their smaller sizes and excess noise factor which contribute to the photoelectron statistics term. It can be said that even with this photodetector size, the results with APD are reasonable.

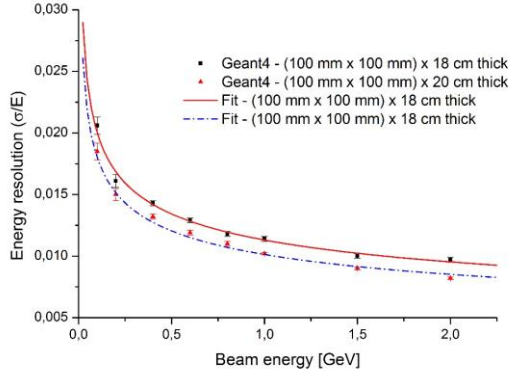


Figure 8. Fit functions (solid lines) applied for the intrinsic energy resolutions shown with markers.

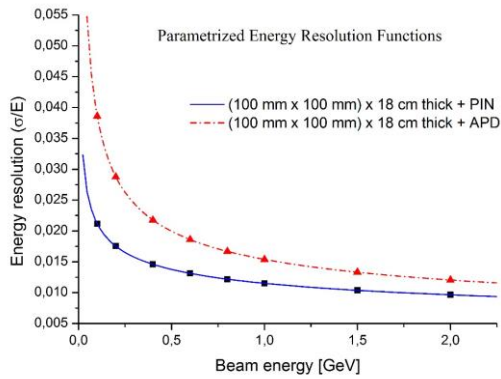


Figure 9. Parametrized energy resolution functions (dotted lines) with APD and PIN for the calorimeter with 100 mm x 100 mm transverse size and 18 cm thickness. Markers refer to points in the fit functions.

$$\sigma/E = 1.12\%/E^{1/4} \oplus 1.04\%/\sqrt{E} \oplus 0.12\% \quad (4)$$

for (100 mm x 100 mm) x 18 cm + APD

$$\sigma/E = 1.12\%/E^{1/4} \oplus 0.22\%/\sqrt{E} \oplus 0.12\% \quad (5)$$

for (100 mm x 100 mm) x 18 cm + PIN

$$\sigma/E = 1.01\%/E^{1/4} \oplus 1.04\%/\sqrt{E} \oplus 7.29 \times 10^{-14}\% \quad (6)$$

for (100 mm x 100 mm) x 20 cm + APD

$$\sigma/E = 1.01\%/E^{1/4} \oplus 0.22\%/\sqrt{E} \oplus 7.29 \times 10^{-14}\% \quad (7)$$

for (100 mm x 100 mm) x 20 cm + PIN

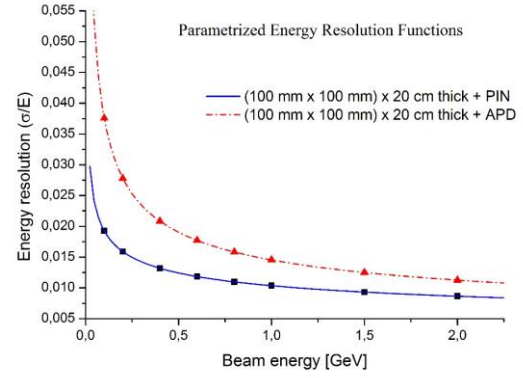


Figure 10. Parametrized energy resolution functions with APD and PIN for the calorimeter with 100 mm x 100 mm transverse size and 20 cm thickness. Markers refer to points in the fit functions.

GdTaO₄ has similar density and average light yield with PWO. It can be said that even smaller sizes of the interested material gives compatible results with those of PWO and significant improvements are predicted with the same detector geometry [19]. For example, at 100 MeV beam energy, PWO+APD gives roughly 6% energy resolution at [19]. This study gives better than 4% resolution at the same beam energy and APD combination.

Finally, contributions to total energy resolutions were drawn separately in Figures 11 and 12. in the case of APD or PIN as a photodetector considering the scintillator geometry of 100 mm x 100 mm in transverse size and 20 cm in thickness. In the figures, the parametrized intrinsic energy resolutions were defined as the energy leakage contribution to the total energy resolution. In the case of APD, the photoelectron statistics contribution dominate below 1 GeV beam energy essentially up to around 0.5 GeV and this effect decreases with beam energy as expected. On the other hand, in the case of PIN, energy leakage contribution dominates at all beam energies. In this case, the contribution from photoelectron statistics is very limited.

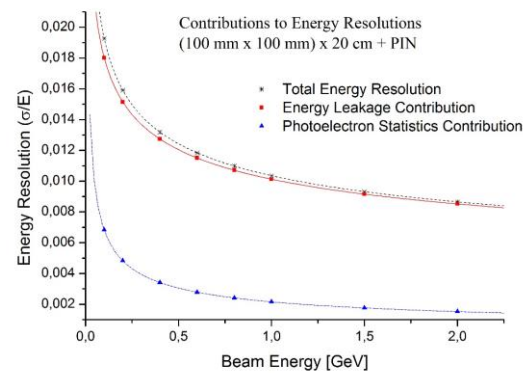


Figure 11. Contributions to total energy resolution for scintillator-PIN combination. The total energy resolution was determined by taking the quadratic summation of each contributing term.

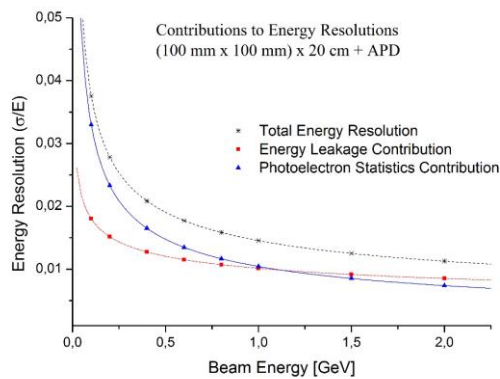


Figure 12. Contributions to total energy resolution for scintillator-APD combination. Total energy resolution again was determined by taking the quadratic summation of each contributing term.

4. CONCLUSION

High-density scintillation materials is an important factor essentially for constructing more compact detectors or increasing the energy resolutions. This study aimed to show that higher density of scintillators has a considerable effect on the energy resolution of calorimeters. GdTaO₄ was considered as an active material of a homogenous calorimeter assembling in scintillator-photodetector combinations with PIN or APD. Two major contribution to total energy resolution were considered: Energy deposition fluctuation and photoelectron statistics contribution related to the photodetector signal fluctuation. In this study, we haven't taken account of any possible inhomogeneity due to light collection and electronic noise contribution. The intrinsic energy resolutions which are very close to or below 1% due to energy deposition fluctuations are predicted at some beam energies in a given energy range and for certain detector geometries. It was noticed that parametrized energy resolution function has negligible constant term with the detector geometry of 100 mm x 100 mm in transverse size and 20 cm in thickness. This term has very small contribution in the case of detector geometry whose length is 18 cm with 100 mm x 100 mm transverse size. This term will also originate from systematic uncertainties in a real experiment. The advantages of GdTaO₄ compared to PWO, which has higher light yield and higher density, can make significant improvements in energy resolutions when used with an APD photodetector. The presented results are showing that GdTaO₄ has capability achieving good energy resolution results when it is used with both APD and PIN even at relatively low beam energies below 1 GeV with suitable scintillator-photodetector combinations.

REFERENCES

[1] Ablikim M, An ZH, Bai JZ, Berger N, Bian JM, Cai X, et al. Design and construction of the Belle II detector. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*. 2010; 614(3):345-399.

[2] Lewandowski B, for the BaBar EMC Group. The BaBar electromagnetic calorimeter. *Nuclear*

Instruments and Methods in Physics Research Section A. 2002; 494(1-3):303-307.

[3] Miyabayashi K, for the Belle Electromagnetic Calorimeter Group. Belle electromagnetic calorimeter. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*. 2002; 494(1-3):298-302.

[4] Renker D. Properties of avalanche photodiodes for applications in high energy physics, astrophysics and medical imaging. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*. 2002; 486(1-2):164-169.

[5] Hamamatsu Photonics [Internet]. Photodiodes; 2018 [cited 2018 March 05]. Available from <https://www.hamamatsu.com/jp/en/product/optical-sensors/photodiodes/index.html>.

[6] Chatrchyan S, Hmayakyan G, Khachatryan V, Sirunyan AM, Adam W, CMS Collaboration, et al. The CMS experiment at the CERN LHC. *Journal of Instrumentation*. 2008; 3:S08004.

[7] Paramatti R, on behalf of the CMS Collaboration. Design options for the upgrade of the CMS electromagnetic calorimeter. *Nuclear and Particle Physics Proceedings*. 2016; 273-275:995-1001.

[8] Liu W, Zhang Q, Zhou W, Gu C, Yin S. Growth and Luminescence of M-Type GdTaO₄ and Tb:GdTaO₄ Scintillation Single Crystals. *IEEE Transactions on Nuclear Science*. 2010; 57(3):1287-1290.

[9] Yang H, Peng F, Zhang Q, Guo C, Shi C, Liu W, et al. A promising high-density scintillator of GdTaO₄ single crystal. *CrystEngComm*. 2014; 16(12):2480-2485

[10] Lecoq P, Dafinei I, Auffray E, Schneegans M, Korzhik MV, Missevitch OV, et al. Lead tungstate (PbWO₄) scintillators for LHC EM calorimetry. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*. 1995; 365(2-3):291-298.

[11] Moses WW, Weber MJ, Derenzo SE, Perry D, Berdahl P, Boatner LA. Prospects for dense, infrared emitting scintillators. *IEEE Trans. Nucl. Sci.* 1998; 45(3):462-466.

[12] Alexeev GA, Binon F, Dolgoplov AV, Donskov SV, Fyodorov AA, Kachanov VA, et al. Beam test results of a PbWO₄ crystal calorimeter prototype. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*. 1995; 364(2):307-310.

[13] Novotny R, Doring W, Mengel K, Metag V, Pienne C. Response of a PbWO₄-scintillator array to electrons in the energy regime below 1 GeV. *IEEE Transactions on Nuclear Science*. 1997; 44(3):477-483.

[14] Agostinelli S, Allison J, Amako K, Apostolakis J, Araujo H, Arce P, et al. Geant4—a simulation toolkit. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*. 2003; 506(3):250-303.

[15] Allison J, Amako K, Apostolakis J, Araujo H, Arce P, Asai M, et al. Geant4 developments and applications. *IEEE Transactions on Nuclear Science*. 2006; 53(1):270-278.

[16] Allison J, Amako K, Apostolakis J, Arce P, Asai M, Aso T, et al. Recent developments in Geant4.

- Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A. 2016; 835:186-225.
- [17] Ikeda H, Satpathy A, Ahn BS, Aulchenko VM, Bondar AE, Cheon BG, et al. A detailed test of the CsI (Tl) calorimeter for BELLE with photon beams of energy between 20 MeV and 5.4 GeV. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. 2000; 441(3):401-426.
- [18] Pilicer E, Kocak F, Tapan I. Excess noise factor of neutron-irradiated silicon avalanche photodiodes. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A. 2005; 552(1-2):146-151
- [19] Kocak F. Simulation studies of crystal-photodetector assemblies for the Turkish accelerator center particle factory electromagnetic calorimeter. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. 2015; 787:144–147.
- [20] Kocak F, Tapan I. Simulation of LYSO Crystal for the TAC-PF Electromagnetic Calorimeter. ACTA PHYSICA POLONICA A. 2017; 131(3):527-529.



Aspir Genotiplerinde Çiçek Verimi ile Bazı Morfolojik Özellikler Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi

Hasan KOÇ^{1*}, Ahmet GÜNEŞ¹

¹ Bahri Dağdaş Uluslararası Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Konya, Türkiye

Hasan KOÇ ORCID No: 0000-0003-1728-070X

Ahmet GÜNEŞ ORCID No: 0000-0003-4205-5037

*Sorumlu yazar: koc175@hotmail.com

(Alınış: 05.11.2020, Kabul: 17.03.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Anahtar Kelimeler

Aspir,
Biplot,
Çiçek,
Tabla

Öz: Bu çalışma, 20 aspir genotipi ile 2020 yılında Konya Bahri Dağdaş Uluslararası Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nde yürütülmüştür. Deneme, Tesadüf Blokları Deneme Desenine göre dört tekerrürlü olarak kurulmuştur. Araştırma ile aspir ıslah çalışmaları kapsamında geliştirilen aspir hatları ve bazı tescilli çeşitlerin (Koç, Linas, Balcı, Dinçer, Göktürk) çiçek verimlerinin tespit edilmesi ve çiçek veriminin bazı morfolojik özelliklerle olan ilişkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Genotiplerin ortalama çiçek verimi değerleri 8,5 ile 24,0 kg/da arasında değişmiştir. Hatlardan en yüksek çiçek verimi 24,0 kg/da ile G1'den elde edilirken bunu 20,7 kg/da ile G2 ve 20 kg/da ile G3 takip etmiştir. Tescilli çeşitler ise çiçek verimi açısından yüksekte düşüğe doğru, Göktürk (22,2 kg/da), Linas (21,5 kg/da), Dinçer (18,7 kg/da), Balcı (13,5 kg/da), Koç (11,5 kg/da) şeklinde sıralanmıştır. Deneme ortalaması ise 17,1 kg/da olmuştur. Genotipler arasında çiçek verimi bakımından önemli varyasyon tespit edilmiştir. Çalışmada çiçek verimi ile bazı morfolojik özellikler arasındaki ilişkiler hem korelasyon analizi hem de biplot analizi ile ortaya konmuştur. Araştırma sonucunda her iki analize göre de aspirde çiçek verimi ile tabla sayısı ve yan dal sayısı arasında önemli ve pozitif ilişki tespit edilmiştir.

Determining the Relationships between Flower Yield and Some Morphological Traits in Safflower Genotypes

Keywords

Safflower,
Biplot,
Flower,
Capitula

Abstract: This study was conducted in Konya Bahri Dagdas International Agricultural Research Institute in 2020 with 20 safflower genotypes. The experiment was carried out in four replications according to the randomized blocks trial design. With the research, it was aimed to determine the flower yields of safflower lines and some registered varieties (Koç, Linas, Balcı, Dinçer and Göktürk) developed within the scope of safflower breeding studies and to determine the relationship between flower yield and some morphological characteristics. The highest flower yield of the lines was obtained from G1 with 24,0 kg da-1, followed by G2 with 20,7 kg da-1 and G3 with 20,0 kg da-1. Registered varieties are from high to low in terms of flower yield, Göktürk (22,2 kg da-1), Linas (21,5 kg da-1), Dinçer (18,7 kg da-1), Balcı (13,5 kg da-1), Koç (11,5 kg da-1) lined up. The average of the experiment was 17,1 kg da-1. Significant variations were found among genotypes in terms of flower yield. The study revealed the relationships between flower yield and some morphological characteristics by both correlation analysis and biplot analysis. As a result of the research, a significant and positive relationships were found between safflower flower yield and the number of head and the number of side branches according to both analyzes.

1. GİRİŞ

İnsanlar tarafından 2200 yıldan fazla bir süredir aspir bitkisi çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır [1]. Aspir çiçekleri geleneksel olarak, gıda ve tekstil ürünlerini

renklendirmek için kullanılmıştır [2]. Bununla birlikte, 1856'da daha ucuz, sentetik boyalar icat edildiğinde bu geleneksel kullanım arka plana çekilmiştir [3].

Aspirin şu anda en büyük kullanım alanı, yağ bileşimi ve açığa çıkma hızına bağlı olarak kabul

edilmesi nedeniyle yemeklik yağ olarak kullanılmasıdır [4]. Yağı yanında sebze, hayvan yemi, çay, kesme çiçek veya tıbbi bitki gibi birçok kullanımı vardır [5]. Aspir, çiçeklerinde bulunan renk pigmentleri Carthamidin (sarı renk) ve Carthamin (kırmızı renk) sayesinde önemli bir boya bitkisidir [6].

Aspir bitkisinin her birinin beyaz, sarı, turuncu veya kırmızı çiçekler içeren küresel tablaları vardır [1,7]. Bu tablalarda ortalama yüze yakın çiçek oluşmakla birlikte, bu çiçeklerin ancak ortalama %20'si tohum oluşturmaktadır [8].

Uluslararası düzeyde, aspirin çiçeği için yetiştiriciliği şu anda sınırlıdır ve hala esas olarak Asya'da yapılmaktadır [2,9]. Ancak bu, özellikle Avrupa ve diğer Batı ülkelerinde gıda boyası endüstrisinin artan talebini karşılamak için artık yeterli olmayacaktır [10]. Bunun için Türkiye gibi önemli ekim alanına sahip ülkelerde aspir çiçeğinin boya endüstrisinde kullanım olanakları araştırılmalıdır.

Son yıllarda yapılan çalışmalarda, yapay gıda boyalarının çocukların sağlıklarını olumsuz etkilediği, kanserojen veya alerjik etkilere neden olabileceği iddia edilmektedir [11,12]. Çevreye duyarlı, güvenli ve sağlıklı tüketim konusunda artan farkındalık nedeniyle doğal renklendiricilere olan ilgi artmıştır [13].

Aspir çiçeklerinde bulunan pigmentler, diğer renklendiricilere kıyasla özellikle ışık, sıcaklık ve pH değeri ile ilgili özelliklerde birtakım avantajlara sahiptir ve safrandan daha ucuzdur [14,15].

Çiçek üretimi için aspir çoğunlukla elle hasat edilir. Bu ise, çok yavaş, emek ve zaman gerektiren aynı zamanda pahalı bir işlemdir [16,17].

Günümüze kadar aspir çiçeğinin hasat edilerek kullanımı için endüstriyel olarak geliştirilmiş bir hasat makinesi bulunmaması nedeniyle büyük ölçekli çiçek üretimi mümkün olmamıştır [18]. Bu nedenle, hasadın mekanizasyonu için uygun bir yöntem geliştirilmeli ve test edilmelidir.

Almanya'da, Hohenheim Üniversitesinde 2017-2018 yıllarında aspir çiçeğinin kullanımı için hasadın mekanizasyonu çalışmaları yapılmıştır. Bu amaçla biçerdöverde çeşitli uyarlamalar yapılarak harmanlama verimliliğine uygun hale getirilmiştir [19]. Biçerdöver ile çiçeklerin hasat edilmesinin el hasadına kıyasla maliyeti düşüreceği böylece, gelecekte Almanya'daki gıda boyası endüstrisi için aspir yetiştiriciliğinin daha çekici hale geleceği bildirilmiştir [9]. Güneybatı Almanya'da boya endüstrisinde kullanılmak amacıyla aspir çiçeği elde etmek için çalışmalar yapılmış, bu çalışmalarda çiçek veriminin, renklendirici içeriği ve renklendirici veriminin diğer uluslararası çalışmalarla rekabet edebileceğini göstermiştir. Bu araştırmalar özellikle Avrupa ülkelerinin doğal gıda boyası endüstrisinde kullanmak amacıyla aspir bitkisiyle yakından ilgilendiklerini göstermektedir.

Türkiye'de 2020 yılı istatistiklerine göre 151000 da alanda aspir ekimi yapılmakta ve aspirin yalnızca tohumundan faydalanılmaktadır [20]. Aspir tohumu ve yağı ile ilgili araştırmalar oldukça fazla olmakla birlikte; diğer kullanım amaçlarına yönelik (çiçek, boya, tıbbi vb.) çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu çalışmada, "Orta Anadolu Bölgesi Aspir Islah Çalışmaları" kapsamında geliştirilen aspir hatları ve bazı tescilli çeşitlerin çiçek verimlerinin tespit edilmesi ve çiçek veriminin bazı morfolojik özelliklerle olan ilişkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Bu araştırma, aspir ıslah çalışmaları kapsamında, seleksiyon çalışmaları ile geliştirilen 15 genotip ve 5 tescilli çeşit (Koç, Göktürk, Dinçer, Balcı, Linas) ile 2020 yılında Bahri Dağdaş Uluslararası Tarımsal Araştırma Enstitüsü deneme arazisinde yürütülmüştür. Denemeler, Tesadüf Blokları deneme desenine göre dört tekerrürlü olarak kurulmuştur. Deneme parselleri 1,2 m eninde, 5 m uzunluğunda düzenlenmiş ve parsel alanı 6,0 m² olacak şekilde deneme mibzeri ile ekim yapılmıştır. Ekim, 30 Mart 2020 tarihinde yapılmıştır. Sıra arası 20 cm ve 125 adet/m² ekim sıklığı olacak şekilde yapılmıştır. Hasat, 18 Ağustos tarihinde parsel alanının tamamında (6,0 m²) parsel biçerdöveriyle yapılmıştır.

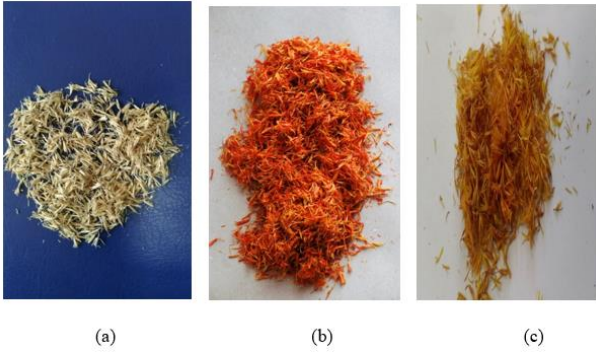
Denemenin yürütüldüğü yıla (2020) ait vejetasyon devresi yağış miktarı ve sıcaklık değerleri Tablo 1'de verilmiştir. 2020 yılı vejetasyon devresi ortalama sıcaklıklar uzun yıllar ortalamasına yakın gerçekleşirken, aynı dönemdeki yağış toplamı ise uzun yıllar ortalamasının oldukça altında gerçekleşmiştir (Tablo 1). Deneme yeri toprakları; killi-tınlı bir bünyeye sahiptir. Organik madde içeriği orta seviyededir (%2,3). Toprağın kireç miktarı %29 olup yüksektir. Asitlik derecesi (pH 7,8) hafif alkali sınıfa girmektedir. Fosfor ve potasyum miktarı bakımından zengindir. Tuzluluk sorunu bulunmamaktadır.

Tablo 1. Denemenin yürütüldüğü yıla (2020) ve uzun yıllara (1929-2020) ait vejetasyon devresindeki aylık yağış miktarı(mm) ve aylık sıcaklık ortalamaları (C)

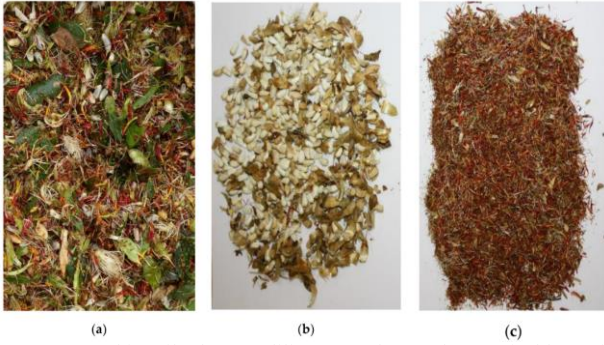
| | | AYLAR | | | | | | |
|----------|----------|-------|-------|-------|---------|--------|---------|--------|
| | | Mart | Nisan | Mayıs | Haziran | Temmuz | Ağustos | Toplam |
| Yağış | 2020 | 6,4 | 3,4 | 23,4 | 35,8 | 0,6 | 12,8 | 82,4 |
| | Uz. Yıl. | 26,2 | 38,8 | 41,7 | 20,1 | 7,5 | 5 | 139,3 |
| Sıcaklık | 2020 | 6,5 | 12,0 | 16,1 | 20,2 | 25,5 | 23,7 | 17,3 |
| | Uz. Yıl. | 5,7 | 11 | 15,8 | 20,4 | 23,6 | 23,2 | 16,6 |

Araştırmada; çiçek verimi ile tabla çapı, tabla sayısı, yan dal sayısı, bitki boyu ölçümleri yapılmıştır. Çiçekler hasattan bir gün önce 17 Ağustos tarihinde elle toplanmış olup, 72 saat süre ile 80 °C' de kurutularak tartılmıştır. Elle ve makinele hasatta elde edilen çiçeklerin farkını ortaya koymak için; bu çalışmada elle toplanan çiçekler (Şekil 1) ve Steberl ve ark. [9]

tarafından makine ile hasat edilip sonra harmanlanan çiçeklere ait resimler ise Şekil 2 de verilmiştir.



Şekil 1. Elle hasat edilen (a) beyaz, (b) turuncu, (c) sarı aspir çiçeği



Şekil 2. Makine ile hasat edilip sonra harmanlanan çiçeklere ait resimler (a) Hasattan hemen sonra harmanlanmamış numunenin fotoğrafları, (b) elekten geçirildikten sonra elekte kalan kalıntı, (c) elenmeden sonra elde edilen çiçek kısmı (Steberl ve ark.[9]).

Elde edilen veriler, JMP 5.0 yazılımı yardımıyla varyans ve korelasyon analizine tabi tutulmuştur. LSD testi yardımıyla önemli ortalamalar karşılaştırılmıştır. Genotip - Özellik ve özellikler arasındaki ilişkilerinin görsel değerlendirilmesi için GT biplot analizi GENSTAT yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Varyans analiz tablosuna göre incelenen tüm özellikler yönünden genotipler arasındaki fark %1 önem seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 2).

Tablo 2. Araştırmada incelenen özelliklere ait varyans analizi

| Varyasyon Kaynağı | Serbestlik Derecesi | ÇV | TÇ | TS | YDS | BB |
|-------------------|---------------------|---------------|---------------|---------------|--------------|---------------|
| | | KO | KO | KO | KO | KO |
| Bloklar | 3 | 15,6 | 0,002 | 0,4 | 0,15 | 56,0** |
| Genotipler | 19 | 61,7** | 0,067** | 33,2** | 19,4** | 69,4** |
| Hata | 57 | 11,2 | 0,005 | 4,2 | 1,6 | 10,9 |
| Toplam | 79 | 23,5** | 0,02** | 11,0** | 5,8** | 26,7** |

ÇV: Çiçek Verimi, TÇ: Tabla Çapı, TS: Tabla Sayısı, YDS: Yan Dal Sayısı, BB: Bitki Boyu

Ortalama çiçek verimi değerleri 8,5 ile 24,0 kg/da arasında değişmiştir (Tablo 3). Hatlarda en yüksek çiçek verimi 24,0 kg/da ile G1' den elde edilirken bunu 20,7 kg/da ile G2 ve 20,0 kg/da ile G3 ve G4 takip etmiştir. Tescilli çeşitler ise çiçek verimi açısından yüksekte düşüğe doğru, Göktürk (22,2 kg/da), Linas (21,5kg/da), Dinçer (18,7 kg/da), Balcı (13,5 kg/da), Koç (11,5 kg/da) şeklinde sıralanmıştır. Deneme ortalaması ise 17,1 kg/da olmuştur. Çiçek rengi açısından sarı-turuncu çiçek rengine sahip (sarı açıp turuncuya dönen) genotipler genel olarak yüksek çiçek verimi vermiştir.

Aspir genotipleri ile yapılan çalışmalarda çiçek verimini; Köse ve Bilir [21] 3,5 -11,2 kg /da arasında bulmuşlardır. Buna karşılık Süer [22] 11,18-21,48 kg/da; Uysal ve ark. [23] 2,5-8,0 kg/da; Kırıcı ve İnan [24] 9,3-12,6 kg/da arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Çalışmalar arasındaki farklılıklar kullanılan genotiplerin ve ekim sıklıklarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Nitekim, Steberl ve ark. [9], çiçek veriminin yıllara, hasat tarihlerine ve genotiplere göre değiştiğini bildirmişlerdir. Bu çalışmada çiçek veriminin yüksek ve varyasyonun daha fazla olmasının nedeni olarak; kullanılan genotip sayısının fazla olması ve sıra arası mesafenin 20 cm olması sebebiyle metrekaresindeki bitki sayısının diğer çalışmalardan daha yüksek olması söylenebilir.

Tablo 3. Araştırmada incelenen çiçek verimi ve diğer özelliklere ait ortalama değerler

| Genotip | Hat No | Çiçek Rengi | ÇV | TÇ | TS | YDS | BB |
|---------|---------|-----------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| G1 | 63-2-b | Sarı- Turuncu | 24,0 a | 2,33 cde | 13,0 bc | 11,0 bc | 60,7 e-1 |
| Göktürk | Göktürk | Sarı-Turuncu | 22,2 ab | 2,13 ijk | 8,5 d-h | 7,5 f-1 | 58,5 gh1 |
| Linaz | Linaz | Sarı-Turuncu | 21,5 ab | 2,23 e-1 | 14,5 ab | 12,5 ab | 70,7 a |
| G2 | 56-2-c | Sarı | 20,7 abc | 2,28 d-g | 10,5 cd | 8,0 e-h | 68,5 ab |
| G3 | 25-3-a | Sarı-Turuncu | 20,0 a-d | 2,05 k | 15,0 ab | 13,0 a | 67,0 a-d |
| G4 | 77-1-d | Turuncu | 20,0 a-d | 2,18 g-j | 10,5 cd | 8,5 efg | 63,5 c-f |
| Diñçer | Diñçer | Kırmızı | 18,7 bcd | 2,21 f-1 | 11,0 cd | 6,7 gh1 | 67,5 abc |
| G5 | 107-2-a | Beyaz | 18,0 b-e | 2,31 c-f | 10,0 de | 8,2 e-h | 57,5 ı |
| G6 | 83-1-a | Kırmızı | 18,0 b-e | 2,10 jk | 9,2 d-g | 8,5 efg | 65,0 b-e |
| G7 | 96-3 | Sarı | 18,0 b-e | 2,21 f-1 | 9,7 def | 10,5 cd | 61,0 e-1 |
| G8 | 42-b | Sarı | 17,7 b-e | 2,48 ab | 11,0 cd | 9,2 c-f | 59,2f-1 |
| G9 | 11-1 | Sarı-Turuncu | 16,5 cde | 2,37 bcd | 8,7 d-h | 11,0 bc | 61,5e-1 |
| G10 | 79-4 | Turuncu | 16,2 cde | 2,17 hij | 16,5 a | 13,2 a | 71,5 a |
| G11 | 2010-9 | Turuncu | 16,0 def | 2,28 d-g | 9,0d-h | 7,5 f-1 | 62,5 d-h |
| G12 | 28-2 | Sarı-Turuncu | 15,5 def | 2,57 a | 11,2 cd | 9,0 def | 63,0 c-g |
| G13 | 106-2 | Sarı | 14,0 ef | 2,40 bc | 7,5 e-h | 9,5 cde | 58,0 hı |
| Balcı | Balcı | Sarı | 13,5 ef | 2,17 hij | 7,0 fgh | 6,0 ı | 61,5 e-1 |
| G14 | 82-3 | Sarı | 11,5 fg | 2,20 g-j | 6,2 h | 7,5 f-1 | 61,2 e-1 |
| Koç | Koç | Sarı | 11,5 fg | 2,26 e-h | 6,7 gh | 6,5 hı | 60,5 e-1 |
| G15 | 13-2-c | Sarı-Turuncu | 8,5 g | 2,13 ijk | 6,5 gh | 6,5 hı | 67,0 a-d |
| | | Ortalama | 17,1 | 2,2 | 10,0 | 9,0 | 63,3 |
| | | LSD | 4,7 | 0,1 | 2,9 | 1,8 | 4,6 |
| | | VK (%) | 17,6 | 3,1 | 20,0 | 14,1 | 5,2 |

ÇV: Çiçek Verimi (kg/da), TÇ: Tabla Çapı (cm), TS: Tabla Sayısı (adet), YDS: Yan Dal Sayısı (adet), BB: Bitki Boyu (cm)

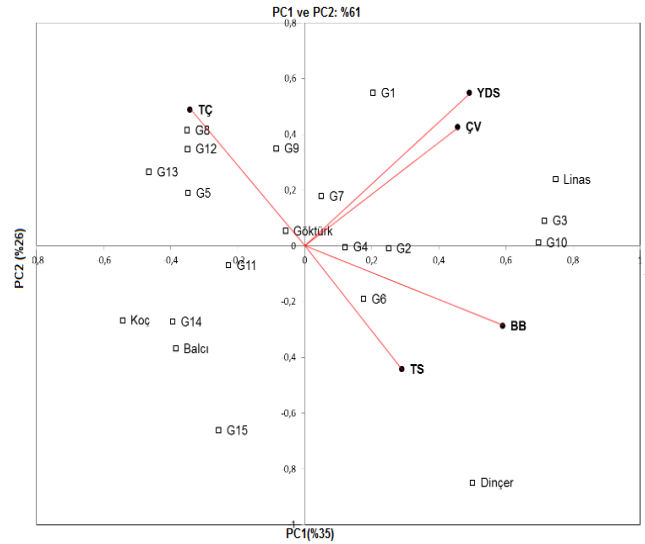
Tabla çapı değerleri ise 2,10 cm ile 2,57 cm arasında değişmiş olup deneme ortalaması 2,20 cm bulunmuştur. Bitki başına ortalama tabla sayısı 6,2 - 16,5adet arasında değişmiş, ortalama tabla sayısı 10,0 adet olmuştur. Yan dal sayısı 6,0 -13,2 adet arasında değişmiş deneme ortalaması 9,0 adet olarak belirlenmiştir. Yapılan ölçümlerden bitki boyu değerleri ise 57,5 cm ile 71,5 cm arasında değişmiş, ortalama 63,3 cm olarak tespit edilmiştir (Tablo 3).

Tablo 4. Çiçek verimi ve bazı morfolojik özellikler arasında tespit edilen korelasyon katsayıları

| | Bitki Boyu | Tabla Çapı | Tabla Sayısı | Yan Dal Sayısı | Çiçek Verimi |
|-----------------------|------------|------------|--------------|----------------|--------------|
| Bitki Boyu | 1,00 | | | | |
| Tabla Çapı | -0,25* | 1,00 | | | |
| Tabla Sayısı | 0,28* | 0,01 | 1,00 | | |
| Yan Dal Sayısı | 0,17 | 0,04 | 0,81** | 1,00 | |
| Çiçek Verimi | 0,02 | -0,05 | 0,40** | 0,33** | 1,00 |

**Önemli P< 0.01, *Önemli P< 0.05

Çiçek verimi ve bazı morfolojik özellikler arasında korelasyon analizi incelendiğinde (Tablo 4); çiçek verimi ile tabla sayısı ve yan dal sayısı arasında pozitif ve önemli korelasyon bulunmuştur. Buna karşılık çiçek verimi ile bitki boyu ve tabla çapı arasında ilişkinin önemsiz olduğu tespit edilmiştir. Steberl ve ark.[9] tabla ağırlığı ile çiçek verimi arasında pozitif ilişki olduğunu bildirmişlerdir. Bitki başına tabla ağırlığı dolayısıyla tabla sayısı fazla olduğu zaman çiçek veriminin fazla olması beklenen bir sonuçtur. Fazla sayıda dallanan ve tabla oluşturan genotiplerin çiçek verimleri de yüksek olmuştur.



Şekil 3. Aspir genotipleri için çiçek verimi ve bazı morfolojik özelliklere ait Genotip- özellik ve özellikler arasındaki ilişkiyi gösteren biplot grafiği. Özellikler: ÇV: Çiçek Verimi, TÇ: Tabla Çapı, TS: Tabla Sayısı, YDS: Yan Dal Sayısı, BB: Bitki Boyu.

Araştırmada Genotip-Özellik bakımından GT Biplot grafiği incelendiğinde; toplam varyasyonu temsil oranını veren; PC1 (Ana bileşen1) % 35 ve PC2 (Ana bileşen2) % 26 değerleri toplamının % 61 olduğu görülmektedir. (Şekil 3). % PC1 ve % PC2 değerleri toplamının yüksek olması GGE biplot grafiklerinde istenilen bir durumdur. Bu değer yüksek olduğunda araştırmacıların daha güvenli bir şekilde yorum yapabileceği Yan ve ark. [25] tarafından bildirilmektedir.

Biplot grafiğinin toplam varyasyonu yeterli miktarda açıklaması için toplam ana bileşen oranının % 50'den daha büyük olması gerekir [26]. Bu çalışmada bu değer % 61 olmuştur. İki özellik vektörleri arasındaki açı <90 ° ise korelasyon katsayısı pozitif, eğer açı > 90 ° ise korelasyon katsayısı(r) negatif değer, açı = 90 ° ise

korelasyon katsayısı 0 bağımsız olarak değerlendirilir [27,28]. Biplot grafiği incelendiğinde Çiçek verimi (ÇV) ile Yan dal sayısı (YDS) ve Tabla sayısı (TS) arasındaki açının 90 °den küçük olduğu görülmektedir. Dolayısıyla Biplot grafiğine göre çiçek verimi ile yan dal sayısı ve tabla sayısı arasında pozitif ilişki vardır.

Biplot grafiğinde gözlenen sonuçlar (Şekil 3) ile korelasyon tablosu (Tablo 4) sonuçları büyük ölçüde birbirini desteklemektedir. Biplot grafiğini Genotip-Özellik ilişkileri açısından incelediğimizde çiçek verimi (ÇV) bakımından hatlardan G1, G2, G3, G4, G5, G6 ve G7 ön plana çıkarken, tescilli çeşitlerden Göktürk ve Linas çeşitleri daha yüksek çiçek verimi performansı göstermiştir. Çiçek verimi bakımından ortalamanın altında verim veren hat ve çeşitler ise G15, Koç, G14, Balcı genotipleri olmuştur.

4. SONUÇ

Aspirde çiçek verimi açısından tescilli çeşitlerden Göktürk ve Linas, hatlardan G1, G2 ve G3 genotiplerinin önemli potansiyelleri mevcuttur. Genotipler arasında çiçek verimi açısından önemli varyasyon vardır. Aspir çiftçisinin gelirini artırma açısından tohumu yanında diğer önemli bir kullanım alanı olan doğal boya endüstrisi için çiçeğinden faydalanılması aspir yetiştiricilerinin gelirini artıracak ve bu bitkinin ekiminin yaygınlaşmasına katkı sağlayacaktır.

Bu çalışma, aspirde çiçek verimi ile bazı morfolojik özellikler arasındaki ilişkileri hem korelasyon analizi hem de biplot analizi ile ortaya koyma bakımından önemlidir. Araştırma sonucunda her iki analize göre de çiçek verimi ile tabla sayısı ve yan dal sayısı arasında önemli ve pozitif ilişki tespit edilmiştir. Genotip-Özellik Biplot grafiği sayesinde genotiplerin özellikler yönünden kuvvetli ve zayıf yönlerini pratik bir şekilde inceleme ve değerlendirme imkânı olmuştur.

Türkiye’de aspirin tohumunun çiçeğiyle hasat edilerek daha sonra harmanla çiçeğinin değerlendirilmesi üzerine mekanizasyon çalışmalarının bulunmaması önemli bir eksikliklerdir. Bu çalışmada olduğu gibi çiçeklerin elle toplanarak çiçek veriminin elde edilmesi, genotiplerin çiçek verim potansiyellerini belirleme açısından önemli olmakla birlikte pratikte, makinalı hasada yönelik çalışmaların olması gerekmektedir. Aspir çiçeği üzerine yapılan çalışmaların birçoğunda çiçekler, tam çiçek zamanında toplanırken, bu çalışmada hasada yakın zamanda toplanmış bu bakımdan da elde edilen veriler pratiğe daha uygun olmuştur. Çünkü aspir çiçeğinin hasadı, tohum için hasadıyla beraber değerlendirilmesi gereken bir husustur. Türkiye’de önemli bir ekim potansiyeline sahip olan aspir bitkisinin çiçeğinin hem boya olarak, hem de tıbbi amaçlı kullanımına yönelik çalışmalar yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

[1] Emongor V, Oagile O. Safflower production. Impression house publication. Gaborone. Botswana; 2017.

- [2] Emongor V. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) the underutilized and neglected crop: a review. Asian Journal of Plant Sciences. 2010; 9(6):299-306.
- [3] Garfield S. Mauve. How one man invented a color that changed the world. WW Norton and Company: New York. NY; 2002.
- [4] Velasco L, Fernandez-Martinez JM. Progress in breeding for modified tocopherol content and composition in safflower. Sesame and Safflower Newsletter. 2002(17):98-102.
- [5] Ekin Z. Resurgence of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) utilization: A global view. Journal of Agronomy. 2005; 4(2):83-7.
- [6] Nagaraj G, Devi GN, Srinivas CVS. Safflower petals and their chemical composition. proc. V. International Safflower Conference, USA; 2001. P.123-27.
- [7] Dajue L, Mündel HH. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). IPGRI. IPK. Eds.: IPGRI: Rome, Italy; 1996.
- [8] Baydar H. Gibberellik asidin aspir (*Carthamus tinctorius* L.)’de erkek kısırılık, tohum verimi ile yağ ve yağ asitleri sentezi üzerine etkisi. Tr. J. Biology. 2000; 24: 159-168.
- [9] Steberl K, Hartung J, Graeff-Hönninger S. Impact of cultivar, harvest date and threshing parameter settings on floret and Carthamidin yield of safflower. Agronomy. 2020; 10(9):1272.
- [10] Gao WY, Fan L, Paek KY. Yellow and red pigment production by cell cultures of *Carthamus tinctorius* in a bioreactor. Plant cell, tissue and organ culture. 2000; 60(2):95-100.
- [11] Kumar JK, Sinha AK. Resurgence of natural colorants: a holistic view. Natural product research. 2004; 18(1):59-84.
- [12] Arnold LE, Lofthouse N, Hurt E. Artificial food colors and attention-deficit/hyperactivity symptoms: conclusions to die for. Neurotherapeutics. 2012; 9(3):599-609.
- [13] Krizova H. Natural dyes: their past, present, future and sustainability. Recent Developments in Fibrous Material Science. Prague: Kosmas Publishing. 2015.
- [14] Yoon JM, Cho MH, Park JE, Kim YH, Hahn TR, Paik YS. Thermal stability of the pigments hydroxysa safflower yellow A, safflower yellow B, and precarthamin from safflower (*Carthamus tinctorius*). Journal of food science. 2003; 68(3):839-43.
- [15] Shin YS, Yoo DI. Storage Stability and Color Reproducibility of Yellow and Red Dyes Extracted from *Carthamus tinctorius* L. Textile Coloration and Finishing. 2012; 24(3):165-72.
- [16] Azimi S, Chegini G, Kianmehr MH. Design and manufacture of safflower petal harvester machine. Mechanics & Industry. 2012; 13(5):301-5.
- [17] Mc Guire PE, Damania AB, Qualset CO. Safflower in California. The Paulden F. Knowles personal history of plant exploration and research on evolution, genetics, and breeding. Agronomy Progress report. No. 313. Dept. of Plant Sciences.

- University of California. Davis CA. USA; 2012. p. 1-44.
- [18] Yun G, Lixin Z, Ying Q, Xiaopan J, Yuanbo C. Dynamic model for sucking process of pneumatic cutting-type safflower harvest device. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2016; 9(5):43-50.
- [19] Zimmer S, Müller Literatursammlung und -auswertung zur Erntetechnologie von arznei- und Gewürzpflanzen: Schlussbericht zum Vorhaben. Laufzeit; 2002.
- [20] Anonim. 2020. Türkiye İstatistik Kurumu, <https://data.tuik.gov.tr/> 16.03.2021.
- [21] Köse A, Bilir Ö. Aspir bitkisinde (*Carthamus tinctorius* L.) farklı sıra arası mesafelerin ve ekim normunun taç yaprak verimi ve bazı bitkisel özellikler üzerine etkisi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*. 2017;4(1):40-7.
- [22] Süer İE. Bazı Aspir (*Carthamus tinctorius* L.) çeşitlerinde farklı gelişme dönemlerinde yapılan sulamaların verim ve bazı agronomik özellikler üzerine etkisi. Çukurova Ü. Fen Bil. Ens. Tarla Bitkileri ABD Yüksek Lisans Tezi; 2011.
- [23] Uysal N, Baydar H, Erbaş S. Isparta popülasyonundan geliştirilen aspir (*Carthamus tinctorius* L.) hatlarının tarımsal ve teknolojik özelliklerinin belirlenmesi. *Ziraat Fakültesi Dergisi*. 2006;1(1):52-63.
- [24] Kırıcı S, İnan M. Asperde (*Carthamus tinctorius* L.) farklı sıra aralıklarının verim komponentleri ile çiçek verimine ve boyar madde oranına etkileri. ÇÜ. *Ziraat Fakültesi Dergisi*. 2005;20 (2): 117-124.
- [25] Yan W, Kang MS, Ma B, Woods S, Cornelius PL. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop science*. 2007 Mar; 47(2):643-53.
- [26] Kroonenberg PM. Introduction to biplot for G x E tables. Department of Mathematics. Research Report5. 2016. Available from: <http://three-mode.leidenuniv.nl/document/biplot.pdf>.
- [27] Yan W, Hunt LA. Interpretation of genotype×environment interaction for winter wheat yield in Ontario. *Crop Science*. 2001; 41(1):19-25.
- [28] Rad MN, Kadir MA, Rafii MY, Jaafar HZ, Naghavi MR, Ahmadi F. Genotype environment interaction by AMMI and GGE biplot analysis in three consecutive generations of wheat (*Triticum aestivum*) under normal and drought stress conditions. *Australian Journal of Crop Science*. 2013; 7(7):956-996.



Türk Doğa ve Fen Dergisi

Turkish Journal of Nature and Science

www.dergipark.gov.tr/tdfd



Sıcak Presleme Yöntemi ile TZ72-xMn Magnezyum Alaşımlarının Üretimi: Karakterizasyon ve Mekanik Özellikler

Ali ERÇETİN^{1*}

¹ Bingöl Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bingöl, Türkiye
Ali ERÇETİN ORCID No: 0000-0002-7631-1361

*Sorumlu yazar: aliercetin@bingol.edu.tr

(Alınış: 06.11.2020, Kabul: 08.02.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Anahtar Kelimeler
Magnezyum alaşımı,
Sıcak presleme,
Toz metalurjisi,
Mikroyapı,
Sinterleme,
Mekanik özellikler

Öz: Magnezyumun toz metalürjisinde kullanımını sınırlayıcı etmenler vardır. Toz halindeki Mg havayla temasında çabuk oksitlenebilmekte ve karıştırma gibi proseslerde tozların birbirlerine temasından kaynaklanan sürtünmeden dahi tutuşma riskini bünyesinde barındırmaktadır. Mg alaşımlarının toz metalurjisi yöntemiyle üretimini kolay kılacak önlemlerin sağlanmasına ve yeni Mg alaşımlarının bu yöntemlerle üretilmesine ihtiyaç vardır. Bu çalışmada, farklı oranlarda Mn içeriğine sahip Mg₇Sn₂Zn-xMn magnezyum alaşımları sıcak presleme yöntemiyle başarılı bir şekilde üretilmiş ve Mn ilavesinin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Tozların karıştırılması öncesinde Mg alaşımlarına kaplama tekniği uygulanmıştır. Alaşımların üretiminde sıcak presleme ve grafit kalıp sistemi kullanılmıştır. Sinterleme işlemleri argon koruyucu gaz atmosferinde gerçekleştirilmiştir. Üretilen Mg alaşımlarına, yoğunluk ölçümü, metalografik analizler ve çekme testleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, sıcak presleme yöntemiyle üretilen alaşımlardan ölçülen yoğunluk değerleri teorik yoğunluk değerlerine oldukça yakındır (%98,97 ve üzeri bağlı yoğunluk). Basınç ve sinterleme proseslerinin eş zamanlı uygulanması sayesinde gözeneksiz mikroyapıya sahip alaşımlar üretilmiştir. Mikroyapıda ikincil intermetalik fazlar tespit edilmiş ve bu fazların tane sınırlarında yoğunlaştığı fark edilmiştir. Alaşımların hem dayanım hem de süneklik özellikleri artan Mn oranına bağlı olarak geliştirilmiştir. En yüksek çekme dayanımı (217,2 MPa) TZM720-B alaşımından elde edilmiştir.

96

Production of TZ72-xMn Magnesium Alloys Through Hot Pressing Method: Characterization and Mechanical Properties

Keywords
Magnesium alloy,
Hot pressing,
Powder metallurgy,
Microstructure,
Sintering,
Mechanical properties

Abstract: There are limiting factors for the use of magnesium in powder metallurgy. Powdered Mg can oxidize quickly in contact with air and it has the risk of ignition even from friction caused by the contact of powders to each other in processes such as mixing. There is a need to provide measures to make the production of Mg alloys by powder metallurgy method easier and to produce new Mg alloys by these methods. In this study, Mg₇Sn₂Zn-xMn magnesium alloys with different ratios of Mn content were successfully produced by hot pressing method and the effect of Mn addition on microstructure and mechanical properties was investigated. Coating technique was applied to Mg alloys before mixing the powders. Hot pressing and graphite mold system are used in the production of alloys. Sintering processes were carried out in argon protective gas atmosphere. Density measurement, metallographic analysis and tensile tests were applied to the produced Mg alloys. According to the results obtained, the density values measured from the alloys produced by the hot pressing method are very close to the theoretical density values (relative densities with 98.97% and above). Alloys with non-porous microstructure were produced due to the simultaneous application of pressure and sintering processes. Secondary intermetallic phases were determined in the microstructure and it was noticed that these phases were concentrated at the grain boundaries. Both the strength and ductility properties of the alloys are developed depending on the increasing Mn ratio. The maximum tensile strength (217.2 MPa) was obtained from TZM720-B alloy.

1. GİRİŞ

Magnezyum alaşımları, sahip oldukları düşük yoğunluk, yüksek özgül mukavemet ve iyi sönümlenme kabiliyeti gibi özellikler sayesinde birçok araştırmacı ve mühendislerin ilgi odağı haline gelmektedir [1-3]. Bunun neticesinde, alüminyum alaşımlarının geleneksel olarak kullanıldığı alanlarda (otomotiv, havacılık, askeri, ulaşım, bilgisayar ve mobil iletişim cihazları vb) magnezyum alaşımları hızla yer edinmektedir [4].

Mg alaşımının oda sıcaklığındaki mekanik özelliklerini arttıran Al, ana alaşım elementi olarak birçok Mg alaşımının içeriğinde bulunmaktadır [3]. Ancak, 120 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda içyapıdaki Mg₁₇Al₁₂ fazının yumuşaması nedeniyle Mg-Al alaşımının dayanımı azalmaktadır [3, 5]. Eğer bu faz yerine ergime sıcaklığı daha yüksek olan bir faz oluşturulursa alaşımın sürünme dayanımı da geliştirilmiş olacaktır. Mg₁₇Al₁₂ fazına göre ergime sıcaklığı oldukça yüksek olan Mg₂Sn intermetalik fazı, magnezyuma kalay ilavesiyle mikroyapıda oluşturulabilmektedir [6]. Mg alaşımlarına Sn ilavesi ile ilgili çalışmalar literatürde oldukça fazladır [6-10]. Yüksek oranda Al içeren (AZ91 vb) Mg alaşımlarında tespit edilen bir diğer problem ise korozyon sorunudur. Bu alaşımlar genellikle ıslak veya nemli ortamlarda korozyona uğrayabilmektedirler [4, 8]. Sn ilavesinin sadece mekanik özellikleri değil aynı zamanda korozyon özelliklerini de geliştirdiği ile ilgili çalışmalar mevcuttur [8, 11, 12]. Benzer bir şekilde korozyon dayanımını arttıran Zn ve Mn alaşım elementleri de, Sn alaşım elementi ile birlikte ilave edildiğinde korozyon dayanımında önemli gelişmeler sağlanabilmektedir [13, 14]. Zn ilavesinin mekanik özelliklerin gelişmesinde etkin rol oynadığı da bilinmektedir. Ancak, Mn ilavesinin alaşımın mekanik özelliklerine etkisi ile ilgili çalışmalar genellikle saf Mg'ye ilavesiyle veya Al ile birlikte kullanılmasıyla ilgilidir [4, 14]. Al içermeyen Mg alaşımlarında kullanımı ile ilgili çok az sayıda çalışma mevcuttur.

Magnezyuma ilave edilen alaşım elementlerinin etkisi kadar üretim yöntemi de alaşımın özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Alaşımın mukavemetini ve sünekliğini geliştirmek için döküm sonrasında haddeleme [3, 15], ekstrüzyon [3, 16], dövme [3, 17] gibi termo-mekanik işlemler ilaveten uygulanmaktadır. Her bir ilave proses fazladan bir enerji gereksinimi ve artan maliyet anlamına gelmektedir. Bununla birlikte döküm yöntemiyle üretilen malzemelerin mikroyapısında segregasyon hataları da oluşabilmektedir [18-20]. Homojen ve daha ince taneli bir mikroyapı eldesi toz metalurjisi yöntemi ile çok daha mümkündür [21-25]. Ancak Mg alaşımlarının bu yöntemle üretilmesinde iki önemli problemle karşılaşmaktadır. Birisi, presleme işlemi uygulandıktan sonra sinterleme işleminin uygulanması ve toz metal parçanın istenilen ölçüde yoğunlaşmamasıdır. Bu nedenle, presleme ve sinterleme proseslerinin eş zamanlı uygulanması ile tam yoğunlaşma sağlanabilecektir [8, 9, 26]. Diğer ise, Mg tozlarının bu yöntemde kullanımı esnasında hem oksitlenme hem de tutuşma gibi problemlerin gerçekleşebileceğidir. Bu sorunun çözümü için ise,

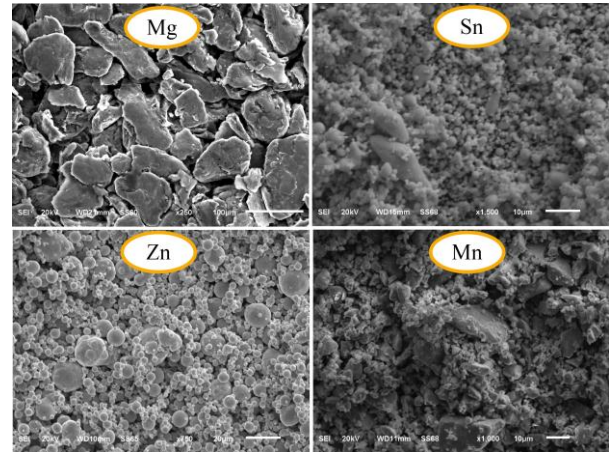
tozların karıştırılmasından sinterleme işlemine kadarki süreçte Mg tozlarını koruyucu görevi üstlenecek bir bağlayıcı sisteminin Mg tozlarını kaplaması ile mümkündür [8, 24, 27].

Çalışmada, TZ72 magnezyum alaşımına farklı oranlarda Mn ilave edilerek, sıcak presleme yöntemiyle toz metal parçaların üretilebilirliği ve farklı oranlarda Mn ilavesinin ürün özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Malzeme

Çalışmada kullanılan yüksek saflıkta ve partikül boyutları oldukça küçük olan (10-45 mikron arası) Mg, Sn, Zn ve Mn tozlarına ait SEM görüntüleri Şekil 1'de, tozlara ait bazı özellikler de Tablo 1'de verilmiştir. Kompozisyonların hassas karışım oranlarının sağlanabilmesi için tozların tartım işleminde 10⁻⁴ gr hassasiyetinde Precision marka hassas terazi kullanılmıştır. TZ72 magnezyum alaşımına farklı oranlarda Mn ilavesi tasarlanarak 3 farklı kompozisyon oluşturulmuştur. Karışımların hazırlanmasından önce, Mg tozlarının oksidasyonunu önlemek için parafin kaplama tekniği kullanılmıştır [8, 9]. Mg tozları hacimce %20 oranında parafin ile kaplanmıştır. Farklı kompozisyonlardaki karışımlara ilave edilecek olan Sn, Zn ve Mn alaşım tozlarının ağırlıklarının belirlenmesinde, bağlayıcı parafin ve matris Mg yüzdeleri dikkate alınarak hesaplamalar yapılmış ve tespit edilen ağırlıklarda alaşım tozları eklenmiştir (Tablo 1).



Şekil 1. Çalışmada kullanılan Mg, Sn, Zn ve Mn tozlarına ait SEM görüntüleri

Tablo 1. İlave edilen tozların özellikleri ve TZ72-xMn magnezyum alaşımlarının kimyasal kompozisyonları

| Alaşım kodlamaları | Sn %99,9 saflık, 10 µm | Zn %99,9 saflık, 10 µm | Mn %99,8 saflık, 10 µm | Mg %99,8 saflık, 45 µm |
|--------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| TZ72 | 7 | 2 | 0 | Kalan |
| TZM720-A | 7 | 2 | 0,15 | Kalan |
| TZM720-B | 7 | 2 | 0,30 | Kalan |

Karışımların basınç altında şekillendirilmesinde ve sinterlenmesinde grafit plakalar kullanılarak kalıplama

tekniki kullanılmıştır [9]. Kalıp boşlukları 10 x 70 mm (en x boy) ölçülerinde oluşturulmuştur. 300 °C'de bağlayıcı giderme işlemi işleminden sonra sinterleme işlemi, 30 MPa basınç altında 610 °C'de 50 dk süre ile gerçekleştirilmiştir. Numunelerin oksidasyona maruz kalmasını önlemek için, sinterlemenin başlangıcından sonuna kadar ortama %99,999 saflıkta argon gazı 9 L/dk debi ile verilmiştir.

Sinterleme işlemi sonrasında her bir numuneye sırasıyla 240 grid-1500 grid arası zımparalama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Numune yüzeylerinin parlatılması için 1-µm boyutunda elmas süspansiyon kullanılmıştır. Dağlama işleminde, literatürde birçok uygulaması mevcut olan [8, 9, 28, 29] hacimce %95 etil alkol, %5 nitrik asit çözeltisi 50 saniye uygulanmıştır.

Numunelerin mikroyapı incelemelerinde taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve elementel dağılım spektrometresi (EDS) kullanılmıştır. Oluşan fazların tayini için $\lambda=1,5405$ dalga boyunda, 0,02°/0,4 sn tarama hızında, x-ışını kırınımı (XRD) analizi gerçekleştirilmiştir. Sinterleme işleminin başarısını belirlemek için önce numunelerin gerçek yoğunlukları belirlenmiş, daha sonra bağıl yoğunlukları hesaplanmıştır.

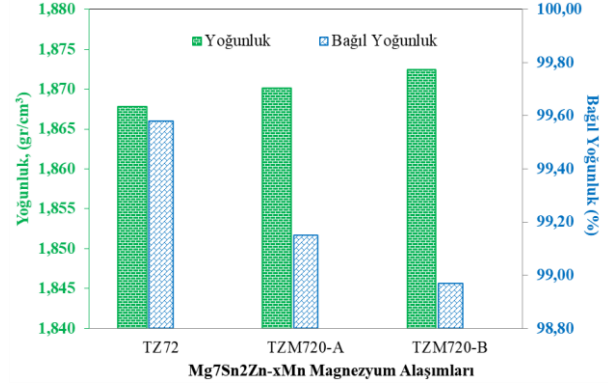
2.2. Mekanik Testler

Mekanik özelliklerin tespit edilmesi için çekme testleri uygulanmıştır. Her bir alaşım, literatürde uygulaması mevcut olan standartlarda [9], çekme numunesi haline getirilmiştir. Çekme testleri, maksimum 10 kN kapasiteli Shimadzu marka cihazda 0,5 mm/dk çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Her bir kompozisyondan ayrı ayrı olmak üzere dört adet numuneye çekme testi uygulanmıştır. Dört adet numuneden elde edilen sonuçların ortalaması ilgili kompozisyondaki numuneye ait çekme testi sonucu olarak kabul edilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

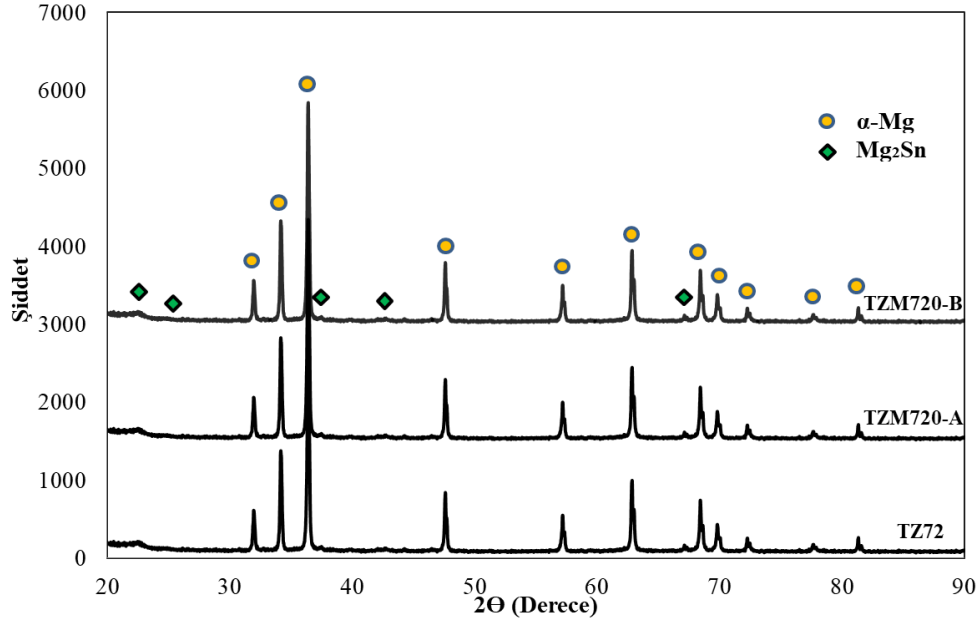
Sıcak presleme yöntemiyle üretilen TZ72-xMn magnezyum alaşımlarının ölçülen yoğunluk ve hesaplanan bağıl yoğunluk yüzdeleri Şekil 2'de verilmektedir. Artan Mn ilavesine bağlı olarak yoğunluk değerleri artarken, bağıl yoğunluk değerleri azalmaktadır. İlave edilen Mn oranı arttıkça, Mg'nin ağırlıkça yüzdesi aynı oranda azalmaktadır. Dolayısıyla

artan Mn ile birlikte yoğunluk değerlerinin artması beklenen bir sonuçtur. Bağıl yoğunluk değerlerinin en düşük (TZ72: %98,97) ile en yüksek (TZM720-B: %99,58) oranları arasında %0,61 gibi önemsenmeyecek bir fark vardır. Tüm alaşımların bağıl yoğunluk değerlerinin, sinterleme başarısı olarak kabul edilen %95 değerinden ve benzer literatür çalışmalarından [30, 31] çok daha yüksek elde edilmesi, sıcak presleme yönteminin başarılı bir şekilde gerçekleştirildiğine işaret etmektedir.



Şekil 2. Mg7Sn2Zn-xMn magnezyum alaşımlarına ait yoğunluk ve bağıl yoğunluk değerleri

Mg7Sn2Zn-xMn magnezyum alaşımlarına ait XRD desenleri Şekil 3'te verilmektedir. XRD analizinde her bir alaşımda tespit edilen α -Mg ve Mg₂Sn fazlarıdır. Herhangi bir oksijen içerikli faz bulunmamaktadır. Dolayısıyla, alaşımların oksitlenmediğini söylemek mümkündür. Sn'ye ait herhangi bir pike rastlanmaması, Sn'nin Mg içerisine tamamının veya büyük bir miktarının difüzyon ile çözündüğünü ve Mg₂Sn fazını oluşturduğunu göstermektedir. Diğer ilave edilen Zn ve Mn alaşım elementlerine ve bunların Mg ile yaptıkları herhangi bir intermetalik faza ait pike rastlanmamıştır. Literatürdeki çalışmalarda [9, 31, 32], Mg'ye ağırlıkça %4'ün altında Zn, ağırlıkça %0,5'in altında Mn ilave edildiğinde, bu alaşım elementlerine veya Mg ile oluşturdukları fazlara ait pikler XRD analizinde tespit edilememiştir. Dolayısıyla, mevcut çalışmada ilave edilen Zn ve Mn alaşım elementlerinin literatürde belirtilen oranların oldukça altında olması nedeniyle, XRD analizinde bu alaşım elementlerine ait herhangi bir pik tespit edilemediğini söylemek mümkündür.

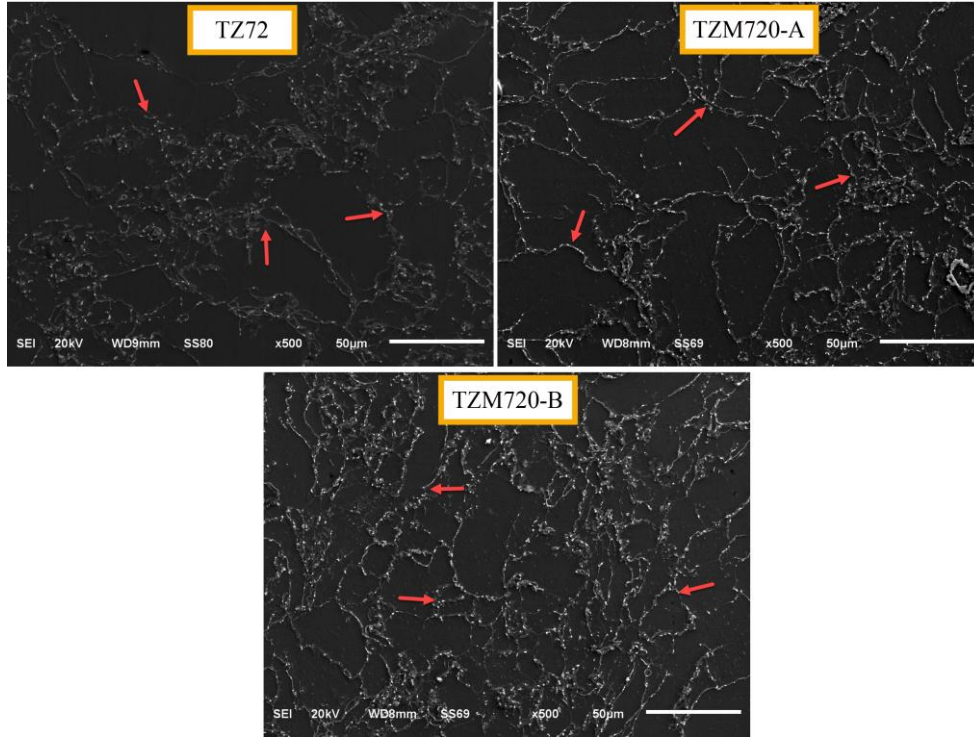
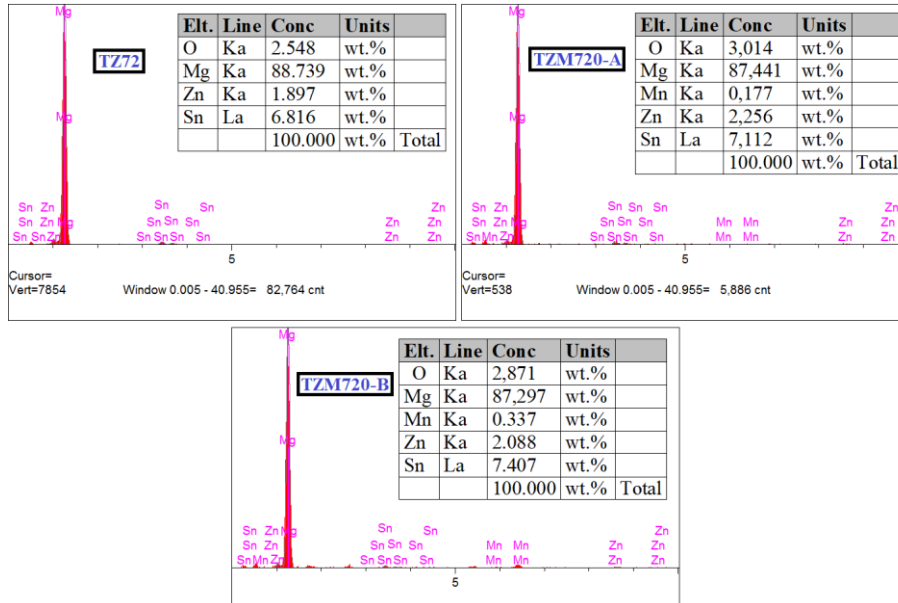


Şekil 3. Mg₇Sn₂Zn-xMn magnezyum alaşımlarına ait XRD desenleri

Sıcak presleme yöntemiyle üretilen Mg₇Sn₂Zn-xMn magnezyum alaşımlarına ait SEM görüntüleri Şekil 4'te verilmektedir. Her bir alaşıma ait SEM görüntüleri incelendiğinde, mikroyapıda gözenek oluşmadığı ve tanelerin homojen bir biçimde dağıldığı görülmektedir. Tane sınırlarında kırmızı oklarla gösterilen beyaz renkli noktasal yapıların XRD analizinde tespit edilen intermetalik Mg₂Sn fazına ait olduğu düşünülmektedir. Alaşım içeriğinde bulunan Sn'nin sinterleme esnasında Mg içerisinde çözülmüş halde olduğu, hızlı soğuma esnasında tane içlerinden tahliye olurken tane sınırlarında Mg₂Sn fazı olarak çöktüğü düşünülmektedir. Sn ilaveli Mg alaşımları ile ilgili bazı literatür çalışmalarında da [6, 7, 9], mikroyapıda tane sınırları boyunca aynı yapıları görmek mümkündür. Dikkat çeken diğer bir durum ise, artan Mn oranına bağlı olarak mikroyapıdaki tane boyutlarının küçüldüğüdür. Mg-Mn faz diyagramına göre, Mn oda sıcaklığında Mg içerisinde ağırlıkça % 2,2 oranında çözülmüş vaziyette kalabilmektedir. Mevcut çalışmada da, Mg içerisine Mn'nin neredeyse tamamının difüze olduğu ve tane düzenleyici etki sergilediği düşünülmektedir. Literatürde

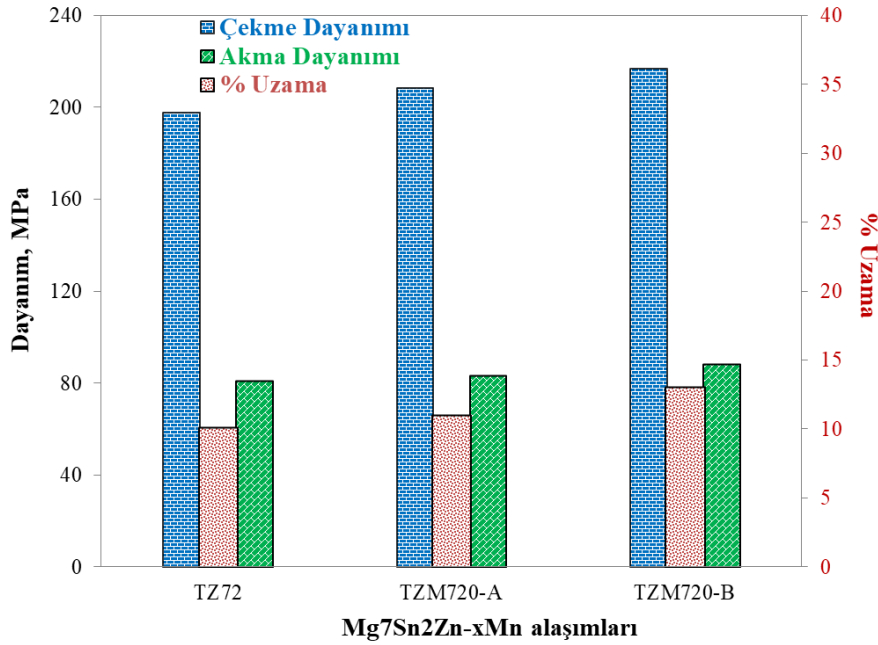
benzer bir çalışmada, Yu ve ekibi [33], Mg'ye farklı oranlarda Mn ilavesi yaparak mikroyapı özelliklerini araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuca göre, partikül boyutu küçük Mn ilavesi ile, Mn'nin Mg içerisine difüzyonunun kolaylaştığını ve Mn'nin etkileyici bir şekilde tane düzenleyici etkisi sayesinde ince taneli mikroyapıya sahip alaşımlar elde edildiğini tespit etmişlerdir. Mevcut çalışmada da, artan Mn oranıyla birlikte mikroyapıdaki tane boyutlarının küçüldüğü Şekil 4'te net bir şekilde görülmektedir.

Şekil 4'deki numune yüzeylerinden alınan EDS analizi sonuçları Şekil 5'te verilmektedir. Her bir alaşımdan elde edilen elementel sonuçlar, ilave edilen karışım oranları ile oldukça benzerdir. Alaşımlara ait XRD analizinde herhangi bir oksit pikine rastlanmamış olmasına rağmen EDS analizinde oksijen içeriği tespit edilmiştir. Bu durumun zımparalama ve parlatma işlemlerinde numune yüzeyinin suyla temasından dolayı oluştuğu düşünülmektedir.

Şekil 4. Mg₇Sn₂Zn-xMn magnezyum alaşımlarına ait SEM görüntüleriŞekil 5. Mg₇Sn₂Zn-xMn magnezyum alaşımlarına ait EDS analizi sonuçları

Farklı oranlarda Mn ilavesi içeren Mg₇Sn₂Zn-xMn magnezyum alaşımlarına ait çekme-uzama grafiği Şekil 6'da, elde edilen sonuçlar Tablo 2'de verilmektedir. Artan Mn oranına bağlı olarak alaşımların mukavemet değerleri etkili bir şekilde artış göstermiştir. Bununla birlikte süneklik değerlerinde de az da olsa artış gözlenmiştir. En yüksek dayanım ve süneklik özellikleri TZM720-B magnezyum alaşımından elde edilirken, en düşük dayanım ve süneklik özellikleri TZ72 magnezyum alaşımında tespit edilmiştir. SEM analizinde tespit edilen, artan Mn ilavesiyle daha ince taneli yapıların oluşması Hall-Petch etkisini de beraberinde getirmektedir. Tane boyutlarındaki küçülme ile tane sınırlarının uzunluğu da artacağından dislokasyon hareketleri zorlaşmaktadır. Dolayısıyla, Şekil 6'daki artan Mn oranına bağlı olarak mekanik özelliklerin

gelişmesi bu duruma bağlanmaktadır. Benzer literatür çalışmasında [33], Mn ilavesiyle daha ince taneli mikroyapının elde edildiği alaşımların daha yüksek dayanıma sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada en yüksek dayanımın elde edildiği TZM720-B magnezyum alaşımı, literatürde döküm yöntemiyle üretilmiş ZX51 ve ZXM510 magnezyum alaşımlarından [3] %50 ile %80 aralığında daha iyi dayanım sergilemiştir. Bununla birlikte, en yüksek süneklik (% 13 uzama) özellikleri de aynı alaşımdan elde edilmiştir. Candan vd. benzer bir çalışmada [13], AZ91 alaşımından yaklaşık olarak %5 uzama elde etmişlerdir. Şimdiki çalışmada elde edilen daha fazla uzama, Candan vd. elde ettiği uzama değerinden %8 daha fazladır.



Şekil 6. Sıcak presleme yöntemiyle üretilen alaşımların çekme dayanımı ve % uzama değerleri

Tablo 2. TZ72-xMn magnezyum alaşımlarının mekanik özellikleri

| Alaşım kodlamaları | Çekme Dayanımı, (MPa) | Akma Dayanımı, (MPa) | Uzama, (%) |
|--------------------|-----------------------|----------------------|------------|
| TZ72 | 198 | 81 | 10,1 |
| TZM720-A | 208,8 | 83 | 11 |
| TZM720-B | 217,2 | 88 | 13 |

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada TZ72 magnezyum alaşımı ve bu alaşıma farklı oranlarda Mn ilave edilen alaşımların sıcak presleme yöntemiyle üretimi başarıyla gerçekleştirilmiştir. Mn ilavesinin mekanik özelliklere etkisi araştırılmıştır. Döküm yöntemiyle üretilen Mg alaşımlarına kıyasla sıcak presleme ile üretilen Mg alaşımlarında gözeneksiz mikroyapılar elde edilmiştir. Basınç altında hızlı soğuma sayesinde, tane sınırlarında mekanik özellikleri olumlu etkileyen intermetalik ikincil fazlar oluşmuştur. Mn ilavesinin Mg alaşımlarında tane düzenleyici etkisi olduğu keşfedilmiştir. Artan Mn ilavesine bağlı olarak tane boyutlarında küçülmeler belirlenmiştir. Düşük oranlarda da olsa, Mn ilavesinin Mg alaşımının mekanik özelliklerini ve sünekliğini olumlu yönde etkilediği tespit edilmiştir.

Mn ilavesinin daha yüksek oranlarda ilavesi çalışılarak mekanik özelliklerin ve sünekliğin geliştirilebileceği üst sınırlar tespit edilebilir.

Teşekkür

Bu çalışmanın metalografik analizlerinde emeği geçen Bingöl Üniversitesi Merkezi Laboratuvarı ve çalışanlarına, çekme deneyi analizleri için Afyon Kocatepe Üniversitesi Merkezi Laboratuvar ve çalışanlarına teşekkür ederim. Sıcak presleme cihaz desteği için Bingöl Üniversitesi'ne ayrıca teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- [1] Hu XS, Wu K, Zheng MY. Effect of heat treatment on the stability of damping capacity in hypoeutectic Mg-Si alloy. *Scripta Materialia*. 2006;54(9):1639-1643.
- [2] Laser T, Hartig CH, Nürnberg MR, Letzig D, Bormann R. The influence of calcium and cerium mischmetal on the microstructural evolution of Mg-3Al-1Zn during extrusion and resulting mechanical properties. *Acta Materialia*. 2008;56(12):2791-2798.
- [3] Tong LB, Zheng MY, Xu SW, Kamado S, Du YZ, Hu XS, Wu K, Gan WM, Brokmeier HG, Wang GJ, Lv XY. Effect of Mn addition on microstructure, texture and mechanical properties of Mg-Zn-Ca alloy. *Mater Sci Eng A*. 2011;528:3741-3747.
- [4] Khan SA, Miyashita Y, Mutoh Y, Sajuri ZB. Influence of Mn content on mechanical properties and fatigue behavior of extruded Mg alloys. *Mater Sci Eng A*. 2006;420:315-321.
- [5] Levi G, Avraham S, Zilberov A, Bamberger M. Solidification, solution treatment and age hardening of a Mg-1.6wt.%Ca-3.2wt.%Zn alloy. *Acta Materialia*. 2006;54(2):523-530.
- [6] Özgün Ö, Aslantaş K, Erçetin A. Powder metallurgy Mg-Sn alloys: Production and characterization. *Sci Iran*. 2020;27:1255-1265.
- [7] Liu H, Chen Y, Tang Y, Wei S, Niu G. The microstructure, tensile properties, and creep behavior of as-cast Mg-(1-10)%Sn alloys. *J Alloy Compd*. 2007;440(1-2):122-126.
- [8] Erçetin A, Özgün Ö, Aslantaş K, Aykutoğlu G. The microstructure, degradation behavior and cytotoxicity effect of Mg-Sn-Zn alloys in vitro tests. *SN Appl Sci*. 2020;2:173.
- [9] Erçetin A, Özgün Ö, Aslantaş K. Investigation of mechanical properties of Mg5Sn-xZn alloys produced through new method in powder

- metallurgy, J Test Eval. 2021;49 <https://doi.org/10.1520/JTE20200020>
- [10] Gökçe A. Toz metalurjisi yöntemiyle Mg-Sn alaşımı üretimi ve karakterizasyonu. Acad Platform J Eng Sci. 2020;8:112-119.
- [11] Zhou Y-Z, Wu P, Yang Y, Gao D, Feng P, Gao C, Wu H, Liu Y, Bian H, Shuai C. The microstructure, mechanical properties and degradation behavior of laser-melted MgSn alloys. J Alloy Compd. 2016;687:109-114.
- [12] Shuai C, Zhou Y, Lin X, Yang Y, Gao C, Shuai X, Wu H, Liu X, Wu P, Feng P. Preparation and characterization of laser-melted Mg-Sn-Zn alloys for biomedical application. J Mater Sci Mater Med. 2017;28:1-8.
- [13] Candan Ş, Çelik M, Candan E. AZ91 magnezyum alaşımında soğuma hızlarının mekanik ve korozyon özelliklerine etkisi. Bilecik Seyh Edebali Univ Fen Bil Derg. 2014;1(2):17-28.
- [14] Kalaycı F, Zubaroğlu E. Çift merdaneli sürekli döküm tekniği ile üretilmiş AZ ve AM serisi magnezyum alaşımlarının korozyon davranışlarının karşılaştırılması. MSU Fen Bil Derg. 2017;5(2):391-398.
- [15] Jin L, Dong J, Wang R, Peng LM. Effects of hot Rolling processing on microstructures and mechanical properties of Mg-3%Al-1%Zn alloy sheet. Mater Sci Eng A. 2010;527(7-8):1970-1974.
- [16] Zhang BP, Geng L, Huang LJ, Zhang XX, Dong CC. Enhanced mechanical properties in fine-grained Mg-1.0Zn-0.5Ca alloys prepared by extrusion at different temperatures. Scripta Mater. 2010;63(10):1024-1027.
- [17] Garcés G, Müller A, Oñorbe E, Pérez P, Adeva P. Effect of hot forging on the microstructure and mechanical properties of Mg-Zn-Y alloy. J Mater Process Technol. 2010;206(1-3):99-105.
- [18] Avinash L, Kumar H, Parthasarathy A, Varun Kumar KN, Sajjan B. The effect of ceramic reinforcement on the microstructure, mechanical properties and tribological behavior of Al-7.5%Si-0.5%Mg alloy. AMM 2017;867:3-9.
- [19] Parthasarathy A, Avinash L, Varun Kumar KN, Sajjan B, Varun S. Fabrication and characterization of Al-0.4%Si-0.5%Mg - SiCp using permanent mould casting technique. AMM 2017;867:34-40.
- [20] Lakshmi Narayana KS, Shivanand HK, SachinKumar P. Mechanical and tribological behavior of e-glass fiber reinforced aluminum matrix composites produced by stir casting: A review. Int J Mech Product Eng Res Develop. 2018;8(8):39-50.
- [21] Ercetin A, Aslantaş K. The effect of different cutting parameters on cutting force, tool wear and burr formation in micro milling WCu composite material fabricated via powder metallurgy. Tr J Nature Sci. 2016;5(2):1-5.
- [22] Ercetin A, Aslantaş K. Production of WCu electrical contact material via conventional powder metallurgy method: Characterization, mechanical and electrical properties. Tr J Nature Sci. 2017;6(1):37-42.
- [23] Özgün Ö, Ercetin A. Microstructural and mechanical properties of Cr-C reinforced Cu matrix composites produced through powder metallurgy method. Tr J Nature Sci. 2017;6(2):1-6.
- [24] Turan ME, Sun Y, Akgul Y. Mechanical, tribological and corrosion properties of fullerene reinforced magnesium matrix composites fabricated by semi powder metallurgy. J Alloy Compd. 2018;740:1149-1158.
- [25] Özgün Ö, Gülsoy HÖ. Toz enjeksiyon kalıplama yöntemi ile üretilen FeCo alaşımlarının mikroyapı ve mekanik özelliklerinin araştırılması. Tr J Nature Sci. 2020;9(1):6-11.
- [26] Turan ME, Sun Y, Akgul Y, Turen Y, Ahlatci H. The effect of GNPs on wear and corrosion behaviors of pure magnesium. J Alloy Compd. 2017;724:14-23.
- [27] Ercetin A, Aslantaş K, Özgün Ö. Micro-end milling of biomedical TZ54 magnesium alloy produced through powder metallurgy. Mach Sci Technol. 2020;24(6):924-947.
- [28] Nayyeri G, Mahmudi R. Enhanced creep properties of a cast Mg-5Sn alloy subjected to aging-treatment. Mater Sci Eng A. 2010;527:4613-4618.
- [29] Wahba M, Katayama S. Laser welding of AZ31B magnesium alloy to Zn-coated steel. Mater Des. 2012;35:701-706.
- [30] Akkaş M, Boz M. Investigation of the compressibility and sinterability of AZ91 powder production and particle production by gas atomisation method. J Magnesium Alloy. 2019;7:400-413.
- [31] Qi F, Zhang D, Zhang X, Xu X. Effects of Mn addition and X-phase on the microstructure and mechanical properties of high-strength Mg-Zn-Y-Mn alloys. Mater Sci Eng A. 2014;593:70-78.
- [32] Liao H, Kim J, Liu T, Tang A, She J, Peng P, Pan F. Effects of Mn addition on the microstructures, mechanical properties and work-hardening of Mg-1Sn alloy. Mater Sci Eng A. 2019;754:778-785.
- [33] Yu Z, Tang A, Wang Q, Gao Z, He J, She J, Song K, Pan F. High strength and superior ductility of an ultra-fine grained magnesium-manganese alloy. Mater Sci Eng A. 2015;648:202-207.



Amasya Yöresinde Yetişen Yerel Elma Genotiplerinde Fiziko-Kimyasal Özelliklerin Tespiti

Zeliha Selcen ÖZMEN^{1*}, Çetin ÇEKİÇ²

¹Orta Karadeniz Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Tokat, Türkiye
²Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Tokat, Türkiye
 Zeliha Selcen ÖZMEN ORCID No: 0000-0002-8245-9944
 Çetin ÇEKİÇ ORCID No: 0000-0003-1691-8361

*Sorumlu yazar: zselcen@hotmail.com

(Alınış: 11.11.2020, Kabul: 20.05.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Anahtar Kelimeler

Amasya,
Fiziko-
kimyasal,
Yerel elma

Öz: Bu araştırma, Amasya merkez ve ilçelerinde yetişen yerel elma genotiplerinin fiziko-kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla 2015-2016 yıllarında yürütülmüştür. Survey çalışmaları sonucunda tespit edilen 24 yerel elma genotipi incelenmiştir. İncelenen yerel elma genotiplerinde meyve ağırlığı 26,59-273,75 g, meyve eni 37,45-85,77 mm ve meyve boyu 38,18-76,78 mm, meyve eti sertliğinin 14,48-29,00 libre arasında olduğu gözlemlenmiştir. Suda çözünebilir kuru madde (SÇKM) miktarı % 9,2-19,7; pH 4,0-5,2 ve titre edilebilir asit miktarı (malik asit cinsinden) %0,21-1,40 olarak belirlenmiştir. Meyve kabuk rengine ait veriler ise L*, a* ve b* cinsinden kaydedilmiş olup L* değeri 42,31-79,9; a* değeri -21,91-27,47 ve b* değeri 20,79-45,22 arasında bulunmuştur.

Physico-Chemical Characteristics of Local Apple Genotypes Grown in Amasya Province

103

Keywords

Amasya,
Physico-
chemical,
Local apple

Abstract: This study was carried out to investigate physico-chemical properties of local apple genotypes in Amasya province, in 2015 and 2016. Some properties of 24 local apple genotypes from survey studies were determined. In the genotypes analysed; the pomological properties were ranged as; 26,59-273,75 g for fruit weight, 37,45-85,77 mm for fruit diameter and 38,18-76,78 mm for fruit length, 14,48-29,00 libre for fruit flash hardness, 9,2-19,7 % for soluble solid content (TSS), 4,0-5,2 for pH and %0,21-1,40 % for titratable acidity. L*, a* and b* values of fruit Shell color were recorded in L* value 42,31-79,96, a* value -21,91-27,47 and b* value 20,79-45,22.

1. GİRİŞ

Türkiye, dünyadaki mevcut gen merkezleri arasında Yakınoğu ve Akdeniz havzası içinde yer alan gen merkezlerinden biri olup birçok meyve tür ve çeşidini barındırmaktadır [1]. Bu meyve tür ve çeşitleri arasında yer alan elma (*Malus domestica* Borkh.); *Rosales* takımı, *Rosaceae* familyası, *Pomoideae* alt familyasının, *Malus* cinsine ait olup insanoğlu tarafından yıllardır yetiştiriciliği yapılmış ve günümüze kadar muhafaza edilmiştir [2].

Elma, ılıman iklime sahip bütün bölgelerde ve tropik bölgelerinin yüksek rakımlı yerlerinde yetiştiriciliği yapılabilen bir meyve türüdür. Anaç ve çeşit zenginliğinin de önemli etkisiyle, elmanın iklim ve toprak istekleri oldukça esnek olmuştur. Türkiye’de ise farklı coğrafi ve ekolojik koşullarının sağladığı avantajlar sayesinde elma, hemen her yörede yetişmektedir. Elma kültürüne özellikle

İç Anadolu’da nemli vadilerde, Doğu Anadolu’da alçak vadilerde, Ege bölgesinde 500 m’den daha yüksek yerlerde, Güneydoğu Anadolu’da ise 1000–1200 m yüksekliklerde rastlanmaktadır. Ayrıca soğuklama ihtiyacı düşük çeşitler ile subtropik bölgelerde de yetiştirilebilmektedir [3].

Dünyanın elma çeşit geliştirme çalışmaları ile birlikte elma çeşitlerinin sayısı 6.500’ü aşmaktadır. Türkiye’de ise ekolojik özelliklerin büyük farklılıklar gösterdiği ve her bir farklı ekolojiye uygun yaklaşık 500’ün üzerinde mahalli elma çeşidi bulunmaktadır [4, 5, 6]. Bunların arasında kalite ve verim yönünden düşük ve ticari anlamda yetiştiriciliği yapılmayan yerel elma genotipleri de mevcuttur. Ancak ekonomik olarak çok fazla bir değeri olmasa da bu mahalli genotipler genetik olarak büyük önem arz etmekte ve ıslah çalışmaları için iyi bir materyal kaynağı oluşturmaktadır.

Dünyada yeni elma çeşitleri geliştirmek amacıyla genetik kaynakları, belirlenen amaca yönelik

incelenmekte ve ıslah edilmeye çalışılmaktadır. Yapılan ıslah çalışmalarının çoğu meyve verimi ve kalitesi, hastalık ve zararlılara dayanımı, depolanabilirlik, adaptasyon ve hasat tarihi gibi konuları içermektedir. Bu yönde yapılan çalışmaların çoğunluğu, materyal olarak elma genetik kaynaklarını kullanmaktadır. Bunun en büyük sebeplerinden biri genetik kaynakların nesiller boyunca önemli özellikleri taşıyan genlerinin aktarılmış olmasıdır. Bitki ıslahı çalışmalarında son derece önemli olan bu genlerin farklı kombinasyonları ile genetik çeşitliliğin oluşumunu sağlamaktadır [7]. Dolayısıyla bu değerli genetik kaynakların gelecek için muhafazası, çeşitliliğin tanımlanması, değerlendirilmesi ve kullanılabilir hale getirilmesi gerekmektedir.

Dünyanın, genetik kaynakların önemini anlamasıyla birlikte yerel elma çeşitlerinin tespit edilmesi, özelliklerinin belirlenmesi, aralarındaki benzerlik ve farklılıkların ortaya konulması ve muhafaza edilmesi gibi özelliklerin üzerinde durulmaktadır [8, 9]. Bu nedenle tüm dünyada mahalli çeşitlerin belirlenmesi, korunması ve ıslah materyali olarak kullanılması için çok sayıda çalışmalar yapılmaktadır [10].

Orta Karadeniz Bölgesi Geçit Kuşağı'nda yer alan Amasya, yıllardır elma yetiştiriciliği yapılan önemli bir il konumundadır. Mikro-klima bölgelerinin de olmasıyla birlikte farklı iklim ve toprak isteklerine sahip pek çok elma türleri farklı özellikte ve farklı zaman dilimlerinde yetiştirilebilmektedir. Bu nedenle Amasya ili, yüksek potansiyelde elma genetik kaynakları barındırmaktadır. Ancak, birçok meyve türünde de olduğu gibi elma türüne ait yerel elma genotipleri kaybolmaya yüz tutmuş ve önemini yitirmiş bulunmaktadır. Dolayısıyla yerel elma genotiplerinin belirlenmesi, ayrıntılı özelliklerinin ortaya konulması ve muhafaza edilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada; Orta Karadeniz Bölgesi'nde yer alan Amasya ilinin yerel elma genotiplerinin bazı pomolojik ve kimyasal özelliklerinin saptanması amaçlanmıştır. Çalışmanın sonunda elde edilen verilere göre; genotiplerinin birer ıslah materyali olarak literatüre kazandırılması, genotiplerinin tanımlanması ve elma genetik kaynakların değerlendirilmesi sağlanmıştır. Böylece Amasya ilinde bulunan yerel elma genotiplerinin önemi vurgulanarak bölgenin zenginliği açığa çıkartılmıştır. Ayrıca Amasya ilinde böyle bir çalışmanın bugüne kadar yapılmamış olması bu çalışmanın önemini arttırmaktadır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Araştırma Orta Karadeniz geçit bölgesinde yer alan Amasya ilinde yürütülmüştür. Araştırmanın materyalini survey çalışmaları sonucunda, Amasya il ve ilçelerinden toplanan 24 adet yerel elma genotipi oluşturmuştur. Çalışmalar esnasında yerel çeşitlerinin olmasının yanı sıra, yıllardır günümüze kadar gelen isimsiz yerel elma genotipleri de mevcuttur. Bu nedenle yerleri belirlenen her bir yerel elma genotipi; ilin trafik kodu, ilçesi, köyü ve sıra numarası şeklinde kodlanarak isimlendirilmiştir.

2.2. Metot

Belirlenen 24 adet yerel elma genotipinin pomolojik ve kimyasal özelliklerini tespit etmek amacıyla, her bir genotipin aynı ağacın farklı yönlerinden 15 adet meyve örneği toplanmıştır. Pomolojik ölçüm ve kimyasal analizleri yapmak üzere Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Laboratuvarına getirilmiştir. Meyve örneklerinde pomolojik analizler olarak; meyvede ağırlık ölçümü, meyvede en-boy ölçümü, meyve kabuk rengi ölçümü ve meyvede sertlik ölçümü olarak yapılırken kimyasal analizi bakımından; suda çözünür kuru madde tayini, pH ve titre edilebilir asitlik ölçümü yapılmıştır.

Meyve ağırlıkları 0,01 gram hassasiyetteki terazi ile tartıldıktan sonra ortalama ağırlık değerleri alınırken meyve eni ve boyu 0,05 mm'ye duyarlı kumpas ile ölçüldükten sonra ortalama değerleri alınmıştır. Meyvenin uzun, yassı ya da yuvarlak olması konusunda bilgi veren meyve şekil indeksi; ortalama meyve boyunun (mm), ortalama meyve enine (mm) bölünmesiyle elde edilmiştir [11]. Meyve eti sertliği ölçümlerde meyve kabuğu kaldırıldıktan sonra el penetrometresi ile değerler kayıt altına alınmıştır. Meyve kabuk rengi, Minolta renk ölçer aleti ile meyvenin ekvatorial bölgesi üzerinden birbirine simetrik 2 ayrı noktadan yapılan ölçümlerin ortalaması alınmış ve meyve kabuk rengine ait veriler L*, a* ve b* cinsinden kaydedilmiştir. Kimyasal analiz ölçümlerde Suda Çözünür Kuru Madde (SÇKM), elektrikli katı meyve sıcaklığından elde edilen meyve suları dijital refraktometre ile ölçülmüştür. pH ölçümler pH metre ile yapılmıştır. Titre edilebilir asitlik ise meyve suyundan 10 ml alındıktan sonra üzerine 10 ml saf su ilave edilmiş ve örnekler pH 8,1 değerine ulaşana kadar 0,1 N sodyum hidroksit (NaOH) ile titre edilmiştir. Titre edilebilir asitlik değeri malik asit cinsinden % olarak hesap edilmiştir [12]. Elde edilen verilere ait istatistiksel analizler JMP paket programından yararlanarak analiz edilmiştir. Verilerin değerlendirilmesinde tek yönlü varyans analiz prosedürü uygulanmış olup, ortalamalar arasındaki farklılıkların tespit edilmesinde, Duncan çoklu karşılaştırma testinden faydalanılmıştır [13].

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Amasya ili ve ilçelerinde survey çalışmaları sonucunda toplanan 24 yerel elma genotipinin fiziko-kimyasal özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

3.1. Meyve Ağırlığı

Yapılan çalışmada 24 yerel elma genotipinin meyve ağırlıkları incelenmiş olup ortalama meyve ağırlığında en düşük değere 26,59 g ile 05 TD 041 kodlu genotip sahip olurken en yüksek değeri 273,75 g ile 05 SU 016 kodlu genotip almıştır.

Özkan ve Celep [14], Tokat ilinde yaptıkları bir çalışmada elma çeşitlerinin ortalama meyve ağırlıklarının 89,26 g- 255,67 g; Edizer ve Bekar [15] ise 48,03 g-311,02 g arasında olduğunu bildirmişlerdir.

Kırkaya ve ark. [16], Ordu ili Perşembe ilçesinde yetiştirilen 27 elma genotipinde meyve ağırlığının 76,24-247,23 g; Açık [17], Gürgentepe ilçesinde (Ordu) yetiştirilen 18 yerel elma çeşidinin meyve ağırlığı 67,23-194,96 g; Uzun ve ark. [18], Ordu ili Çamaş ilçesi ve mahallelerinde yetişen yerel elma genotiplerinin ortalama meyve ağırlıklarını 75,52-191,95 g; Balta ve ark. [19], Ordu ilinin Kumru ilçesinde yetiştirilen 27 yerel elma genotipinde meyve ağırlığının 71,41-245,99 g; Özmen ve Çekiç [20], Tokat merkez ve ilçelerinde yetişen 23 yerel elma genotiplerinde meyve ağırlığı 83,31-249,78 g arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Elde ettiğimiz bulgular, Orta Karadeniz Bölgesi'nde yapılan çalışmaların verileri ile paralellik gösterdiği dikkat çekmektedir.

3.2. Meyve Eni, Boyu ve Şekil İndeksi

İncelenen genotiplerde meyve eni bakımından en düşük değere 37,45 mm ile 05 TD 041 kodlu genotip olurken en yüksek değere 85,77 mm ile 05 SU 016 kodlu genotipe ait olmuştur. Meyve boyunun ise en düşük değeri 38,18 mm ile 05 TD 041 kodlu genotip iken en yüksek değeri 76,78 mm ile 05 SU 016 kodlu genotipte tespit edilmiştir. Elde edilen boyutlara göre meyve şekil indeksi değeri 0,80 (05 SH 006, 05 SH 011 ve 05 SH 012) ile 1,10 (05 T 033) arasında olup meyvelerin genel olarak yassı yuvarlak olduğu görülmektedir.

Şenyurt ve ark. [21], Gümüşhane merkez ilçede yetişen bazı standart ve mahalli elma çeşitlerinin meyve boyunun 52,09-66,29 mm ve meyve eninin 57,27-80,77 mm arasında olduğunu bulmuşlardır. Doustı [22], Doğu Karadeniz Bölgesi sahil kuşağı yerel elma çeşitlerinin meyve boyunu 48,0-71,7 mm, meyve çapını 54,3-77,3 mm, boy/çap oranını ise 0,76-1,03 arasında değiştiğini belirlemiştir. Karakaya ve ark. [23], Giresun ili Yağhdere ilçesinden seleksiyon yoluyla elde ettikleri 29 elma genotipinin meyve çapının 59,51-87,62 mm ve meyve şekil indeksinin 0,73-0,99 arasında olduğunu tespit etmişlerdir. Balta ve ark. [19], Ordu ilinin Kumru ilçesinde yetiştirilen 27 yerel elma genotiplerinin meyve çapının 61,01-95,59 mm olarak belirlemişlerdir. Özmen ve Çekiç [20], Tokat ili genotiplerde meyve eninin 57,67-85,50 mm, meyve boyunun ise 47,93-67,23 mm arasında olduğunu tespit etmişlerdir. Elde ettikleri boyutlara göre meyve şekil indeksi değeri 0,76-1,02 arasında olduğunu belirtmişlerdir.

Yapılan benzer çalışmalar ile karşılaştırıldığında, çalışmamızda en ve boy değerleri genel olarak standartların içinde ve yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, benzer çalışmaların yapıldığı Karadeniz bölgesinin iklim şartlarından dolayı kaynaklandığı düşünülmektedir.

3.3. Meyve Eti Sertliği

Araştırmada elde edilen meyve eti sertlik değerleri 14,48 lb (05 SH 011) ile 29,00 lb (05 T 041) arasında değişmiştir.

Yapılan benzer çalışmalarda elma genotiplerinde meyve eti sertliğinin; Kırkaya ve ark. [16], Ordu ili Perşembe ilçesinde yetiştirilen yerel elma genotiplerinin meyve eti sertliğinin 6,99-12,83 lb arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Açık [17], Gürgentepe ilçesinde (Ordu) yetiştirilen mahalli elma çeşitlerinin meyve eti sertliği 6,25-10,07 lb arasında değiştiğini bildirmiştir. Daler ve ark. [24], meyve eti sertliğini 15,81-16,63 libre arasında bulurlarken; Coşkun ve Aşkın [25] meyve eti sertliğini 14,29-19,41 libre arasında olduğunu bildirmişlerdir. Balta ve ark. [19], Ordu ilinin Kumru ilçesinde yetiştirilen 27 yerel elma genotiplerinin meyve eti sertliğinin 6,94-12,64 lb olarak belirlemişlerdir.

Çalışmada elde edilen yerel elma genotiplerinin meyve eti sertlik değerleri diğer araştırmalar ile karşılaştırıldığında, sertlik değerlerinin genelinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Böylelikle araştırma bölgesinde yetiştirilen yerel elma genotiplerinin geneli depolamaya daha elverişli ve raf ömrünün daha uzun olabileceği düşünülmektedir. Bu değer çeşitlere bağlı olarak değişebildiği gibi, meyve iriliği, rakım ve olgunlaşma düzeyi gibi çok sayıda faktöründe etkisi altındadır.

3.4. Suda Çözünür Kuru Madde (SÇKM), pH ve Titre Edilebilir Asitlik

Çalışmada elde edilen verilere göre SÇKM içeriği % 9,2 (05 SH 015)-% 19,7 (05 TD 019) arasında değişmiştir. İncelenen genotiplerde pH değeri, 4,0 (05 SH 015) ile 5,2 (05 SD 008) arasında değişirken genotipler arasında titre edilebilir asitlik değeri malik asit cinsinden 0,21 (05 TD 041) ile 1,40 (05 SY 009) arasında hesaplanmıştır.

Kırkaya ve ark. [16] yerel elma genotiplerinin pH değerinin 3,16-3,56, SÇKM oranının % 9,01-13,75 ve titre edilebilir asitlik oranının % 0,40-1,64 değerleri arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Şenyurt ve ark [21], suda çözünebilir kuru madde miktarını (SÇKM) % 11,50-15,25, pH 3,53-4,87 ve titre edilebilir asitlik miktarını % 0,20-1,24 arasında olduğunu bulmuşlardır. Balta ve ark. [19], suda çözünebilir kuru madde miktarının % 9,40-13,60, pH 2,83-4,11 ve titre edilebilir asit miktarının % 0,22-2,01 olarak belirlemişlerdir. Karakaya ve ark. [23], 29 elma genotipinin pH'sını 2,89-4,80, suda çözünebilir kuru madde miktarını (SÇKM) % 8,40-14,25 ve titre edilebilir asitlik miktarını % 0,16-1,08 arasında saptamışlardır. SÇKM, pH ve titre edilebilir asitlik değerlerinin birlikte değerlendirilmesi, meyvelerde olgunluğun ve hasat zamanının daha doğru bir biçimde belirlenmesinde yardımcı olmaktadır. Bunun yanı sıra bu parametreler, meyve kalitesi bakımından da önemli parametrelerdir.

3.5. Meyve Kabuk Rengi

Çalışmada yapılan meyve kabuk rengi ölçümlerinde L* değeri 42,31 (05 SH 011)-79,96 (05 T 030), a* değeri -21,91 (05 SU 004) - 27,47 (05 TD 040) ve b* değeri 20,79 (05 SH 011)-45,22 (05 SU 004) arasında bulunmuştur.

Tablo 1. Amasya yöresinde yetişen yerel elma genotiplerinin bazı fiziko-kimyasal özellikleri

| No | Kodu | Ağırlık (g) | En (mm) | Boy (mm) | Şekil indeksi | Meyve eti sertlik (lb) | L* | a* | b* | Titre edilebilir asitlik (%) | pH | SÇKM (%) |
|------------|-----------|-------------|-----------|-----------|---------------|------------------------|-----------|-----------|------------|------------------------------|--------|----------|
| 1 | 05 SU 004 | 127,13 fgh | 68,11 fg | 63,02 efg | 0,93 e-h | 18,92 e-h | 71,14 cd | -21,91 j | 45,22 a | 1,08 c | 4,7 cd | 11,6 f |
| 2 | 05 MA 005 | 142,16 efg | 73,95 cde | 64,30 de | 0,87 ij | 18,23 gh | 63,22 fg | 8,09 c | 31,49 ghı | 0,26 lm | 5,1 ab | 12,8 c |
| 3 | 05 SH 006 | 198,83 c | 78,95 b | 62,86 efg | 0,80 k | 20,17 c-f | 52,33 k | 9,02 c | 27,47 jkl | 0,92 de | 4,3 gh | 12,5 d |
| 4 | 05 SD 008 | 127,95 fgh | 65,93 ghı | 61,67 efg | 0,94 def | 19,91 d-g | 66,63 def | 9,89 c | 32,08 f-ı | 0,81 f | 5,2 a | 13,9 b |
| 5 | 05 SY 009 | 206,43 c | 79,09 b | 70,98 bc | 0,90 f-ı | 20,12 d-g | 58,43 hij | -3,36 efg | 37,21 bcd | 1,40 a | 4,5 ef | 12,0 e |
| 6 | 05 SU 010 | 241,27 b | 81,62 ab | 70,80 bc | 0,87 ij | 15,41 ij | 43,76 l | 19,08 ab | 21,84 m | 0,80 f | 4,1 ij | 12,5 d |
| 7 | 05 SH 011 | 242,82 b | 85,36 a | 67,89 cd | 0,80 k | 14,48 j | 42,31 l | 22,32 ab | 20,79 m | 1,25 b | 4,5 ef | 12,0 e |
| 8 | 05 SH 012 | 171,33 d | 76,85 bcd | 61,41 efg | 0,80 k | 15,48 ij | 44,49 l | 23,90 ab | 24,46 lm | 0,81 f | 4,2 hı | 12,0 e |
| 9 | 05 SH 013 | 146,94 def | 69,16 efg | 63,31 ef | 0,92 e-h | 17,85 h | 65,52 ef | -3,89 efg | 35,63 j-f | 0,34 j | 4,8 c | 11,4 fg |
| 10 | 05 SU 014 | 130,55 fgh | 66,89 gh | 62,39 efg | 0,93 d-g | 18,29 gh | 69,12 cde | -6,38 fgh | 36,57 b-e | 0,21 n | 5,1 ab | 11,5 fg |
| 11 | 05 SH 015 | 203,49 c | 78,51 bc | 65,38 de | 0,83 jk | 18,67 fgh | 53,50 jk | 2,40 cde | 30,04 hij | 1,23 b | 4,0 j | 9,2 j |
| 12 | 05 SU 016 | 273,75 a | 85,77 a | 76,78 a | 0,90 f-ı | 15,53 ij | 57,15 ijk | 5,72 cd | 33,57 d-g | 0,44 h | 4,4 fg | 11,5 fg |
| 13 | 05 TD 017 | 111,39 hı | 62,60 hij | 55,64 hı | 0,89 hı | 20,81 cd | 62,40 fgh | 17,29 b | 32,97 e-h | 0,56 ı | 4,7 cd | 13,9 b |
| 14 | 05 TD 019 | 47,39 lm | 44,90 m | 43,72 k | 0,97 cd | 27,55 a | 69,34 cde | -8,73 gh | 43,31 a | 0,31 jk | 4,1 ij | 19,7 a |
| 15 | 05 TD 025 | 108,05 hij | 62,00 ijk | 52,99 ij | 0,85 ij | 20,74 cde | 66,04 ef | -3,86 efg | 38,34 bc | 0,23 mn | 5,0 b | 13,0 c |
| 16 | 05 TD 026 | 120,78 gh | 66,40 ghı | 58,86 gh | 0,89 hı | 20,20 c-f | 59,18 ghı | 7,10 cd | 32,79 e-h | 0,72 g | 4,8 c | 12,5 d |
| 17 | 05 TM 029 | 66,99 kl | 50,74 l | 50,39 j | 0,99 bc | 23,86 b | 62,13 f-ı | 9,08 c | 29,28 hijk | 0,78 f | 4,2 hı | 12,0 e |
| 18 | 05 TL 030 | 84,91 jk | 57,64 k | 52,68 ij | 0,91 e-h | 20,41 c-f | 79,96 a | -12,47 hı | 39,40 b | 0,91 e | 5,0 b | 12,5 d |
| 19 | 05 TD 033 | 123,03 fgh | 62,04 ijk | 68,06 bcd | 1,10 a | 21,95 c | 65,19 ef | -6,63 fgh | 38,34 bc | 0,29 kl | 4,3 gh | 12,2 e |
| 20 | 05 TD 036 | 94,21 ij | 57,78 jk | 59,62 fgh | 1,03 b | 24,73 b | 65,38 ef | -8,23 gh | 38,21 bc | 0,30 jkl | 4,2 hı | 11,3 gh |
| 21 | 05 SD 038 | 166,80 de | 68,57 fg | 65,47 de | 0,95 cde | 15,72 ij | 72,70 bc | 0,15 def | 29,99 hij | 1,10 c | 4,3 gh | 11,1 hı |
| 22 | 05 TD 040 | 164,59 de | 72,33 def | 64,25 de | 0,89 ghı | 17,51 h | 52,93 k | 27,47 a | 28,63 ijk | 0,96 d | 4,6 de | 11,0 ı |
| 23 | 05 TD 041 | 26,59 m | 37,45 n | 38,18 l | 1,02 b | 29,00 a | 76,20 ab | -17,23 ij | 43,94 a | 0,21 n | 4,2 hı | 12,2 e |
| 24 | 05 TD 042 | 156,97 de | 70,36 efg | 72,37 ab | 1,03 b | 17,15 hı | 59,36 ghı | 23,64 ab | 25,99 kl | 0,42 ı | 4,4 fg | 12,0 e |
| F | | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** |
| CV% | | 10,866 | 4,344 | 4,390 | 3,057 | 5,504 | 4,779 | 1,198 | 6,812 | 4,416 | 2,542 | 1,177 |
| LSD | | 25,956 | 4,828 | 4,429 | 0,046 | 1,784 | 4,839 | 7,575 | 3,721 | 0,049 | 0,189 | 0,238 |

F: Önemlilik **P≤0,01 düzeyinde önemli CV: Varyasyon Katsayısı LSD: Asgari Önemli Fark

Daler ve ark. [24], meyve kabuğunda L* değerini 33,07 ile 76,55; a* değerini -12,38 ile 36,25 ve b* değerini 6,26 ile 37,82 arasında bulmuşlardır. Güneş [26], meyve kabuk rengine ait incelemeler sonucunda L değerini 24,593 ile 93,93 arasında, a değerini -26,95 ile 19,38 arasında ve b değerini -3,74 ve 30,82 arasında değiştiğini ifade etmiştir. Özmen ve Çekiç [20], meyve kabuk rengi ölçümlerinde L* değeri 39,49 -76,02, a* değeri -21,85-31,53 ve b* değeri 19,40-46,66 arasında bulunmuştur.

4. SONUÇ

Yapılan çalışmanın sonucunda; Amasya ilinde doğal olarak yetişen 24 yerel elma genotipinin fiziko-kimyasal özellikleri belirlenerek var olan genetik kaynakların önemi ortaya konulmuştur. Yerel elma genotipleri arasından meyve iriliği bakımından 05 SU 016 kodlu genotipinin diğer genotiplere göre üstün olduğu görülmektedir. SÇKM miktarında en yüksek değere sahip olan 05 TD 019 kodlu genotip; yine elma için ideal bir pH ve asitlik değerleri gözlemlenmiştir. Meyve eti sertliği yönünden öne çıkan 05 TD 041 kodlu genotipinin, bu özelliği ile hasat sonrası muhafaza koşullarında bir avantaj oluşturabileceği düşünülmektedir. Sonuç olarak, kaybolmaya yüz tutmuş olan bu değerli gen kaynaklarının fiziko-kimyasal çalışmaların birkaç yıl daha devam edilerek özellikle ümitvar genotiplerin kayıt altına alınıp muhafaza edilmesi gerekmektedir. Amasya ilinden toplanan yerel elma genotipleri genellikle ev bahçelerinde ve yol kenarlarında yetişen ağaçlardan oluşmaktadır. Popülasyonu oluşturan bu ağaçların geneli herhangi bir kültürel işlem görmemiş ve bakımsız halde olduklarından, fiziko-kimyasal özelliklerini tam yansıtmadıkları düşünülmektedir. Yine de genel olarak bakıldığında yukarıda bahsedilen genotiplerinin üstün vasıflı özellikleri nedeniyle standart çeşitlerin eldesinde ve ileride yapılacak ıslah çalışmalarında iyi bir kaynak materyali olabileceği söylenebilir.

Teşekkür

Doktora tezinin bir bölümü olan bu çalışma, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından 2014/99 numaralı proje ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Vavilov NI . The origin, variation, immunity, breeding of cultivated plant. Chron. Bot., 1951;13:1-364.
- [2] Kaşka N. Türkiye’de elma yetiştiriciliğinin önemi, sorunları ve çözüm yolları. 1.Yumuşak Çekirdekli Meyveler Sempozyumu, 2-5 Eylül 1997, s. 1-12, Yalova.
- [3] Özbek S. Özel meyvecilik (Kışın yaprağını döken meyve türleri). Ankara Üniversitesi Basımevi, 1978, No. 128, 485 s.
- [4] Güleriyüz M. Erzincan’da yetiştirilen bazı önemli elma ve armut çeşitlerinin pomolojileri ile dölleme biyolojileri üzerinde araştırmalar. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları 1977; 229.

- [5] Özbek S. Genel meyvecilik. Çukurova Üniversitesi Yayınları No, 111, Adana,1977. 386s.
- [6] Bayramoğlu Z, Çelik Y, Oğuz C. Konya ilinde elma üretiminin mevcut durumu ve gelişme olanakları. Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi 2009; 2 (1),11-15.
- [7] Şehirli S, Özgen M, Karagöz A, Sürek M, Adak S, Güvenç İ, ve ark. Bitki genetik kaynaklarının korunma ve kullanımı. Türkiye Ziraat Mühendisliği 6. Teknik Kongresi, Cilt 1 Kozan Ofset, 2005; s. 253- 273.
- [8] Kaya T. Van Merkez, Edremit ve Gevaş ilçeleri elma genetik kaynaklarının fenolojik, morfolojik, pomolojik ve moleküler tanımlanması. (Doktora Tezi) Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van; 2008.
- [9] Gürel HB. Ordu Merkez ilçede yetişen elma (*Malus communis* L.) tiplerinden fenolojik, pomolojik ve morfolojik özellikleri. (Yüksek Lisans Tezi) Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu; 2010.
- [10] Bostan SZ, Acar Ş. Ünye (Ordu) ve çevresinde yetiştirilen mahalli elma çeşitlerinin pomolojik özellikleri. Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi 2009; 2 (2),15-24.
- [11] Mertoğlu K, Polat M, Evrenosoğlu Y. Erkenci armut çeşit adayı bazı F1 melezlerin morfolojik ve ticari değerler yönünden değerlendirilmesi. Ziraat Fakültesi Dergisi, 2019; 14(2), 276–285.
- [12] Öztürk B, Özkan Y, Yıldız K, Çekiç Ç, Kılıç K. Red chief elma çeşidinde Aminoethoxyvinylglycine’nin (Avg) ve Naftalen Asetik Asit’in (Naa) hasat önu döküm ve meyve kalitesi üzerine etkisi. Anadolu Tarım Bilim Dergisi 2012; 27(3):120-126.
- [13] Taysı MR, Çelik Ş. Elma verimine yer ve çeşit etkisinin faktöriyel denemeler ile belirlenmesi. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi 2017; 4(3): 250–254.
- [14] Özkan Y, Celep C. Tokat ilinde yetiştirilen yerel elma çeşitlerinin pomolojik özellikleri üzerine bir araştırma. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 1995; 12/1: 8-14.
- [15] Edizer Y, Bekar T. Tokat Merkez ilçede yetiştirilen bazı yerel elma (*Malus communis* L.) çeşitlerinin fenolojik ve pomolojik özelliklerinin belirlenmesi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 2007; 24(1): 1-8.
- [16] Kırkaya H, Balta MF, Kaya T. Perşembe (Ordu/Türkiye) Yöresinde yetiştirilen elma genotiplerinin pomolojik, morfolojik ve fenolojik özellikleri. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2014; 4(3): 15-20.
- [17] Açıık F. Gürgentepe (Ordu) ilçesinde yetiştirilen yerel elma çeşitlerinin meyve ve ağaç özellikleri. (Yüksek Lisans Tezi), Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Ordu, 2015.
- [18] Uzun S, Balta MF, Kaya T, Karakaya O. Çamaş (Ordu) yöresinde yetişen yerel elma genotiplerinin fenolojik ve pomolojik özellikleri. VII. Ulusal Bahçe Bitkileri Kongresi, Cilt 1, 2016; s. 653-657 Çanakkale.
- [19] Balta MF, Kaya T, Kırkaya H, Karakaya O. Kumru (Ordu) yöresinde yetiştirilen mahalli elma

- genotiplerinin fenolojik, morfolojik ve pomolojik özellikleri. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 2016; 32 (1): 47-56.
- [20] Özmen ZS, Çekiç Ç. Tokat yöresinde yetişen yerel elma genotiplerinde pomolojik özelliklerin tespiti. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 2018; 35 (Ek Sayı), 102-107.
- [21] Şenyurt M, Kalkışım Ö, Karadeniz T. Gümüşhane yöresinde yetiştirilen bazı standart ve mahalli elma (*Malus Communis* L.) çeşitlerinin pomolojik özellikleri. Akademik Ziraat Dergisi 2015; 4(2),59-64.
- [22] Dousti S. Braeburn, Fuji, Gala, Granny Smith, Jonagold ve Top Red elma çeşitlerinde M9 anacı üzerindeki genç ağaçların verim ve bazı meyve özelliklerinin yaz ayları düşük nemli karasal iklim koşullarında incelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi) Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Ankara, 2016.
- [23] Karakaya O, Balta MF, Kaya T, Uzun S. Yağlıdere (Giresun) elmaları, fenolojik ve pomolojik özellikler. Bahçe Yalova Atatürk Bahçe Kültürleri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi Özel Sayı, VII. Ulusal Bahçe Bitkileri Kongresi Bildirileri, Cilt I, Meyvecilik, 2016; s.925 -929.
- [24] Daler S, Aşkın MA, Karakurt Y. Bazı birbirine benzer elma (*Malus domestica* L.) genotiplerinde pomolojik ve moleküler yöntemlerle genetik akrabalık derecelerinin Tespiti. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2016; 21(2), 444-452.
- [25] Coşkun S, Aşkın MA. Bazı yerli elma çeşitlerinin pomolojik ve biyokimyasal özelliklerinin belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 2016; 11 (1):120-131.
- [26] Güneş A. Gülnar yöresinde yetiştirilen elma genotiplerinin morfolojik, fenolojik, pomolojik ve moleküler tanımlanması. (Yüksek Lisans Tezi), Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Tekirdağ, 2017.



Tornalama Parametrelerinin Kesme Sıcaklığı ve Krater Aşınması Üzerine Etkilerinin Deneysel Olarak Araştırılması

Abdullah ASLAN^{1*}

¹ Selçuk Üniversitesi, Akşehir Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye
 Abdullah ASLAN ORCID No: 0000-0001-8348-3471

*Sorumlu yazar: aaslan@selcuk.edu.tr

(Alınış: 23.11.2020 Kabul: 23.02.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Anahtar Kelimeler
 Krater Aşınması, Kesici Takım Sıcaklığı, Optimizasyon,

Öz: Kesici takımlar işleme esnasında kaçınılmaz olarak deforme olurken, meydana gelen aşınmayı takip etmek takımın işleme performansını tayin etmek açısından son derece önemlidir. Takım yüzeylerinde aşınmanın düzenli bir yapıda yayılmaması, aşınmanın yeri ve miktarının belirlenmesini gerektirmektedir. Krater aşınması aşındırıcı, yapışma ve difüzyon aşınması mekanizmalarının etkisi ile kesici takımın talaş yüzeyinde meydana gelen, fazla ilerlemesi durumunda takım kaybına yol açabilen bir takım aşınması tipidir. Bu çalışma, AISI 5140 malzemenin tornalanması esnasında kesici takımda meydana gelen krater aşınmasının takım talaş yüzeyi sıcaklığı ile ilişkisinin incelenmesi amacı ile yapılmış olup, bu alanda bir ilk niteliğindedir. Çalışma kapsamında kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği ve yaklaşma açısı parametreleri kullanılmış olup deneyler kuru kesme şartlarında gerçekleştirilmiştir. Krater aşınması tornalama işlemi durdurulduğunda kesici takım üzerinden ölçülmüş, takım sıcaklığı ise sıcaklık sensörü yardımı ile anlık olarak izlenmiştir. İstatistiksel ve grafiksel sonuçlar, kesme hızının krater aşınması (71.3%) ve takım sıcaklığı (78.5%) üzerinde en etkili parametre olduğunu ortaya koymuştur. Tornalamada kesme hızının talaş yüzeyinde kesici takım ve iş parçası sürtünme koşulları üzerinde etkili olması ve bu bölgede meydana gelen aşındırıcı ve difüzyon aşınma mekanizmalarını tayin etmesi sebebiyle krater aşınması ve takım sıcaklığı arasında kuvvetli bir ilişki olduğu düşünülmektedir.

109

Experimental Investigation of The Effects of Turning Parameters on Cutting Temperature and Crater Wear

Keywords
 Crater Wear, Cutting Tool Temperature, Optimization,

Abstract: While cutting tools deformed during machining inevitably, it is highly important to monitor the developing wear in terms of determining the cutting performance of cutting tool. Due to non-uniform wear distribution on the cutting tool, determination of location and extent of the wear is required. Crater wear occurred on the rake face of the cutting tool with the effect of abrasive, adhesive and diffusion mechanisms, a tool wear type leads to tool failure in case of excessive progress. The study carried out to investigate the relationship between tool rake face temperature and crater wear during turning of AISI 5140, being as the first in the field. In the context of the study, cutting speed, feed rate, depth of cut and cutting edge angle parameters were used, experiments were carried out under dry cutting conditions. Crater wear was measured from cutting tool when the turning operation stopped however tool temperature was monitored as online with the assistance of temperature sensor. Statistical and graphical results demonstrated that cutting speed is the most effective parameter on crater wear (71.3%) and tool temperature (78.5%). Since the cutting speed have impact on the friction conditions along the rake face of cutting tool and being influential factor on abrasive and diffusion wear mechanisms, it is concurred that a strong relationship between tool temperature and crater wear exist.

1. GİRİŞ

Endüstriyel faaliyetlerin temelini imalat sektörü, imalat sürecinin merkezini de talaşlı imalat operasyonları

oluşturmaktadır [1-6]. Arzu edilen geometride ve yüzey kalitesinde iş parçası elde etmek amacı ile kullanılan talaşlı imalat süreçleri, birçok değişkene karşı duyarlı olması sebebiyle, talaşlı işleme sırasında meydana gelen

ani değişimleri kontrol etmek ve müdahale edebilmek için, kullanılan takım tezgahlarının ve/veya iş parçasının anlık olarak izlenmesi veya kontrol edilmesi gerekmektedir [7-12]. Takım aşınmasına bağlı olarak oluşabilecek kesici takım kaybı, takım tutucuda oluşabilecek hasarlar, iş parçasının yüzey kalitesinin düşmesine, tezgâhın çalışma süresinin kısılmasına ve tüm bunlara bağlı olarak sonuçta doğrudan ve dolaylı olarak zaman kaybı ve maddi kayıplara sebep olabilmektedir [13, 14]. O nedenle takım aşınmasının anlık takibi ve kontrolü, buna ek olarak takım durumu ile ilgili en önemli göstergelerden biri olan “krater aşınması” ile kesici takım sıcaklığı arasındaki ilişkiyi belirlenerek optimize edilmesi oldukça önemlidir.

Talaşlı imalatta krater aşınması, kesici takımın talaş kaldıran yüzeyinde, iş parçasından kopan sert talaşların takım üzerinde oluşturduğu krater şeklindeki aşınma türü olarak tanımlanmaktadır [13]. Krater aşınması, oluşum mekanizması itibarı ile aşındırıcı, yapışma ve difüzyon aşınmalarının bir veya birkaçının etkisi ile oluşabilir. Krater aşınması soğutma sıvısı, kesme hızı, ilerleme hızı, takım geometrisi gibi birçok işleme parametresinden etkilenmektedir. Literatür incelemesinde, krater aşınması ile çeşitli sensörlerden toplanan veriler arasında ilişki kuran çalışmalar bulunmaktadır. Ghasemipoor ve ark. [15] tarafından yapılan çalışmada takım yüzeyi anlık olarak kontrol edilerek takım üzerinde oluşan krater aşınmaları tespit edilmiştir. Scheffer ve ark. [16] tarafından yapılan çalışmada ise yüzey pürüzlülüğü ölçümü, akustik emisyon, sıcaklık ve işleme esnasında oluşan kuvvetlerin ölçülmesi gibi unsurlar ile krater aşınmasının oluşumu arasında ilişki kurulabileceği belirtilmiştir. Bir diğer çalışmada da, akustik emisyon sinyalleri ile krater aşınması arasında ilişki kurulabileceği ve akustik emisyon piklerinin genliklerinin arttığı zamanlar takım aşınmasının arttığı rapor edilmiştir [17].

Krater aşınmasının, kesme parametrelerine göre optimizasyonu oldukça önem arz eder. Singh [18] tarafından yapılan çalışmada, tornalamadaki kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliğinin krater aşınmasına etkileri rapor edilmiştir. Yapılan çalışma neticesinde kesme hızının krater aşınmasını kontrol eden en önemli parametre olduğu talaş derinliği ile ilerlemenin de kesme hızını takip ettiği bildirilmiştir. Gupta ve ark. [19] tarafından yapılan çalışmada, kesme parametrelerinin krater aşınmasının gelişimi üzerine incelenmiş ve Taguchi optimizasyonu yapılmıştır. Yapılan optimizasyon neticesinde kesme hızı artışının krater aşınması oluşumunu artırdığı rapor edilmiştir. Mozammel ve ark. [20] tarafından yapılan çalışmada Taguchi S/N tabanlı bir optimizasyon metodu kullanılarak aşınma üzerine etkili kesme parametresi belirlenmiştir. Yapılan çalışmada kesme derinliğinin kesme ve ilerleme hızına kıyasla takım aşınması üzerinde daha etkili bir rol oynadığı bildirilmiştir. Ayrıca kesme parametrelerinin iş parçasından çıkan talaşları da etkilemesi sebebiyle, talaşların kesme yüzeylerine yapışarak ve/veya yığılarak aşınmaya sebep olduğu belirtilmiştir. Kaladari ve ark. [21] tarafından yapılan çalışmada tam faktöriyel tasarım kullanarak kesme

parametrelerinin takım aşınması ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerini araştıran deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışma neticesinde açıklanan sonuçlar, ilerleme hızı ve kesme derinliğinin, ilerleyen yan yüzey aşınmasında etkili işleme parametreleri olduğunu göstermiştir. Yüzey cevap metodu optimizasyon yönteminin kullanıldığı bir diğer çalışmada, ilerleme ve kesme hızının aşınma üzerindeki etkilerinin birbirine yakın olduğu bildirilmiştir [22]. Ravindra ve ark. tarafından yapılan çalışmada krater aşınması ile kesme parametreleri arasında çoklu regresyon analizi yöntemiyle matematiksel bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen matematiksel modelin yüksek kesme hızları ve talaş derinliği parametrelerinde aşınma gelişimini daha doğru tahmin edebildiği bildirilmiştir [23]. Huang ve Dawson [24] tarafından yapılan çalışmada, bir matematiksel model geliştirilerek krater aşınmasının tahmin edilebileceği bildirilerek, tahmin edilen aşınma değerleri deneysel olarak doğrulanmıştır. Literatür incelendiğinde [20-24] krater aşınması ile ilgili az sayıda çalışma olduğu, bu çalışmalarda optimizasyon, analiz ve grafiksel inceleme gibi kapsamlı bir değerlendirme olmadığı ve çalışmalardan hiçbirinin takım sıcaklığı ile ilişkisinin incelenmediği görülmüştür.

Tornalamada malzeme üzerinden talaş kaldırmak için tezgâha aktarılan enerjinin bir kısmı yüksek kesme hızları ve basınca bağlı olarak ortaya çıkan ısı enerjisine ve takım ile iş parçası temas noktalarında yüksek sıcaklıklara dönüşür. Sıcaklığın yükselmesi deformasyonu kolaylaştırır da malzeme özelliklerini etkilemekte ve difüzyonu hızlandırmaktadır [25, 26]. Sıcaklığın esas tetikleyicisi sürtünme kuvveti olsa da kayma mukavemeti ve plastik deformasyon da kesme sıcaklıkları üzerinde pay sahibidir. Kesme esnasında ortaya çıkan ısının büyük çoğunluğu talaş ile uzaklaştırılmaktadır [27]. Fakat az da olsa bir miktar ısının kesici takım ve iş parçasına doğru yayılması, malzeme özelliklerini değiştirmekte, kesici takımın kesme kenarında çeşitli aşınma mekanizmalarının ve aşınma tiplerinin ilerlemesine yol açmaktadır. Bu nedenle takım aşınmaları ile kesme sıcaklıkları arasındaki ilişkinin araştırılması, ilerleyen aşamalarda takım sıcaklığının anlık olarak izlenmesi sayesinde işlemin durdurulmasına gerek duyulmadan aşınma gelişiminin tespit edilmesini sağlar. Kesici takım sıcaklığı geçmişte çeşitli çalışmalarda [13, 25-27] incelenmiştir. Kuntoğlu [26] tarafından yapılan çalışmada, kesme hızı ile takım ucu sıcaklığının değişimi incelenmiştir. Kesme hızının artışı ile beraber takım ucu sıcaklığının ve aşınmasının arttığı bildirilmiştir. Bir diğer çalışmada da kesme hızının artışının sıcaklık artışında önemli bir parametre olduğu bildirilmiştir. Ayrıca aşınma optimizasyonu yapılmasında sıcaklık sensörünün en güvenilir sensörlerden birisi olduğu rapor edilmiştir [25]. Geçmişteki çalışmalarda takım ucu sıcaklığı ölçümü çeşitli iş parçası malzemeleri için gerçekleştirilmiştir. Fakat AISI 5140 malzemenin tornalanmasında takım sıcaklığının krater aşınması ile birlikte ele alındığı bir çalışma olmadığı görülmüştür.

Geçmişte, çeşitli nümerik yaklaşımlar geliştirilerek kesme sıcaklıkları ve krater aşınması tahmini için

modeller geliştirilmiştir. Ning ve Liang, AISI 1045 işlemede kesme sıcaklığını çeşitli yaklaşımlarla tahmin ederek kıyaslamalı bir çalışma yapmıştır [28]. Kara ve ark. paslanmaz çeliğin tormalanmasında kesme sıcaklığı tahmini için Johnson-Cook modelini kullanmıştır [29]. Bir diğer çalışmada, [30] kesme sıcaklığının analitik olarak hesaplanması ve tahmininde kullanılabilir bir yaklaşım sunulmuştur. List ve ark. [31] yüksek hızlı işlemede talaş oluşumuna bağlı olarak krater aşınmasının değişimi ve gelişimini modellemiş, bunun yanı sıra kesme sıcaklığı tahmini yapmıştır. Mishra ve ark. [32] titanyum alaşımının tormalanmasında zamana bağlı olarak ilerleyen üç boyutlu krater aşınmasının tahmini üzerinde çalışmışlardır. Huang ve Liang, sert tormalamada CBN kesici takımında krater aşınması gelişimini tahmin etmek için bir model geliştirmiştir [33].

AISI 5140 çeliği, talaşlı imalat öncesinde ve sonrasında farklı tipteki ısıl işlem uygulamalarına elverişli ve bu işlemler neticesinde arzu edilen mekanik özelliklere sahip bir çelik türüdür. Özellikle otomotiv endüstrisinde sıklıkla kullanılan bu orta karbonlu çelik ile çeşitli otomotiv parçalarının üretimi yapılmaktadır. AISI 5140 içerisine eklenen yüksek orandaki krom içeriği, malzemenin sertliğini doğrudan etkileyen sert yapıli karbürler üretilmesine ve bu duruma bağlı olarak da çeliğin işlenmesinin ilginç ve zor hale gelmesine neden olur. Literatür incelemesinde, AISI 5140 çeliği için daha iyi işlenebilirlik koşulları elde etmek adına takım aşınmasının incelendiği çalışmalara rastlanmaktadır. Geçmişte bu malzemenin tormalanması esnasında serbest yüzey aşınması takibi ve ölçümü yapılmış olsa da krater aşınması ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışmada AISI 5140 malzemenin tormalanması sürecinde kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği ve yaklaşma açısının krater aşınması ve takım sıcaklığına etkisi incelenmiştir. Parametre optimizasyonu sinyal gürültü oranı yaklaşımı ve yüzey cevap metodu ile yapılmış, kesme parametrelerinin krater aşınması ve takım sıcaklığı üzerindeki katkı miktarı ve etkisi varyans analizi yardımı ile ve grafiksel olarak değerlendirilmiştir. Kesici takımdan mikroskop görüntüleri SEM (Scanning Electron Microscope) mikroskobu ile alınmış, takım sıcaklığı anlık olarak sıcaklık sensörü ile kaydedilmiştir. Krater aşınması ve takım sıcaklığı optimizasyonu ve analizinden hariç, literatürdeki çalışmalardan farklı olarak bu iki işleme değişkeninin birbiri ile olan ilişkisi değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, iş parçası olarak orta karbonlu bir çelik olan AISI 5140 malzeme (Ø80 x 400 mm) kullanılmıştır. Endüstriyel ürünlerde sıklıkla tercih edilen bu malzeme, kullanım alanına bağlı olarak farklı sertlik değerlerine sahip olacak şekilde ısıl işleme tabi tutulabilmektedir. Bu çalışmada kullanılan malzemenin sertlik değeri ise 32 ± 4 HRC'dir. Kullanılan malzemenin kimyasal kompozisyonu Tablo 1 de gösterilmektedir. Her bir deney için yeni bir iş parçası kullanılmış ve her bir iş

parçasından üç kez talaş kaldırılmıştır. Talaş kaldırmakta kullanılan kesici uç (BOEHLERIT TCMT 16T304-P25) ta her bir deneyde için bir kez kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan torna tezgâhı (De Lorenzo S547-8899) universal torna tezgâhidir ve talaş kaldırma işlemi kuru kesme koşulları altında yapılmıştır. Deney tasarımı tam faktöriyel tasarım prensibi dikkate alınarak, kesici kenar açısı ($^{\circ}$), kesme hızı (m / dak), ilerleme hızı (mm / devir) ve kesme derinliği (mm) iki seviye olarak seçilmiştir. Her bir parametrenin sembolleri ve birimleri ve farklı seviyeler Tablo 2'de gösterilmektedir. Seçilen parametreler için kesici takım üreticisinin tavsiyeleri göz önünde bulundurulmuş, ayrıca tezgâhın işleme aralıkları dikkate alınmıştır. Bu doğrultuda, ön denemeler yapılarak işlemi kontrol edilemeyen uzun talaş oluşumuna ya da tırlamaya götüren işleme parametreleri tespit edilmiştir. Bahsedilen gelişmeler kesici takımında çok yüksek kesme kuvvetlerine ve takım kırılmasına sebebiyet vereceği için bu koşullardan kaçınılmıştır.

Tablo 1 AISI 5140 Malzemenin kimyasal kompozisyonu

| C | Cr | Si | Mn | P _{max} | S _{max} |
|-------------|----------|----------|---------|------------------|------------------|
| 0.38 - 0.45 | 0.12-0.9 | 0.15-0.4 | 0.6-0.9 | 0.03 | 0.035 |

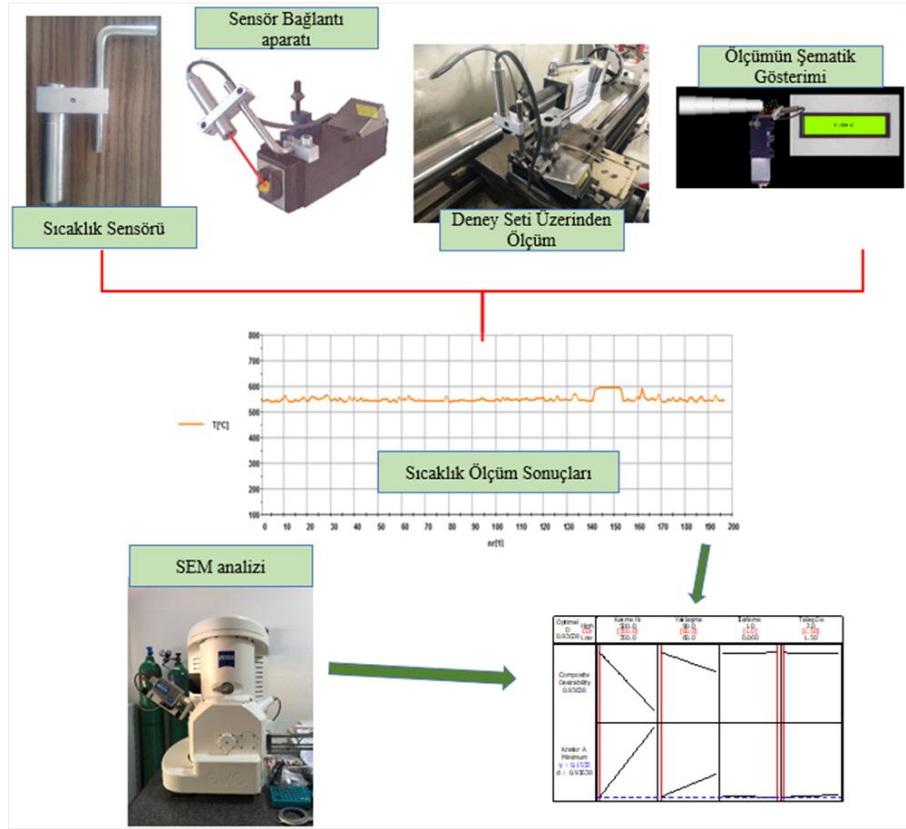
Tablo 2 Kesme parametreleri ve seviyeleri

| Sembol | Parametreler | Seviye 1 | Seviye 2 |
|----------|-------------------------------|----------|----------|
| κ | Yaklaşma Açısı ($^{\circ}$) | 60 | 90 |
| v | Kesme Hızı (m/dak) | 350 | 500 |
| f | İlerleme (mm/dev) | 0.06 | 0.1 |
| d | Talaş Derinliği (mm) | 1.5 | 2 |

Krater aşınması, Selçuk Üniversitesi ileri teknoloji biriminde bulunan ZEISS EVO LS 10 markalı SEM mikroskobunda ölçülmüştür. Krater aşınması kesici takımın talaş yüzeyinden alınmıştır. Aşınmanın takım ucunun gerisinde krater şeklinde bir yapıda meydana gelmesi sebebiyle belirli bir alana yayıldığı görülmektedir. Burada aşınmanın derinliği ölçülerek kaydedilmiştir. Şekilde farklı kesici uçlarda meydana gelen krater aşınması görüntüleri gösterilmiştir. 16. deneyde son pasoda takım kırılması meydana gelmiş, bu deneye ait krater aşınması değeri bir önceki pasoda ölçülen değer olarak alınmıştır.

Kesici takım sıcaklığı sıcaklık sensörü (TelC) ile ölçülmüştür. Sensör aynı adlı firmanın takım tutucusuna monte edilebilmekte, radyasyon yöntemi ile kesici takım ucundaki sıcaklığı ölçülebilmektedir. Üretici önerisi doğrultusunda sensör takım ucundan 100 mm uzaklığa göre ayarlanmıştır. Sensör 300-800 $^{\circ}$ C aralığında ölçüm yapabilmekte ve bu anlamda gerçekleştirilen deneylerde meydana gelen sıcaklık değerlerini güvenilir şekilde ölçülebilmektedir. Sensör saniyede 10 ölçüm yapabilmekte, tepki süresi üretici tarafından çok hızlı olarak ifade edilmektedir. Sensör hassasiyeti ile ilgili üretici kataloğunda herhangi bir bilgiye rastlanmamıştır. Sıcaklık sensörü, üreticisine ait yazılım (DKM 2000) sayesinde herhangi bir veri toplama kartına ihtiyaç duymadan doğrudan bilgisayara veri aktarımı yapabilmektedir. Bu çalışmada kullanılan deney şeması şekil 1'de gösterilmektedir. Sıcaklık sinyallerinin deneyler esnasında toplanmasına ait yazılım görüntüsü şekil 1'de (sıcaklık ölçüm sonuçları) gösterilmektedir. Sol eksen takımı sıcaklık değerini $^{\circ}$ C olarak

göstermekte, yatay eksen ise zamanı saniye cinsinden göstermektedir.



3. BULGULAR

Standart bir tornalama operasyonunun ihtiva ettiği çok sayıda kesme parametresi ve değişken, bilhassa takımda meydana gelen aşınmaya bağlı olarak bu işlemlerin karmaşık bir hale gelmesine neden olmaktadır. Yüksek kesme sıcaklıkları ve karbür yoğunluğuna bağlı iş malzemesindeki homojenlik eksikliği lineer olmayan bir yapının oluşmasına sebep olur. İmalat sürecinin başında tayin edilen takım ve iş parçası temas şartları ilerleyen takım aşınmasının da etkisi ile değişmeye başlar. Ve bu durum istenmeyen titreşimlere, kesme kuvvetlerinin yükselmesine ve ileri aşamalarda takımın arzu edilen seviyenin üzerinde aşınmasına neden olur. Her deneysel çalışmada tercih edilen takım ve iş parçası çiftine, takım tezgâhının özelliklerine göre işleme esnasında beklenmedik gelişmeler meydana gelebilir. Burada en kritik nokta işlemi izlerken oluşabilecek kayıpları da mümkün mertebe en aza indirmektir. Takım aşınmasının izlenmesi için işlemin belirli aralıklarla durdurularak kesici takım üzerinden aşınma gelişiminin ölçülmesi gerekmektedir. Bu durum doğal olarak işlemin kesintiyeye uğramasına neden olur. Kesme sıcaklıklarının takımındaki aşınma miktarı ile ilişkili olduğu düşüncesinden hareketle takım talaş yüzeyinde meydana gelen krater aşınmasına ilave olarak bu yüzeydeki kesme sıcaklıkları ölçülmüştür. Tablo 3'te farklı kesme şartlarında yapılan deneyler ve krater aşınması ile sıcaklık değerleri verilmiştir. Burada elde edilen değerler krater aşınması

için maksimum değeri gösterirken, sıcaklık için ise deney süresince toplanan verinin ortalaması alınarak verilmiştir.

Tablo 3. Deney Parametreleri ile Krater Aşınması ve Sıcaklık Ölçümü Sonuçları

| Dene y No | Yaklaş ma Açısı (°) | Kesm e Hızı (m/da k) | İlerlem e (mm/d ev) | Talaş Derinli ği (mm) | Krater Aşınm ası (mm) | Sıcaklık (°C) |
|-----------|---------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|---------------|
| 1 | 60 | 350 | 0.06 | 1.5 | 0.16 | 505.78 |
| 2 | 60 | 350 | 0.06 | 2 | 0.145 | 502.54 |
| 3 | 60 | 350 | 0.1 | 1.5 | 0.125 | 503.31 |
| 4 | 60 | 350 | 0.1 | 2 | 0.205 | 509.77 |
| 5 | 60 | 500 | 0.06 | 1.5 | 0.247 | 521.79 |
| 6 | 60 | 500 | 0.06 | 2 | 0.294 | 526.81 |
| 7 | 60 | 500 | 0.1 | 1.5 | 0.296 | 526.82 |
| 8 | 60 | 500 | 0.1 | 2 | 0.277 | 532 |
| 9 | 90 | 350 | 0.06 | 1.5 | 0.51 | 533.23 |
| 10 | 90 | 350 | 0.06 | 2 | 0.46 | 543.55 |
| 11 | 90 | 350 | 0.1 | 1.5 | 0.52 | 550.75 |
| 12 | 90 | 350 | 0.1 | 2 | 0.491 | 568.67 |
| 13 | 90 | 500 | 0.06 | 1.5 | 0.451 | 568.44 |
| 14 | 90 | 500 | 0.06 | 2 | 0.51 | 556 |
| 15 | 90 | 500 | 0.1 | 1.5 | 0.55 | 588.1 |
| 16 | 90 | 500 | 0.1 | 2 | 0.57 | 571.8 |

3.1. Varyans Analizi

Bu deneysel çalışmada farklı işleme şartları kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği ve yaklaşma açısının iki seviyesi kullanılarak oluşturulmuştur. Bu parametrelerin krater aşınması ve takım sıcaklığı üzerindeki etki seviyelerini görmek için varyans analizi yöntemi kullanılmıştır. Minitab 16 yazılımı kullanılarak her bir girdi parametresinin cevap parametreleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Tablo 4 ve 5'te sıralandığı üzere krater aşınması (89.2%) ve sıcaklık (93.8%) yüksek güvenilirlikli sonuçlar olarak bulunmuştur. Yüzde katkı değerleri incelendiğinde kesme hızının krater aşınması (71.3%) ve takım sıcaklığı (78.5%) üzerinde en etkili

parametre olduğu, yaklaşma açısının ise onu takip ettiği görülmüştür. F değerleri üzerinden incelendiğinde ise yine bu iki parametrenin etkili olduğu fakat ilerleme ve talaş derinliğinin oldukça az etkisi olduğu görülmektedir. 95% güven aralığında yapılan bu analizin F değeri sonucuna göre kesme hızı ve yaklaşma açısının krater aşınması ($0.000 < 0.05$) ve sıcaklık ($0.000, 0.009 < 0.05$) üzerinde etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Analiz sonucunun yüksek güvenilirlikli olması her iki cevap parametresinin ilişkilendirilmek için uygun olduğunu göstermektedir.

Tablo 4 Krater Aşınması için varyans analizi

| Parametreler | DF | Seg SS | Adj SS | Adj MS | F | P | PC % |
|---------------|----|---------|---------|---------|--------|-------|-------|
| Kesme Hızı | 1 | 2.00718 | 2.00718 | 2.00718 | 127.12 | 0.000 | 71.3 |
| Yaklaş. Aç. | 1 | 0.49608 | 0.49608 | 0.49608 | 31.42 | 0.000 | 17.63 |
| İlerleme Hızı | 1 | 0.13355 | 0.13355 | 0.13355 | 8.46 | 0.014 | 4.74 |
| Talaş der. | 1 | 0.00335 | 0.00335 | 0.00335 | 0.21 | 0.654 | 0.11 |
| Hata | 11 | 0.17368 | 0.17368 | 0.1579 | | | 0.16 |
| Toplam | 15 | 2.81383 | | | | | |

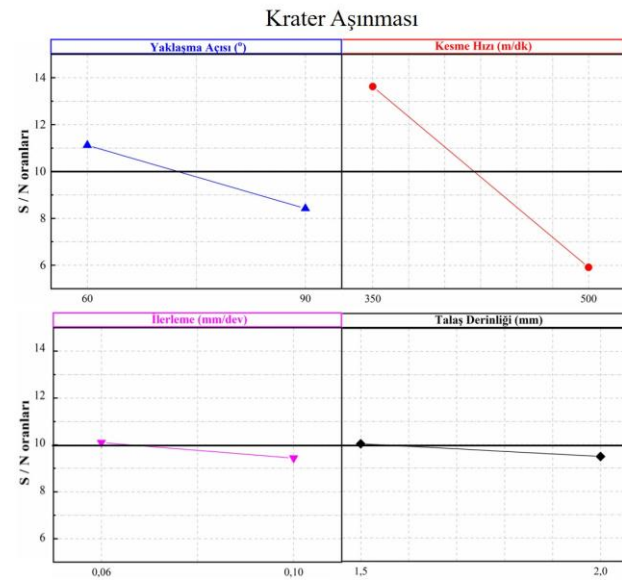
Tablo 5 Sıcaklık için varyans analizi

| Parametreler | DF | Seg SS | Adj SS | Adj MS | F | P | PC % |
|---------------|----|---------|---------|---------|-------|-------|--------|
| Kesme Hızı | 1 | 238.151 | 238.151 | 238.151 | 80.23 | 0.000 | 78.59 |
| Yaklaş. Aç. | 1 | 29.227 | 29.227 | 29.227 | 9.85 | 0.009 | 9.64 |
| İlerleme Hızı | 1 | 1.784 | 1.784 | 1.784 | 0.60 | 0.455 | 0.588 |
| Talaş der. | 1 | 1.189 | 1.189 | 1.189 | 0.40 | 0.540 | 0.392 |
| Hata | 11 | 32.651 | 32.651 | 2.968 | | | 10.777 |
| Toplam | 15 | 303.002 | | | | | |

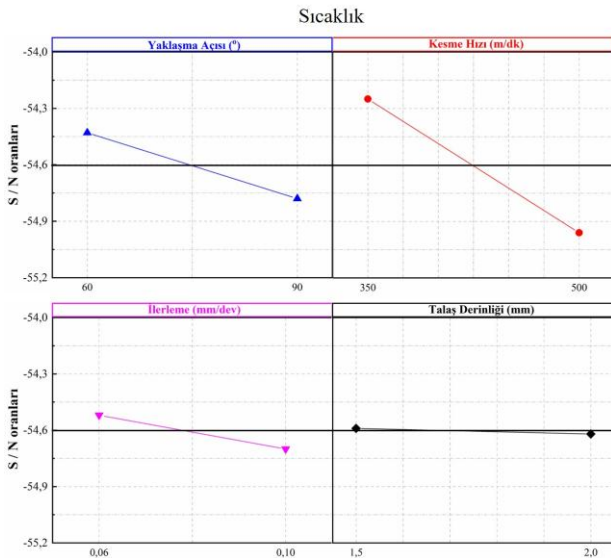
3.2. Optimizasyon

Sinyal gürültü oranı çeşitli optimizasyon işlemleri için farklı amaç fonksiyonları kullanarak incelenen parametreye dair minimize ve maksimize yaklaşımı ortaya koymaktadır. Amaç fonksiyonu bir cevap parametresinin arzu edilen değerden sapmasını hesaplamak için kullanılır. Bu çalışmada ele alınan cevap parametreleri krater aşınması ve sıcaklık, işleme esnasında mümkün mertebe küçük seyretmesi istenen sonuçlardır. Burada kullanılan yaklaşım en küçük en iyidir prensibi olmuştur. Buna göre şekil 2 ve şekil 3'de krater aşınması ve sıcaklık için parametrelerin iki seviyeli sıralaması verilmiştir. Seviyeler arasındaki fark büyüdükçe cevap parametresindeki değişim miktarı artmakta, bu da söz konusu girdi parametresinin etkisini göstermektedir. Diğer bir nokta ise etkili parametre seviyesinin yüksek değere sahip olan parametre olmasıdır. Buna göre aşağıdaki tablolar incelendiğinde sırası ile kesme hızı, yaklaşma açısı, ilerleme ve talaş derinliğinin hem krater aşınması hem de sıcaklık üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Bu sonuçların varyans analizi sonuçları ile uyumlu olması buradaki tasarım ve analizin sağlam (robust) olduğunu ortaya koymaktadır. Parametrelerin seviyeleri incelendiğinde ise hem krater aşınması hem de sıcaklığı minimum yapmak için tüm girdi parametrelerinin birinci seviyesi seçilmelidir. Bu sonuçlar deneysel sonuçlar ile karşılaştırıldığında etkisi daha düşük olan ilerleme ve talaş derinliği üzerinden tayin edilen sonuçlarda belirli bir hata oranında farklılık olduğu görülmektedir.

Sıcaklık için hata oranı oldukça küçük olsa da ($< 1\%$), krater aşınması için daha yüksek bir hata oranı (21%) elde edilmiştir. Optimizasyon sonuçlarının karşılaştırılması için ikinci bir yaklaşım olarak yüzey cevap metodu kullanılmıştır.



Şekil 2. Krater aşınması için parametrelerin ikili kıyas grafiği



Şekil 3. Sıcaklık için parametrelerin ikili kıyas grafiği

Yüzey cevap metodu istatistiksel ve matematiksel bir optimizasyon yaklaşımıdır. Yöntemin amacı bir yüzey topografisi oluşturarak minimum ve maksimum bölgeleri tayin etmektir. Burada sinyal gürültü oranına dayalı optimizasyon yaklaşımında olduğu gibi parametre minimizasyonu amaçlanmıştır. Yüzey cevap metodunun sağladığı önemli bir avantaj yalnızca tanımlanan girdi parametreleri üzerinden optimum değer bulmak yerine ara değerlerde de sonuç verebilmesidir. Minitab 16 yazılımı kullanılarak modellenen yüzey cevap metodu ile parametre tasarımı yapılmış, elde edilen optimum sonuç ile hedeflenen parametre değeri karşılaştırılarak arzu edilirlilik oranı bulunmuştur. Tablo 6'da krater aşınması sıcaklık için tasarım parametreleri verilmiştir. Burada deneysel sonuçlar içerisindeki minimum değer hedef değer olarak tanımlanmıştır. Tablo 7'de yüzey cevap metodu ile elde edilen sonuçlara göre sıcaklık ve krater aşınması sırası ile 100% ve 93.6% oranında arzu edilirlilik katsayısı ile optimize edilmiştir.

Tablo 6. Yüzey cevap metodu parametre tasarımı

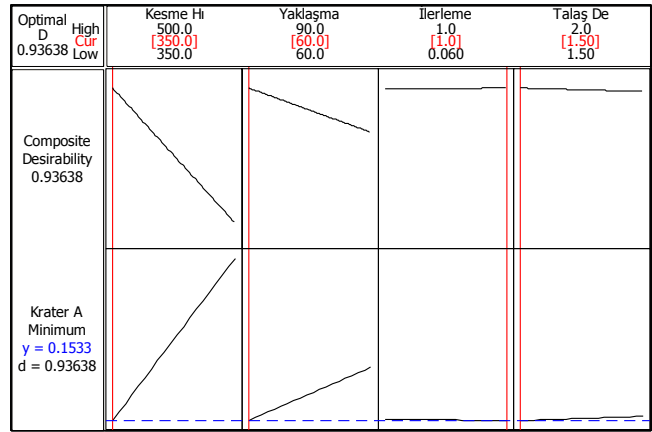
| | Goal | Lower | Target | Upper | Weight | Import |
|-------|------|--------|--------|-------|--------|--------|
| Krat. | Min. | 0.125 | 0.125 | 0.57 | 1 | 1 |
| Aş. | Min. | 502.54 | 502.54 | 588.1 | 1 | 1 |

Tablo 7. Yüzey cevap metodu ile Tahmin edilen sonuçlar ve arzu edilirlilik katsayıları

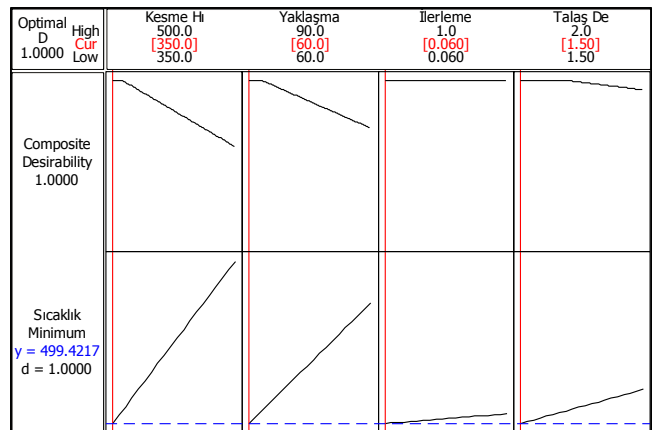
| Parameter | Value | Desirability |
|-----------------|------------|--------------|
| Sıcaklık | 499.422 °C | 1.000000 |
| Krater Aşınması | 0.153 mm | 0.936376 |

Şekil 4 üzerinde optimum parametreler gösterilmiştir. Burada kesme hızı, yaklaşma açısı ve talaş derinliği için birinci seviye değerleri, ilerleme için ise ikinci seviye değeri optimum sonuç olarak bulunmuştur. Sinyal gürültü oranı sonuçlarından farklı olarak burada ilerlemenin ikinci seviyesi seçilmiştir. Bu değer deneysel sonuç tablosundaki en küçük krater aşınması değerini işaret etmektedir. Buradan parametre optimizasyonunda yüzey cevap metodunun sinyal gürültü oranına kıyasla daha doğru bir tahmin yaptığı sonucuna ulaşılmaktadır.

Şekil 5'te ise sıcaklık için optimum parametreler gösterilmiştir. Bu sonuçların sinyal gürültü oranı optimizasyonu ile aynı olması sebebiyle sıcaklık optimizasyonunun her iki yöntemle güvenilir şekilde yapılabildiği görülmektedir. Bu durum, kesici takım ucu sıcaklığının güvenilir şekilde modellenilebileceğini ve takım aşınması takibinde kullanılabileceğini göstermektedir.



Şekil 4. Krater aşınması için yüzey cevap metoduna göre optimum sonuçlar

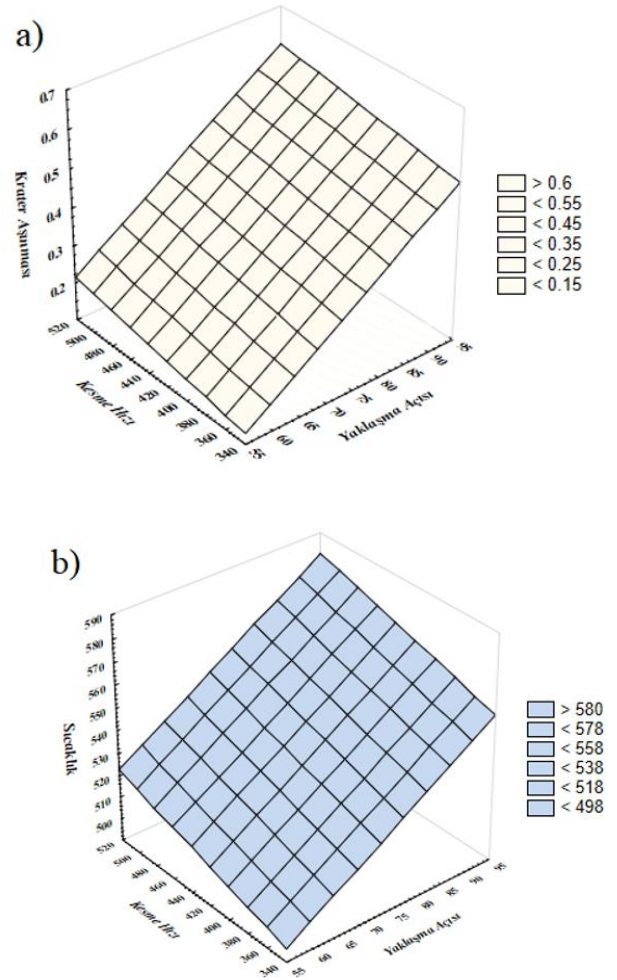


Şekil 5. Sıcaklık için yüzey cevap metoduna göre optimum sonuçlar

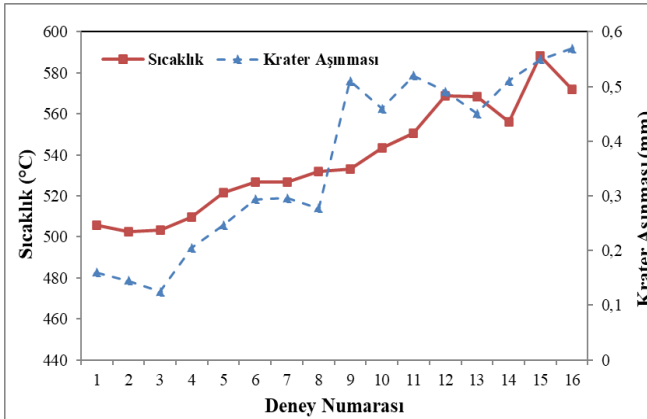
3.3. Grafıksel ve Mikroskopik İnceleme

Tornalama esnasında talaş oluşumunu sağlayan çeşitli faktörler aynı zamanda kesici takımın aşınmasına ve işleme şartlarına bağlı olarak zaman içerisinde ömrünü tamamlamasına neden olur. Aşınmanın önlenememesi, onu kontrol altında tutarak izlemeyi gerekli kılar. Bunun sağlanabilmesi söz konusu aşınmanın etkilendiği ya da ilişkili olduğu etkenleri belirlemekten geçer. Aşınma olgusunun sürtünme, deformasyon ve bunlara bağlı sıcaklıktan meydana gelmesi, bu kavramların fiziksel ortamdaki gelişmeleri ile aşınma arasında bir bağlantı kurulabileceğini göstermektedir. Önceki başlıklar hem sıcaklık hem de krater aşınmasının kendi içerisinde optimizasyon ve analizini gerçekleştirmek için yapılmıştı. Yüksek güvenilirlikle analizi yapılan bu iki cevap parametresi için ayrıca optimum parametreler belirlenmişti. Burada ise deneylerden elde edilen sonuçların grafıksel olarak incelenmesi yapılmıştır. Şekil 6'da her deneyde elde edilen sıcaklık ve krater aşınması sonuçları grafıksel olarak gösterilmiştir. Yatay eksen deney numarasını, dikey eksenler ise sıcaklık ve krater

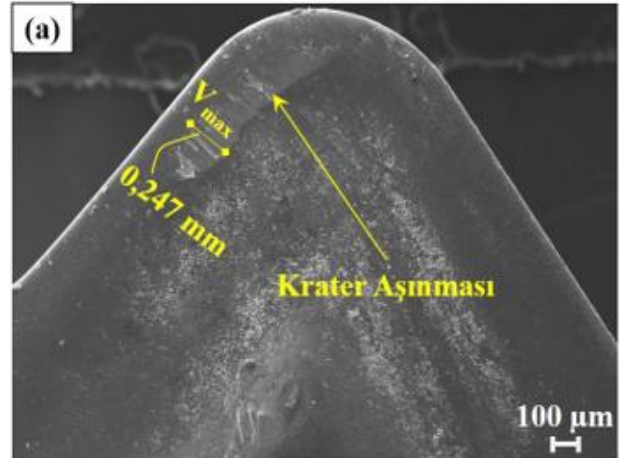
aşınmasını göstermektedir. Sıcaklık sinyallerine ait bir deneydeki veri grafiği incelendiğinde çok büyük dalgalanmalar olmadığı görülmüştür. Bu sebeple verilerin ortalaması alınarak tek bir değer şeklinde ifade edilmesi ve bu sayede aşınma değerleri ile karşılaştırılması hedeflenmiştir. Grafikte eğrilerin eğilimi incelendiğinde belirli oranda birbirlerini izledikleri ve özellikle ilk deneyden başlayarak sonlara doğru gidildiğinde her ikisinde de artış olduğu görülmektedir. Şekil 7'de ise krater aşınması ve sıcaklık üzerinde en etkili parametreler oldukları varyans analizi ile tespit edilen kesme hızı yaklaşma açısının birleşik etkisi gösterilmiştir. Buradaki parametre etkilerine bakıldığında gerek sıcaklık gerekse krater aşınmasına katkıları önceki analiz ve optimizasyon sonuçlarını doğrular niteliktedir. Her iki parametredeki artışın sonuçlar üzerinde belirgin bir yükselmeye neden olduğu görülmektedir. Kesme hızındaki artışın sürtünme koşullarını ağırlaştırdığı ve buna bağlı olarak sıcaklığı yükselttiği düşünülmektedir. Yaklaşma açısı arttıkça takımın iş parçası ile temas uzunluğu azalmakta ve oluşan sıcaklık daha kısa bir mesafede yayılma şansı bulmaktadır. Buna bağlı olarak takımın daha yüksek sıcaklıklar meydana gelmektedir. Ayrıca yüksek yaklaşma açısında kesici takımın iş parçası ile ilk ve son temasında küçük açılardaki noktasal temas ile başlamak ve bitirmek yerine aniden yüzeyel teması söz konusu olmaktadır. Bu durum takımın yüksek tahribata ve ısıl gerilmelere neden olabilmektedir. Bu etkiye yüksek kesme hızı da eklendiğinde aşınmanın boyutu da artmaktadır. Her iki parametredeki artışa bağlı olarak hem sıcaklığın hem de aşınmanın artmasının sebebi bu şekilde izah edilebilir. Şekil 8'de sem analizinden elde edilen aşınma yüzeyleri (şekil 8 a-b) ve kırılma yüzeyi (şekil 8 c) gösterilmektedir.

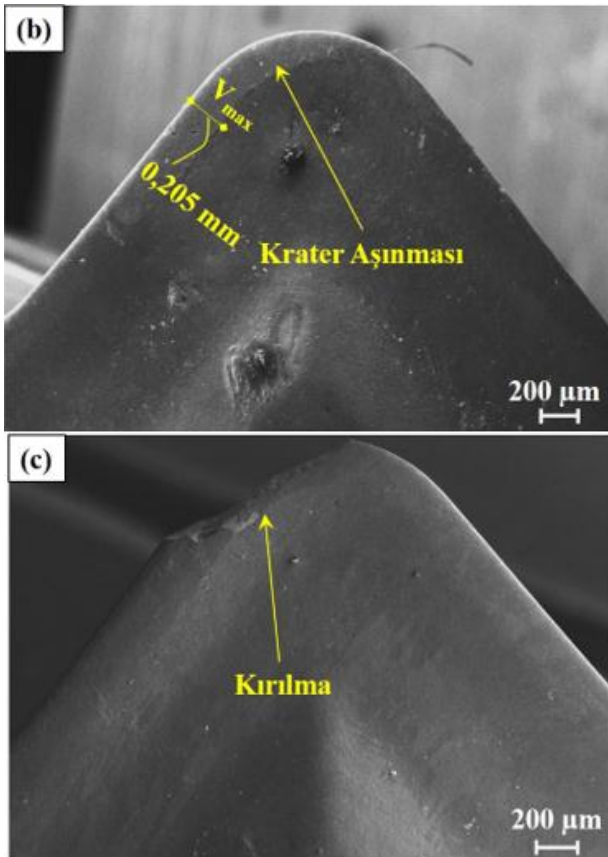


Şekil 7. Kesme hızı ve yaklaşma açısının (a) krater aşınması (b) sıcaklık üzerine etkisi



Şekil 6. Krater Aşınması ve takım sıcaklığının farklı kesme şartlarında gelişimi





Şekil 8. Krater Aşınmasının farklı kesme şartlarında gelişimi a-b Krater aşınması c-Kırılma

4. SONUÇ

Bu çalışmada AISI 5140 malzemenin kuru kesme şartlarında tornalanması esnasında krater aşınması ve takım sıcaklığı ölçümleri yapılmıştır. Deneyler iki seviyeli kesme hızı, yaklaşma açısı, talaş derinliği ve ilerleme değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Geçmişte krater aşınması ve takım sıcaklığı ile ilgili çeşitli çalışmalar olsa da, bu iki önemli işleme değişkeninin optimizasyon, analiz ve grafiksel inceleme ile değerlendirilmesi bakımından bu çalışma bir ilk niteliği taşımaktadır. Literatür incelendiğinde krater aşınması ve takım sıcaklığı arasındaki ilişkinin daha önce incelenmediği görülmüştür.

- Varyans analizi sonuçlarına göre kesme hızı hem krater aşınması (71.3%), hem de takım sıcaklığı (78.5%) üzerinde en etkili parametredir. Kesme hızını yaklaşma açısı takip ederken, ilerleme ve talaş derinliğinin bu iki sonuç üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür.
- Sinyal gürültü oranının en küçük en iyidir prensibine göre hesaplanması neticesinde cevap parametreleri üzerinde etkili girdi parametreleri ve bunları minimum yapacak parametre seviyeleri belirlenmiştir. Buna göre krater aşınması ve sıcaklığı optimize ederek en küçük değeri sağlayan parametreler kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği ve yaklaşma açısının birinci seviyeleridir.
- Yüzey cevap metodu ile yapılan optimizasyona göre sıcaklık için sinyal gürültü oranı ve yüzey cevap metodu yaklaşımları aynı sonuçları, düşük bir hata oranı ile sağlamaktadır. Takım sıcaklığının iki yöntemle de

yüksek güvenilirlikte tahmin edilmesi, bu yöntemin takım aşınması takibinde kullanılabileceğini göstermektedir.

- Krater aşınması optimizasyonu için yüzey cevap metodu daha doğru bir tahmin yapmıştır. Buna göre kesme hızı, talaş derinliği ve yaklaşma açısının birinci seviyesi ile ilerlemenin ikinci seviyesi optimum krater aşınmasını vermektedir.
- Krater aşınması ve kesici uç sıcaklığının kesici takımın talaş yüzeyinde meydana gelmesi sebebiyle ilişkili olduğu grafiksel inceleme neticesinde görülmüştür. Her iki cevap parametresi de işleme parametrelerinin değişimine göre benzer şekilde artış ve azalış göstermektedir. Buradan, her iki sonuç üzerinde en etkili işleme parametresi olan kesme hızının bu parametreler üzerinde etkili olduğu için bu eğilimleri gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.
- İkinci bir grafiksel inceleme ile kesme hızı ve yaklaşma açısının ortak etkisi incelendiğinde, her iki parametrede meydana gelen artışın, hem kesme hızı hem de sıcaklık üzerinde artışa yönelik bir etkileri olduğu tespit edilmiştir.
- Sonuç olarak, takımın talaş yüzeyindeki kesme sıcaklığı ile krater aşınması arasında kuvvetli bir ilişki olduğu, krater aşınması takibinde takım sıcaklığının önemli bir bilgi kaynağı olabileceği görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Aslan A, Production of metal matrix composites by recycling of waste metal chips and their mechanical properties, Selçuk University, 2014.
- [2] Aslan A, Güneş A, Salur E, Şahin ÖS, Karadağ HB, Akdemir A., Mechanical properties and microstructure of composites produced by recycling metal chips, International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials, 25 (2018) 1070-1079.
- [3] Aslan A, Güneş A, Salur E, Şahin ÖS, Karadağ HB, Akdemir A, A new method for recycling of metal chips, Journal of Selçuk University Natural and Applied Science, 4 (2015) 1-12.
- [4] Sepet H, Tarakcioglu N, Misra R, Determination of the mechanical, thermal and physical properties of nano-CaCO₃ filled high-density polyethylene nanocomposites produced in an industrial scale, Journal of composite materials, 50 (2016) 3445-3456.
- [5] Şap. E., Güçlendirilmiş Bakır Esaslı Kompozit Malzemelerin Mikroyapı ve Sertlik Özellikleri, Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11 (2021) 590-598.
- [6] Sap. E., Microstructural and Mechanical Properties of Cu-Based Co-Mo-Reinforced Composites Produced by the Powder Metallurgy Method, Journal of Materials Engineering and Performance, 29 (2020) 8461-8472.

- [7] Aslan A, Güneş A, Salur E, Şahin ÖS, Karadağ HB, Akdemir A, The mechanical properties of composite materials recycled from waste metallic chips under different pressures, *International Journal of Environmental Science and Technology*, (2019) 1-8.
- [8] Nazik C, Tarakcioglu N, Ozkaya S, Erdemir F, Canakci A, Determination of effect of B 4 C content on density and tensile strength of AA7075/B 4 C composite produced via powder technology, *International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing*, 4 (2016) 251-261.
- [9] Şahin ÖS, Güneş A, Aslan A, Salur E, Karadağ HB, Akdemir A, Low-Velocity Impact Behavior of Porous Metal Matrix Composites Produced by Recycling of Bronze and Iron Chips, *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Mechanical Engineering*, 1-8.
- [10] Sepet H, Tarakcioglu N, Misra R., Effect of inorganic nanofillers on the impact behavior and fracture probability of industrial high-density polyethylene nanocomposite, *Journal of Composite Materials*, 52 (2018) 2431-2442.
- [11] Uzun M., Munis M.M., Usca U., Different ratios CrC particle-reinforced Cu matrix composite materials and investigation of wear performance, *Journal of Engineering Research and Application*, 8 (2018) 1-7.
- [12] Uzun M., Usca U.A., Effect of Cr particulate reinforcements in different ratios on wear performance and mechanical properties of Cu matrix composites, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 40 (2018) 1-9.
- [13] Kuntoğlu M, Sağlam H., Investigation of progressive tool wear for determining of optimized machining parameters in turning, *Measurement*, 140 (2019) 427-436.
- [14] Salur E., Aslan A, Kuntoglu M, Gunes A, Sahin OS, Experimental study and analysis of machinability characteristics of metal matrix composites during drilling, *Composites Part B: Engineering*, 166 (2019) 401-413.
- [15] Ghasempoor A, Jeswiet J, Moore T. Real time implementation of on-line tool condition monitoring in turning, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 39 (1999) 1883-1902.
- [16] Scheffer C, Kratz H, Heyns P, Klocke F., Development of a tool wear-monitoring system for hard turning, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43 (2003) 973-985.
- [17] Ahmed YS, Alam MS, Arif A, Veldhuis S., Use of acoustic emission and cutting force signals to monitor built-up edge formation in stainless steel turning, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 103 (2019) 2257-2276.
- [18] Singh H, Kumar P, Tool wear optimization in turning operation by Taguchi method, (2004).
- [19] Gupta M, Singh G, Sood P. Sood, Modelling and optimization of tool wear in machining of EN24 steel using taguchi approach, *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, 96 (2015) 269-277.
- [20] Mia M, Dey PR, Hossain MS, Arafat MT, Asaduzzaman M, Ullah MS, Zobaer ST., Taguchi S/N based optimization of machining parameters for surface roughness, tool wear and material removal rate in hard turning under MQL cutting condition, *Measurement*, 122 (2018) 380-391.
- [21] Kumar KA, Ratnam C, Rao KV, Murthy B. Experimental studies of machining parameters on surface roughness, flank wear, cutting forces and work piece vibration in boring of AISI 4340 steels: modelling and optimization approach, *SN Applied Sciences*, 1 (2019) 26.
- [22] Balaji M, Rao KV, Rao NM, Murthy B. Optimization of drilling parameters for drilling of Ti-6Al-4V based on surface roughness, flank wear and drill vibration, *Measurement*, 114 (2018) 332-339.
- [23] Ravindra H, Srinivasa Y, Krishnamurthy R., Modelling of tool wear based on cutting forces in turning, *Wear*, 169 (1993) 25-32.
- [24] Huang Y, Dawson TG, Tool crater wear depth modeling in CBN hard turning, *Wear*, 258 (2005) 1455-1461.
- [25] Kuntoğlu M, Aslan A, Sağlam H, Pimenov DY, Giasin K, Mikolajczyk T., Optimization and analysis of surface roughness, flank wear and 5 different sensorial data via Tool Condition Monitoring System in turning of AISI 5140, *Sensors*, 20 (2020) 4377.
- [26] Kuntoğlu M, Sağlam H., Investigation of signal behaviors for sensor fusion with tool condition monitoring system in turning, *Measurement*, (2020) 108582.
- [27] Sandvik Coromant. M.M. Cutting, A practical handbook, Sandvik Coromant, (1994).
- [28] Ning J., Liang S.Y., A comparative study of analytical thermal models to predict the orthogonal cutting temperature of AISI 1045 steel, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 102 (2019) 3109-3119.
- [29] Kara F., Aslantaş K., Cicek A., Prediction of cutting temperature in orthogonal machining of AISI 316L using artificial neural network, *Applied Soft Computing*, 38 (2016) 64-74.

- [30] Abouridouane M., Klocke F., Döbbeler B., Analytical temperature prediction for cutting steel, *CIRP Annals*, 65 (2016) 77-80.
- [31] List G., Sutter G., Bouthiche A., Cutting temperature prediction in high speed machining by numerical modelling of chip formation and its dependence with crater wear, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 54 (2012) 1-9.
- [32] Mishra S.K., Ghosh S., Aravindan S., Temporal and spatial crater wear prediction of WC/Co tools during dry turning of Ti6Al4V alloy, *Wear*, 448 (2020) 203229.
- [33] Huang Y., Liang S.Y., Modelling of CBN tool crater wear in finish hard turning, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 24 (2004) 632-639.



Öğrenme Eğrilerinin Karşılaştırılması

Uğur ATICI^{1*}

¹ Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye
 Uğur ATICI ORCID No: 0000-0002-4389-9744

*Sorumlu yazar: uatici@cumhuriyet.edu.tr

(Alınış: 30.11.2020, Kabul: 23.03.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Anahtar Kelimeler
 Öğrenme eğrisi,
 Üretim,
 Verimlilik,
 Deneyim,
 Optimizasyon

Öz: Şirketlerin iç ve dış süreçlerinde öğrenme eğrisi önemli bir yer tutar. Üretim sektöründe üretim miktarı veya işin tekrar sayısı arttıkça üretim süresi belirli bir oranda azalır. Bu çalışmada farklı öğrenme eğri modelleri için üretim miktarının süre üzerindeki etkisi incelenmiştir. Öğrenme eğrisi modellerinin karşılaştırılmasında kullanılan veriler Matlab 2020b programında düzgün dağılımla rastgele üretilmiştir. Üretilen veri seti, öğrenme eğrisi eşitlikleri ve literatürde önerilen katsayılar kullanılarak üretim için gerekli iş gücü süresi Matlab 2020b yazılımında hesaplanmıştır. Öğrenme eğrisi modelleri için tekrar sayısına bağlı olarak gerekli iş gücü miktarının değişimi araştırılmıştır. İncelenen tüm öğrenme modelleri, üretim miktarının artmasıyla üretim süresinin kısılacakını öngörmüştür. Üretim süresinin belirlenmesinde kullanılacak öğrenme eğrisi modeli üretim işlemine uygun olarak seçilmelidir. Birey ve grup arasında tecrübe aktarımının modellenmesine imkân tanıyan insan öğrenme optimizasyon algoritması iş postaları halinde çalışılan bakım hatlarında üretim süresinin belirlenmesine yönelik büyük bir potansiyele sahiptir.

Comparison of Learning Curves

119

Keywords
 Learning curve,
 Manufacturing,
 Productivity,
 Experience,
 Optimization

Abstract: The learning curve has an important place in the internal and external processes of companies. In the manufacturing sector, the production time decreases by a certain ratio as the production quantity or the number of repetitions of the job increases. In this study, the effect of production quantity on duration was examined for different learning curve models. The data used for the comparison of learning curve models were randomly generated in Matlab 2020b program with uniform distribution. The required labour force for production was calculated in Matlab 2020b software by using the generated data set, learning curve equations and coefficients suggested in the literature. The variation of required labour force depending on the number of repetitions was examined for the learning curve models. Inspected all t learning models have predicted that the production period will shorten with the increase in the production quantity. The learning curve model to be used in determining the production time should be selected in accordance with the production process. The human learning optimization algorithm, which allows the modelling of the transfer of experience between the individual and the group, has a great potential for determining the production time for maintenance lines that work as worker crew.

1. GİRİŞ

Günümüzde şirketlerin pazarlama, imalat ve yatırım kararlarında öğrenme eğrisi önemli bir yer tutmaktadır. Üretim sektöründe üretim miktarı arttıkça maliyetlerinin belirli bir oranda sistematik olarak azaldığı bir gerçektir [1]. Bununla beraber maliyetlerin azalmasıdaki tek faktör üretim miktarı değildir. Maliyete etki eden faktörlerden bir tanesi ise öğrenme etkisidir [2].

Herhangi bir işletmede tezgâh operatüründen ve insan kaynakları birimine kadar tüm çalışanların yapmış

olduğu görevin tekrar sayısına bağlı olarak çalışan performansında bir iyileşme olur. Yani birim üretim için sarf edilen çaba azalır [3]. Sarf edilen çaba ile tekrar sayısının grafiğinden elde edilecek eğri maliyet ve verimlilik açısından oldukça önemlidir. Söz konusu grafikten elde edilecek eğri literatürde öğrenme eğrisi olarak adlandırılmakla beraber kararların isabet derecesini, işlem sürelerini ve doğruluğunu etkiler [4]. Bu kapsamda tahmine dayalı olarak maliyetin belirlenmesinde, kapasite ihtiyacının belirlenmesinde, nakit akışının belirlenmesinde, pazar payının

artırılmasında ve ürün çeşitliliğinin artırılmasında öğrenme eğrisi önemlidir.

Bu çalışmanın arkasındaki motivasyonumuz farklı disiplinler tarafından kullanılan öğrenme eğrisi modellerine ilişkin literatür araştırmasının yapılması, son on yılda önerilen öğrenme eğrisi modelleri ile klasik öğrenme eğrisi modellerinin karşılaştırılmasıdır.

Bu çalışma altı bölümden oluşmuştur. Önceki çalışmaların yer aldığı literatür araştırması ikinci bölümde, literatürde öğrenme eğrisinin modellenmesi için kullanılan eşitlikler ve çalışmada kullanılan veriler üçüncü bölümde, öğrenme eğrilerinin karşılaştırılması sonucunda elde edilen bulgular dördüncü bölümde, öğrenme eğrilerinin karşılaştırma sonuçları beşinci bölümde, öğrenme eğrisinin kullanım alanları ve sonraki çalışmalar altıncı bölümde sunulmuştur.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Öğrenme eğrisi literatürde ilk defa Ebbinghaus tarafından 1885 yılında incelenmiştir. Normal şartlar altında belirli bir içeriğin yeniden üretilmesi için tekrar edilmesi gerekir. Uzun söylem ve hareketlerin tek bir tekrar ile öğrenilemez [5]. Başlangıç eğrisi veya maliyet eğrisi olarak da bilinen öğrenme üretim sektöründe yaygın bir şekilde kullanılmıştır [6]. Öğrenme eğrilerinin imalat sektöründeki ilk araştırma 1936 yılında havacılık alanında Wright tarafından yapılmıştır. Önceki üretim deneyimlerine bağlı olan bir eğri tanımlanmış, hammadde, satın alma, işçilik saatleri ile maliyet arasındaki ilişkide öğrenme oranı tanımlanmıştır [2]. Üretimde maliyet çıktı miktarı ile ilgilidir. Kısa vadeli maliyetler sabit tesislerin kapasite kullanımı ile ilgili iken uzun dönemli maliyet tesisin boyut ve türündeki değişimler ile ilgilidir. Bununla beraber maliyet teknik bilgi paketlerine veya işlem tiplerine bağlıdır. Teknik bilgi değişimi maliyet fonksiyonunu ve kapasite kullanım miktarını etkiler. Bu doğrultuda üretim fonksiyonu teknik bilgi değişimi ile maliyet arasındaki ilişkiye bağlı olarak modellenebilir. Hirsch (1955) tarafından çalışanların teknik bilgi değişimleri ile maliyet arasındaki ilişkiye bağlı üretim fonksiyonu önerilmiştir [7]. Öğrenme eğrisi olarak anılan teknik bilgi değişimi bir üretim aracıdır [8]. Öğrenme eğrisini etkileyen faktörler aynı zamanda üretim işgücü maliyetini belirler [9]. Öğrenme, personelin gerçekleştirilen görevlere daha fazla aşına olması, muhtemel iyileştirmelerden bilgi sahibi olması, kazandığı tecrübe sayesinde takım avadanlıklara erişim/kullanım bilgisinin artması ve daha ekonomik satın almalar yapılabilmesi şeklinde ortaya çıkar [10].

Öğrenme ersinin modellenmesine yönelik olarak logaritmik liner, kübik, Stanford-B, DeJong, Levy adaptasyon, Glover, Knecht ve Yelle gibi pek çok farklı model önerilmiştir [11]. Son otuz yıl içerisinde öğrenme eğrisinin farklı sektörler tarafından kullanılması ile yeni öğrenme eğrileri önerilmiştir. Önerilen bu öğrenme eğrileri üretim eğrisi modeli [12], karışık öğrenme [13], grup öğrenme [14, 15], pozisyon tabanlı öğrenme eğrisi [16, 17], insan öğrenme optimizasyonu (HLO) algoritması

[18-20], Q öğrenme [21, 22], kuantum modeli [23], belirsiz öğrenme eğrisi[24], kanıta dayalı öğrenme [25], tek seferde öğrenme [26], MICA öğrenme eğrisi [27], bileşen tabanlı öğrenme [28] ve derin öğrenme [28-32] olarak özetlenebilir.

Öğrenme eğrisinin etkisi literatürde hava aracı tasarım değişikliklerinde [33], işlem tipine bağlı üretim fonksiyonun belirlenmesinde [34], işletmeler için kazançların belirlenmesinde [35], en uygun parti büyüklüğünün belirlenmesinde [36], hava aracı maliyetinin belirlenmesinde [37], üretim ölçeği ve teknoloji değişiminde [38], sözleşme yapılmasında [39], kalitenin artırılmasında [40], gıda servislerinde [41] incelenmiştir. Öğrenme etkisi ise yeterli gözlemsel çalışmaya dayalı olmadığı, nasıl kullanılmalı gerektiği hususunda yaygın bilgi olmadığı gerekçesi ile araştırmacılar tarafından eleştirilmiştir [38, 39, 42, 43]. Öğrenme eğrisi başta uçak ve otomobil montaj hatlarında olmak üzere emek yoğun endüstri kollarına incelenmiştir. Ayrıca öğrenme parametrelerinin belirlenmesi ve öğrenmenin kararlı duruma geçtiği üretim miktarı incelenen bir diğer problemdir [44]. Hava aracı imalatında maliyetlerin gerçeğe yakın olarak belirlenmesi amacı ile teknolojik büyüme kavramı ve öğrenme eğrisi kullanılmıştır [37]. Öğrenme eğrisi kalite güvence faaliyetlerini de etkiler. Kalite maliyetleri öğrenmeye bağlı olarak azalır, üretim maliyeti ise kalite maliyetlerine bağlı olarak değişir [40, 45, 46]. Bilgisayar destekli mühendislik faaliyetleri de öğrenme eğrisinden etkilenir. Öğrenme eğrisi şirket yöneticileri gelecekteki projeleri daha doğru bir şekilde tahmin etmesine imkân tanır, aynı zamanda geliştirme konseptlerinin uygulanmasında ve yazılım geliştirme sürecinde iyileşme sağlar [47].

Singapur, Güney Kore ve Japonya'daki endüstriler arasında yapılan karşılaştırmada teknik bilgilerin aktarılabilirliği ancak üretim ve el becerisinin pratik deneyimle (öğrenme ile) kazanıldığı bildirilmiştir [48]. İmalat endüstrisinde iş gücü öğrenmesi ile elde edilen verimlilik ve teknoloji yatırımları arasında bir ilişki vardır. Teknolojik yatırımlar ve teknoloji güncellemeler arttıkça iş gücü öğrenmesinden elde edilen verimlilik azalır [49]. Öğrenme eğrisi sürekli iyileştirme faaliyetlerini de etkiler. Yöneticiler her bir iyileştirme sonrasında endüstriyel işlemlerin verimliliğini değerlendirerek yeni iyileştirme önerileri getirir. Bu durum endüstriyel işlemlerin sürekli iyileştirmesine imkân tanır [50]. Öğrenme eğrisi teslim tarihlerinin belirlenmesinde optimal iş sıralarının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılır. Öğrenme etkisi altında tek makine çizelgeleme [16, 24], genel iş bağımlı öğrenme ile makine çizelgeleme[51], pozisyon tabanlı öğrenme ile makine çizelgeleme [17], pozisyon tabanlı öğrenme ile paralel makine çizelgeleme [52], pozisyon tabanlı öğrenme ve risk faktörleri altında makine çizelgeleme[53, 54], pozisyon tabanlı bozulma ve öğrenme ile paralel makine çizelgeleme[55], pozisyon bağımlı öğrenme ve enerji sarfiyatı ile ilişkisiz paralel makine çizelgeleme [56], insan öğrenme optimizasyonu ile atölye çizelgeleme [57] ve derin öğrenme kümeleri ile akış çizelgeleme [29, 31] örnek olarak verilebilir.

Öğrenme eğrisi makine çizelgelemeye benzer olarak proje çizelgeleme problemlerinde ele alınmıştır. Öğrenme eğrisi, proje çizelgelemede proje süresinin hesaplanmasında [58], proje takvim gününün hesaplanmasında [59] ve ajan tabanlı çoklu proje çizelgelemede açık artırma fiyatlarının belirlenmesinde [60] kullanılmıştır.

Son yıllarda öğrenme eğrisinin etkisi cerrahi alanda da araştırılmaktadır. Laparoskopik ameliyatlarda öğrenme eğrisi ile kan kaybı ve operasyon süresi arasında anlamlı bir farklılık vardır [61, 62]. Diş cerrahisinde öğrenme eğrisine bağlı olarak operasyon süresi azalır [63]. Robotik sol ve sağ hemiheparektomi ameliyatlarında öğrenme eğrisi hasta seçimindeki heterojenlik, cerrahın deneyimi, eğitim seviyeleri veya diğerleri gibi faktörlerin karmaşık etkileşimlerine bağlı olarak değişir [64, 65]. Transforaminal perkütan endoskopik lomber diskektomide belirli tekrar sonrasında öğrenme kararlı bir düzeye ulaşır [66]. Ayrıca öğrenme eğrisi, enerji transfer sürecinde teknik değişimlerin izlenmesi için girdi fiyatların belirlenmesinde [67], ekonomik senaryo planlamada [68], iş gücü maliyetinin azaltılmasında [69], uçak gövde maliyetinin belirlenmesinde [70], ürün montajında [71], yenilebilir enerji sistemlerinin şebeke üzerindeki etkisinin analizinde [72], sanal laboratuvar deneylerinde [73] ve maliyet/zaman optimizasyon problemlerinde [74] kullanılmıştır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Yöntem

Üretim miktarına bağlı olarak gereksinim duyulan işgücü kapasitesinin belirlenmesi için pek çok farklı eşitlik önerilmiştir. Bu çalışmada literatürde yaygın olarak kullanılan Log-liner model [2], Crawford, Kübik [75], S-eğrisi [70], Stanford-B modeli [76], DeJong öğrenme oranı [77], Levy adaptasyon fonksiyonu [78], Crawford, Glover öğrenme oranı [79], Knecht'in yükseliş modeli [37], Yelle ürün modeli [80], Pozisyon-Bağımlı öğrenme [16, 51], Genel-Pozisyon-Bağımlı öğrenme [17] ve insan öğrenme optimizasyon algoritması karşılaştırılmıştır [18, 19, 81-83]. Log-liner modelde maliyet değişimi üretim miktarına bağlı olarak tanımlanmıştır (Eş.1). Uçak imalatında yapılan deneysel çalışmalardan üç farklı öğrenme oranı elde edilmiştir. Öğrenme oranı (F), iş gücü için %80, hammadde kullanımı için %95, tedarik edilen malzemeler için %88 olarak belirlenmiştir [2]. Birim üretim başına öğrenme oranı ($\alpha = \log 0,8 / \log 2$) işçilik için $\alpha = -0,321$, hammadde için $\alpha = -0,074$ ve tedarik edilen malzemeler için $\alpha = -0,184$ olduğu bildirilmiştir. Log-liner öğrenme modelinde işin başlangıç çevrim süresi (t_i) ile üretim miktarı (x) olmak üzere işin tamamlanması için gerekli kümülatif süre (T_x) Eş.2 kullanılarak hesaplanır [2]. Farklı işlere üretim süresinin modellenmesine imkân tanıyan Crawford modeli için Eş.3 kullanılır [79].

$$\alpha = \frac{\log F}{\log n} \quad (1)$$

$$T_x = T_i x^\alpha \quad (2)$$

$$T_{xi} = T_i x_i^\alpha \quad (3)$$

Biskup (1999) ve Mosheiev (2003) tarafından kullanılan pozisyon bağımlı öğrenme modelinde i işinin süresi gerçekleştirildiği pozisyona (r) bağlı olarak hesaplanır ve Crawford (1944) öğrenme modeline oldukça benzerdir. İşin gerçekleştirildiği pozisyon aynı zamanda üretim miktarı olacağından pozisyon bağımlı öğrenme Eş.4 kullanılır [16, 51].

$$T_{ir} = T_i r^\alpha \quad (4)$$

Stanford-B modelinde öğrenme etkisi α 'nın $-0,397$ ile $-0,599$ arasında değiştiği kabul edilmiştir. Ancak literatürde her iki değerlerin ortalaması olan $-0,499$ alınması önerilmiştir. İlk çevrimin tamamlanması için gerekli süre (T_i) uçağın ağırlığına (W) bağlı olarak ($T_i = 48,3W^{0,945}$) alınması önerilmiştir. B sabiti ise -3 ile $179,2$ arasında bir değer alır. Stanford-B modelinde kümülatif süre T_x Eş.5 kullanılır [76].

$$T_x = T_i (x + B)^\alpha \quad (5)$$

Yığın üretim süreçlerinde çevrim süresindeki azalmaya bağlı olarak tecrübenin modellenmesi amacı ile DeJong öğrenme modeli önerilmiştir. İşin süresinin sıkıştırılabilirlik faktörüne (μ_D , $0 < \mu_D < 1$) bağlı olduğu ve kümülatif sürenin işin miktarına (x) bağlı olarak modellenmesi gerektiği önerilmiştir. DeJong öğrenme modelinde T_x Eş.6 kullanılarak hesaplanır [77].

$$T_x = T_i (\mu_D + \frac{1-\mu_D}{x-\alpha}) \quad (6)$$

S-eğrisi sabit bir öğrenme değeri yerine üretim sayısının başından sonuna kadar öğrenmenin değiştiğini kabul eder. Öğrenme üretimin başlangıç safhasında yavaş olmakla birlikte süreç içerisinde artar ve belli bir noktadan sonra öğrenme yavaşlar [70]. DeJong öğrenme eğrisi ile Stanford-B öğrenme eğrisinin birleşimi olan S-eğrisi fonksiyonunda M iş sayısı olmak üzere öğrenme oranı Eş.7 ile üretim için gerekli süre ise Eş.8 ile hesaplanır.

$$\alpha = \frac{\log(F + \tanh(\frac{2x-M}{M}))}{\log n} \quad (7)$$

$$T_x = T_i (\mu_s + \frac{1-\mu_s}{(x+B)^{-\alpha}}) \quad (8)$$

Kübik model, etkinliğin tamamlanmaya yaklaştıkça önceki deneyimlerin birleşik etkisinin olduğunu ve öğrenme oranının sabit bir değer olmadığını varsayar. İlk ürünün üretim süresi A , kuadratik faktör C , kübik faktör D , başlangıç logartimik eğim α olmak üzere kübik öğrenme eğrisinde T_x Eş.9 kullanılarak hesaplanır [75].

$$\log T_x = \log T_i - a \log x + C (\log x)^2 + D (\log x)^3 \quad (9)$$

Yeni işlemlerde şirketlerin performans gelişiminin modellenmesi için Levy adaptasyon fonksiyonu önerilmiştir. Şirket içi verimlilik $a = a_0 Y_T^{aT}$ ($a = 1,001$),

adaptasyon μ_L ($\mu_L = \beta_0 + \sum \beta_T Y_T$), formal eğitim sayısı Y_T , dönemdeki eğitim katsayı β_T , $-6,66x10^{-4}$ ve $3,74x10^{-4}$ arasında tecrübe katsayı olmak üzere Levy adaptasyon fonksiyonunda T_x Eş.10 kullanılarak hesaplanır [78].

$$T_x = T_i [1 - e^{-(a+\mu x)}] \quad (10)$$

Glover öğrenme modeli deneysel psikoloji ve gözlemlerden elde edilmiş verilere uyar. Glover öğrenme modelinde işin başlangıç zamanı T_0 olup n adet işin için T_x Eş.11 kullanılarak hesaplanır [79].

$$\sum_{i=1}^n T_x + T_0 = T_1 (\sum_{i=1}^n x_i)^{(1+\alpha)} \quad (11)$$

Knecht yükseliş modeli üretim için gerekli iş gücü ihtiyacını belirlemek için önerilmiş bir regresyon tekniği olup büyük üretim miktarları için yükseliş sağlar. Knecht yükseliş modelinde k sabit bir katsayı olup T_x Eş.12 kullanılarak hesaplanır [37].

$$T_x = T_1 x^{\alpha e^{kx} (k + \frac{\alpha}{x})} \quad (12)$$

Yelle ürün modeli farklı alt operasyonların tekrar sayısı (x_i), süresi (K_i) ve her bir alt operasyonu öğrenme oranı (α_i) ile x miktardaki üretim için gerekli iş gücünün (T_x) belirlenmesine imkân tanır. Yelle ürün modelinde gerekli iş gücü Eş.13 kullanılarak hesaplanır[80].

$$T_x = \sum_{i=1}^n K_i x_i^{\alpha_i} \quad (13)$$

Lee (2011) tarafından önerilen genel pozisyon bağımlı öğrenme modelinde r' inci sıradaki i işinin süresi önceki işlerin öğrenme oranına ($\alpha_0 = 1$), ($0 < \alpha_l < 1$) bağılıdır ve T_{ir} Eş.14 kullanılarak hesaplanır.

$$T_{ir} = T_i \prod_{l=0}^{r-1} \alpha_l \quad (14)$$

İnsan öğrenme optimizasyon algoritması (Human Learning Optimization-HLO) Wang (2014) tarafından önerilmiştir. Bireysel tecrübenin sosyal tecrübeden etkilendiği kabul edilmiştir. Birey ve grup arasında tecrübe aktarımı gerçekleştiğinde bireyin tecrübesi grubun tecrübesine eşitlenir. N problem büyüklüğü, D çözüm büyüklüğü, M iş sayısı ve H sosyal tecrübe veritabanı büyüklüğü olmak üzere rastgele öğrenme operatörü (r_{ij}) için Eş. 15, bireysel öğrenme operatörü (ikd_i) için Eş.16 ve sosyal öğrenme operatörü (sk_{qj}) için Eş.17 kullanılır. Rastgele öğrenme olasılığı $pr = (\frac{5}{M})$, bireysel öğrenmenin gerçekleşme olasılığı $pi - pr$ ($pi = 0,85 + 2/M$) ve sosyal öğrenme olasılığı $1 - pr$ olmak üzere i inci bireyin j inci çözümde öğrenme oranı (α_{ij}) Eş.18 kullanılarak hesaplanır[18, 19, 81-83].

$$R_{ij} = Rand(0,1) = \begin{cases} 0, & 0 \leq rand() \leq 0,5 \\ 1, & diğ er \end{cases} \quad (15)$$

$$ikd_i = \begin{bmatrix} ik_{i11} & ik_{i12} & \dots & ik_{i1j} & \dots & ik_{i1D} \\ ik_{i21} & ik_{i22} & \dots & ik_{i2j} & \dots & ik_{i2D} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ ik_{ip1} & ik_{ip2} & \dots & ik_{ipj} & \dots & ik_{ipD} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ ik_{iL1} & ik_{iL2} & \dots & ik_{iLj} & \dots & ik_{iLD} \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$1 \leq p \leq L, 1 \leq i \leq N$$

$$sk_{qj} = \begin{bmatrix} sk_{11} & sk_{12} & \dots & sk_{1j} & \dots & sk_{1M} \\ sk_{21} & sk_{22} & \dots & sk_{2j} & \dots & sk_{2M} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ sk_{q1} & sk_{q2} & \dots & sk_{qj} & \dots & sk_{qM} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ sk_{iL1} & sk_{iL2} & \dots & sk_{iLj} & \dots & sk_{iLM} \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$1 \leq q \leq H$$

$$\alpha_{ij} = \begin{cases} r_{ij} & 0 \leq rand() \leq pr \\ ik_{ipj} & pr \leq rand() \leq pi \\ sk_{qj} & diğ er \end{cases} \quad (18)$$

3.1. Veri

Öğrenme eğrisi modellerinin karşılaştırılmasında kullanılan veriler Matlab 2020b programında düzgün dağılımla rastgele üretilmiştir. Öğrenme eğrilerinin karşılaştırılması için rastgele üretilen örnek veri seti Tablo 1'de, literatürden alınan katsayılar ise Tablo.2'de sunulmuştur. Log-liner, Crawford ve Pozisyon-Bağımlı öğrenme modelleri için öğrenme oranı $\alpha = -0,321$ olarak alınmıştır [2]. Log-liner, Crawford ve Pozisyon-Bağımlı öğrenme modellerinde tek bir işin gerçekleştirildiği önerildiğinden Tablo 1.'de T_i değişkenin ortalaması olan $T=43$ dakika alınmıştır. Yelle öğrenme oranı gerçekleştirilen bir işin alt operasyonların tekrar sayısına bağlı olarak işin süresinin değiştiğini önerir [80]. Yelle (1976) çalışmasında sunulan örneğe benzer olarak işin ($n = 5$) alt operasyonlardan oluştuğu ve her bir alt operasyon süresinin eşit olduğu $K_i = T/5$ kabul edilmiştir [80]. Gerçekleştirilen alt operasyonların işçilik, hammadde ve satın alınan malzeme kullanımına ilişkin olduğu, her bir alt operasyon için öğrenme oranı sırası ile $\alpha_1 = -0,321$, $\alpha_2 = -0,074$, $\alpha_3 = -0,184$, $\alpha_4 = -0,321$ ve $\alpha_5 = -0,074$ olduğu kabul edilmiştir [2]. Genel pozisyon bağımlı öğrenmede ilk tekrarın öğrenme oranı $\alpha_1 = 1$ sonraki tekrarların öğrenme oranı $0 < \alpha_l < 1$ $\alpha_l = 0,321$ ($l=2\dots 20$) olması önerilir [17]. Kübik öğrenme eğrisinde kuadratik faktör (C) 0,135'e ve kübik faktör (D) $-0,126$ 'ya eşittir [70, 75, 84]. Levy öğrenme modelinde şirket içi verimlilik a ($a = 1,001$), formal eğitim sayısı Y_T ($Y_T = 6$), dönemdeki eğitim katsayı her bir dönem için sırası ile $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ ve β_6 ($\beta_1 = 3,51x10^{-4}$, $\beta_2 = 0$, $\beta_3 = 2,89x10^{-4}$, $\beta_4 = 0$, $\beta_5 = -6,66x10^{-4}$, $\beta_6 = 4,22x10^{-4}$). Adaptasyon katsayısı $\mu_L = 0,712$ olduğu kabul edilmiştir [78]. DeJong öğrenme modelin sıkıştırılmazlık faktörü $\mu_D = 0,25$ 'e eşitlenmesi önerilmiştir [55, 77].

Tablo 1. Örnek veri seti

| <i>m</i> | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| <i>T_i</i> | 69 | 50 | 19 | 66 | 16 | 39 | 15 | 5 | 69 | 7 | 57 | 95 | 11 | 57 | 13 | 11 | 80 | 90 | 29 | 57 |
| <i>ikd_i</i> | 0,7 | 6,8 | 0,9 | 0,8 | 1,0 | 0,5 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,4 | 0,9 | 1,0 | 0,5 | 0,3 | 0,6 | 0,7 | 0,6 | 0,7 | 0,1 | 0,1 |
| | 0,8 | 0,4 | 0,9 | 0,3 | 0,3 | 0,7 | 0,7 | 0,3 | 1,0 | 0,6 | 0,8 | 0,9 | 0,7 | 0,6 | 0,9 | 0,9 | 0,1 | 0,3 | 0,7 | 0,9 |
| | 0,8 | 0,4 | 0,1 | 0,4 | 0,6 | 1,0 | 0,6 | 0,6 | 0,3 | 0,3 | 0,5 | 0,6 | 0,0 | 0,8 | 0,0 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,5 | 1,0 |
| | 0,3 | 0,6 | 0,7 | 0,1 | 0,8 | 0,9 | 0,4 | 0,8 | 0,7 | 0,3 | 0,8 | 0,0 | 0,4 | 0,9 | 0,7 | 0,9 | 0,3 | 0,8 | 0,1 | 0,1 |
| | 0,0 | 0,8 | 0,6 | 0,3 | 0,6 | 0,8 | 0,7 | 0,2 | 0,4 | 0,9 | 0,8 | 0,2 | 0,6 | 0,8 | 0,6 | 0,6 | 0,9 | 0,8 | 0,6 | 0,4 |
| | 0,6 | 0,9 | 0,1 | 0,4 | 0,3 | 0,8 | 1,0 | 0,5 | 0,4 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,9 | 0,2 | 0,3 | 0,1 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| <i>sk_{qj}</i> | 1 | 0,7 | 0,2 | 0,5 | 0,1 | 0,4 | 0,3 | 0,9 | 0,9 | 0,4 | 0,5 | 0,3 | 0,5 | 0,7 | 0,36 | 0,82 | 0,89 | 0,29 | 0,4 | 0,26 |
| | 0,1 | 0,1 | 0,6 | 0,5 | 0,1 | 0,8 | 0,5 | 0,3 | 0,9 | 0 | 0,4 | 0,2 | 0,1 | 0,9 | 0,92 | 0,43 | 0,16 | 0,45 | 0,77 | 0,7 |
| | 0,1 | 0,5 | 0,6 | 0,9 | 0,8 | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,6 | 0,4 | 0,3 | 0,9 | 0,6 | 0,9 | 0,47 | 0,05 | 0,53 | 0,79 | 0,94 | 0,95 |
| | 0,7 | 0,1 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 1 | 0,1 | 0,7 | 0,2 | 0,8 | 0,7 | 0,4 | 0,6 | 0,45 | 0,79 | 0,46 | 0,83 | 0,13 | 0,33 |
| | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0 | 0,2 | 0,8 | 0,6 | 0,2 | 0,4 | 0,7 | 0,1 | 0,4 | 0,6 | 0,4 | 0,96 | 0,78 | 0,28 | 0,58 | 0,66 | 0,41 |
| | 0,6 | 0,3 | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 1 | 0,1 | 0,4 | 0,5 | 0,4 | 0,1 | 0,5 | 0,63 | 0,68 | 0,8 | 0,78 | 0,08 | 0,68 |
| | 0,5 | 0,1 | 0,3 | 0,6 | 0 | 0 | 0,2 | 0,6 | 0,6 | 0,9 | 0,9 | 0,5 | 0,7 | 0 | 0,85 | 0,95 | 0,42 | 0,36 | 0,43 | 0,01 |
| | 0,5 | 0,9 | 0,1 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,6 | 0,4 | 1 | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,8 | 0,1 | 0,33 | 0,39 | 0,07 | 0,03 | 0,94 | 0,43 |
| | 0,4 | 0,7 | 0 | 0,5 | 0,8 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 1 | 0,8 | 0,6 | 0,55 | 0,13 | 0,15 | 0,86 | 0,6 | 0,61 |
| | 0,6 | 0,6 | 0,1 | 0,8 | 0,8 | 0,5 | 0,7 | 0,6 | 0,5 | 0,1 | 1 | 0,9 | 0,9 | 1 | 0,62 | 0,65 | 0,52 | 0,34 | 0,06 | 0,89 |
| <i>R_{ij}</i> | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| <i>r_{ij}</i> | 0,9 | 0,2 | 0,7 | 0,6 | 0,9 | 0,6 | 0,9 | 0,9 | 0,4 | 0,4 | 0,2 | 0,5 | 0,8 | 0,2 | 0,91 | 0,85 | 0,08 | 0,94 | 0,96 | 0,95 |

Tablo 2. Katsayılar

| Log-linear Crawford Pozisyon Bağımlı | Stanford-B | DeJong |
|---|---|--|
| $\alpha = -0,321$ $T=43 \left(\frac{\sum_{i=1}^M T_i}{M} \right)$ $T_i = T$ | $B = 0$ $\alpha = -0,321$ $T_i = T$ | $\mu_D = 0,25$ $\alpha = -0,321$ $T_i = T$ |
| S-eğrisi | Kübik model | Levy Adaptasyon Fonksiyonu |
| $B = 0$ $M=20$ $\mu_s = 0,25$ $B = 0$ $T_i = T$ | $C = 0,135$ $D = -0,126$ $\alpha = -0,321$ $T_i = T$ | $\alpha = 1,001$ $\beta_0 = 3,51x10^{-2}$ $Y_T = 6$ $\beta_1 = 3,51x10^{-4}$ $\beta_2 = 0$ $\beta_3 = 2,89x10^{-4}$ $\beta_4 = 0$ $\beta_5 = -6,66x10^{-4}$ $\beta_6 = 4,22x10^{-4}$ $T_i = T$ $\mu_L = 0,712$ |
| Glover | Knecht | Yelle |
| $T_0 = 0$ $\alpha = -0,321$ $T_1 = T$ | $\alpha = -0,321$ $T_1 = T$ $k = 1$ | $n=5$ $T=43 \left(\frac{\sum_{i=1}^M T_i}{M} \right)$ $\alpha_1 = -0,321$ $\alpha_2 = -0,074$ $\alpha_3 = -0,184$ $\alpha_4 = -0,321$ $\alpha_5 = -0,074$ $K_i = T/5 (i=1...5)$ |
| Genel Pozisyon Bağımlı Öğrenme | HLO | |
| $\alpha_0 = 1$ $\alpha_i = 0,321 i=2...20$ $T=43 \left(\frac{\sum_{i=1}^M T_i}{M} \right)$ | $N = Y_T$ $H = 10$ $m = 20$ | ikd_i (Tablo 1.) sk_{qj} (Tablo 1.) R_{ij} (Tablo 1.) r_{ij} (Tablo 1.) |

Stanford-B modelin önceki tecrübeleri temsil eden B katsayısı 0'a eşittir [76]. Glover öğrenme modelinde işin başlangıç zamanı T_0 0'a eşittir [79]. Knecht yükseliş modelinde bir sabit olan k 1'e eşittir [37]. İnsan öğrenme algoritmasında(HLO) üretim için gerekli süre hesabına ilişkin bir eşitlik yer almayıp, grup ve birey arasında tecrübe aktarımında öğrenme oranının belirlenmesine ilişkin bir model önerilmiştir [18, 19, 81-83]. HLO algoritmasının karşılaştırılması amacı ile işçilik için gerekli süre Eş.2 kullanılarak hesaplanmıştır. Eş.2'de yer alan öğrenme oranı (α) yerine birey ve grup arasındaki tecrübe aktarımı sonrasındaki öğrenme oranı (α_{ij}) kullanılmıştır. Üretim için gerekli süre $T_x = T\alpha_{ij}$ ile hesaplanmıştır. Tecrübe aktarımının gerçekleşip/gerçekleşmediğine ilişkin parametre (R_{ij})

bireyin rastgele öğrenme oranı (ikd_i) ve grubun öğrenme oranı (sk_{qj}) rastgele üretilmiştir.

4. MATERYAL VE METOT

Öğrenme oranlarının karşılaştırılması için Tablo 1.'de sunulan veriler, Tablo 2.'de sunulan katsayılar ile öğrenme eğrisi eşitlikleri (Eş1-18) kullanılarak Matlab 2020b'de gerekli iş gücü süresi hesaplanmıştır. İncelenen öğrenme modelleri için M üretim miktarındaki hesaplanan üretim süreleri Tablo 3.'de sunulmuştur. Öğrenme eğrisi modelleri $T_x - x$ değişim grafiği Şekil 1.'de, $T_x - x$ karşılaştırma grafiği Şekil 2.'de sunulmuştur. Öğrenme modelleri ile hesaplanan üretim

süreleri ortalama, standart sapma, varyans, en kısa ve en büyük üretim süreleri Tablo 4.'te sunulmuştur.

Log-Liner, Crawford, Pozisyon Bağımlı ve Stanford-B öğrenme eğrisi modelleri için miktara bağlı olarak eşit üretim süresi önermiştir. Log-Liner, Crawford, Pozisyon Bağımlı ve Stanford-B modelleri M üretim miktarı için gerekli üretim süresinin ortalaması (\bar{T}_x) 22,6 dakika, standart sapması (σ) 6,8 dakika, varyans (σ^2) 46,6 dakika olarak hesaplanmıştır. $M = 1$ için $T_x = 43$ dakika, $M = 20$ adet için (T_x) 16,4 dakika olarak hesaplanmıştır.

DeJong öğrenme eğrisi modelinde M üretim miktarı için gerekli üretim süresinin ortalaması (\bar{T}_x) 27,7 dakika, standart sapması (σ) 5,1 dakika, varyans (σ^2) 26,5 dakika olarak hesaplanmıştır. $M = 1$ için $T_x = 43$ dakika, $M = 20$ adet için $T_x = 23$ dakika olarak hesaplanmıştır.

S-Eğrisi öğrenme modelinde M üretim miktarı için gerekli üretim süresinin ortalaması (\bar{T}_x) 28,6 dakika, standart sapması (σ) 3,9 dakika, varyans (σ^2) 15,3 dakika olarak hesaplanmıştır. $M = 1$ için $T_x = 43$ dakika, $M = 10$ adet için $T_x = 26$ dakika olarak hesaplanmıştır.

Küçük öğrenme modelinde M üretim miktarı için gerekli üretim süresinin ortalaması (\bar{T}_x) 5,2 dakika, standart sapması (σ) 12,9 dakika, varyans (σ^2) 165,4 dakika olarak hesaplanmıştır. $M = 1$ için $T_x = 43$ dakika, $M = 20$ adet için $T_x = 0$ dakika olarak hesaplanmıştır.

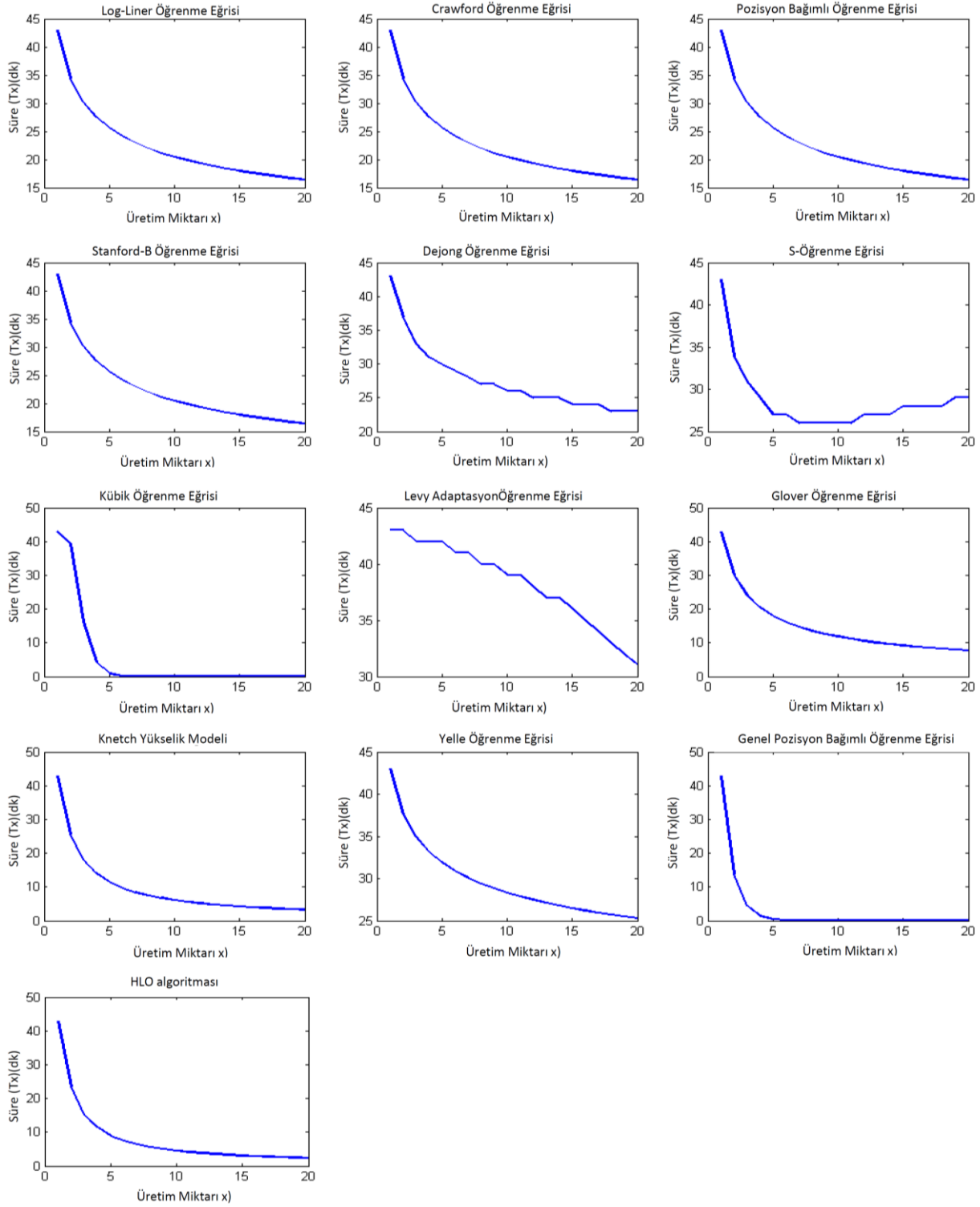
Levy öğrenme modelinde M üretim miktarı için gerekli üretim süresinin ortalaması (\bar{T}_x) 38,3 dakika, standart sapması (σ) 3,7 dakika, varyans (σ^2) 14,0 dakika olarak hesaplanmıştır. $M = 1$ için $T_x = 43$ dakika, $M = 20$ adet için $T_x = 31,0$ dakika olarak hesaplanmıştır. Her iki değer en büyük ve en küçük değerler olup 1'inci ve 20'inci sıradaki işlere aittir.

Tablo 3. Hesaplanan üretim süreleri (T_x) (dakika)

| M | Log-Liner (dk) | Crawford (dk) | Pozisyon Bağımlı Öğrenme (dk) | Stanford-B (dk) | DeJong (dk) | S-Eğrisi (dk) | Küçük (dk) | Levy (dk) | Glover (dk) | Knetch (dk) | Yelle (dk) | Genel Pozisyon Bağımlı (dk) | HLO (dk) |
|-----|----------------|---------------|-------------------------------|-----------------|-------------|---------------|------------|-----------|-------------|-------------|------------|-----------------------------|----------|
| 1 | 43,0 | 43,0 | 43,0 | 43,0 | 43,0 | 43,0 | 43,0 | 43,0 | 43,0 | 43,0 | 43,0 | 43,0 | 43,0 |
| 2 | 34,4 | 34,4 | 34,4 | 34,4 | 37,0 | 34,0 | 39,4 | 43,0 | 30,2 | 25,7 | 37,7 | 13,8 | 23,5 |
| 3 | 30,2 | 30,2 | 30,2 | 30,2 | 33,0 | 31,0 | 16,2 | 42,0 | 24,2 | 18,1 | 35,0 | 4,5 | 15,2 |
| 4 | 27,5 | 27,5 | 27,5 | 27,5 | 31,0 | 29,0 | 4,3 | 42,0 | 20,5 | 14,0 | 33,2 | 1,4 | 11,5 |
| 5 | 25,6 | 25,6 | 25,6 | 25,6 | 30,0 | 27,0 | 0,9 | 42,0 | 18,0 | 11,5 | 31,9 | 0,5 | 8,9 |
| 6 | 24,2 | 24,2 | 24,2 | 24,2 | 29,0 | 27,0 | 0,2 | 41,0 | 16,1 | 9,7 | 30,9 | 0,1 | 7,5 |
| 7 | 23,0 | 23,0 | 23,0 | 23,0 | 28,0 | 26,0 | 0,0 | 41,0 | 14,7 | 8,5 | 30,1 | 0,0 | 6,4 |
| 8 | 22,0 | 22,0 | 22,0 | 22,0 | 27,0 | 26,0 | 0,0 | 40,0 | 13,6 | 7,5 | 29,4 | 0,0 | 5,6 |
| 9 | 21,2 | 21,2 | 21,2 | 21,2 | 27,0 | 26,0 | 0,0 | 40,0 | 12,6 | 6,7 | 28,8 | 0,0 | 5,0 |
| 10 | 20,5 | 20,5 | 20,5 | 20,5 | 26,0 | 26,0 | 0,0 | 39,0 | 11,8 | 6,1 | 28,3 | 0,0 | 4,5 |
| 11 | 19,9 | 19,9 | 19,9 | 19,9 | 26,0 | 26,0 | 0,0 | 39,0 | 11,2 | 5,6 | 27,9 | 0,0 | 4,1 |
| 12 | 19,3 | 19,3 | 19,3 | 19,3 | 25,0 | 27,0 | 0,0 | 38,0 | 10,6 | 5,2 | 27,5 | 0,0 | 3,8 |
| 13 | 18,8 | 18,8 | 18,8 | 18,8 | 25,0 | 27,0 | 0,0 | 37,0 | 10,1 | 4,8 | 27,1 | 0,0 | 3,5 |
| 14 | 18,4 | 18,4 | 18,4 | 18,4 | 25,0 | 27,0 | 0,0 | 37,0 | 9,6 | 4,5 | 26,8 | 0,0 | 3,3 |
| 15 | 18,0 | 18,0 | 18,0 | 18,0 | 24,0 | 28,0 | 0,0 | 36,0 | 9,2 | 4,2 | 26,5 | 0,0 | 3,1 |
| 16 | 17,6 | 17,6 | 17,6 | 17,6 | 24,0 | 28,0 | 0,0 | 35,0 | 8,8 | 4,0 | 26,2 | 0,0 | 2,9 |
| 17 | 17,3 | 17,3 | 17,3 | 17,3 | 24,0 | 28,0 | 0,0 | 34,0 | 8,5 | 3,8 | 26,0 | 0,0 | 2,7 |
| 18 | 17,0 | 17,0 | 17,0 | 17,0 | 23,0 | 28,0 | 0,0 | 33,0 | 8,2 | 3,6 | 25,7 | 0,0 | 2,6 |
| 19 | 16,7 | 16,7 | 16,7 | 16,7 | 23,0 | 29,0 | 0,0 | 32,0 | 7,9 | 3,4 | 25,5 | 0,0 | 2,4 |
| 20 | 16,4 | 16,4 | 16,4 | 16,4 | 23,0 | 29,0 | 0,0 | 31,0 | 7,7 | 3,3 | 25,3 | 0,0 | 2,3 |

Glover öğrenme modelinde M üretim miktarı için gerekli üretim süresinin ortalaması (\bar{T}_x) 14,8 dakika, standart sapması (σ) 8,9 dakika, varyans (σ^2) 79,4 dakika olarak hesaplanmıştır. $M = 1$ için $T_x = 43$ dakika, $M = 20$ adet için $T_x = 7,7$ dakika olarak hesaplanmıştır. Her iki değer en büyük ve en küçük değerler olup 1'inci ve 20'inci sıradaki işlere aittir.

Knetch öğrenme modelinde M üretim miktarı için gerekli üretim süresinin ortalaması (\bar{T}_x) 9,7 dakika, standart sapması (σ) 9,7 dakika, varyans (σ^2) 94,2 dakika olarak hesaplanmıştır. $M = 1$ için $T_x = 43$ dakika, $M = 20$ adet için $T_x = 3,3$ dakika olarak hesaplanmıştır.



Şekil 1. Öğrenme eğrisi modelleri $T_x - x$ değişim grafiği

Yelle öğrenme modelinde M üretim miktarı için gerekli üretim süresinin ortalaması ($\overline{T_x}$) 29,6 dakika, standart sapması (σ) 4,6 dakika, varyansı (σ^2) 21,2 dakika olarak hesaplanmıştır. $M = 1$ için $T_x = 43$ dakika, $M = 20$ adet için $T_x = 25,3$ dakika olarak hesaplanmıştır.

Genel-Pozisyon-Bağımlı öğrenme modelinde M üretim miktarı için gerekli üretim süresinin ortalaması ($\overline{T_x}$) 3,2 dakika, standart sapması (σ) 9,9 dakika, varyansı (σ^2)

98,0 dakika olarak hesaplanmıştır. $M = 1$ için $T_x = 43$ dakika, $M = 20$ adet için $T_x = 0$ dakika olarak hesaplanmıştır. Her iki değer en büyük ve en küçük değerler olup 1'inci ve 20'inci sıradaki işlere aittir.

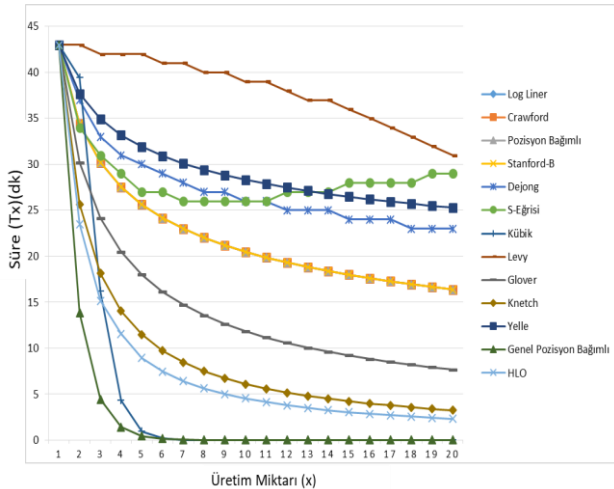
Tablo 4. Öğrenme modelleri üretim süreleri karşılaştırma

| Öğrenme Modeli | \bar{T}_x | σ | σ^2 | En küçük | En büyük |
|------------------------|-------------|----------|------------|----------|----------|
| Log Liner | 22,6 | 6,8 | 46,6 | 16,4 | 43,0 |
| Crawford | 22,6 | 6,8 | 46,6 | 16,4 | 43,0 |
| Pozisyon-Bağımlı | 22,6 | 6,8 | 46,6 | 16,4 | 43,0 |
| Stanford-B | 22,6 | 6,8 | 46,6 | 16,4 | 43,0 |
| DeJong | 27,7 | 5,1 | 26,5 | 23,0 | 43,0 |
| S-Eğrisi | 28,6 | 3,9 | 15,3 | 26,0 | 43,0 |
| Kübik | 5,2 | 12,9 | 165,4 | 0,0 | 43,0 |
| Levy | 38,3 | 3,7 | 14,0 | 31,0 | 43,0 |
| Glover | 14,8 | 8,9 | 79,4 | 7,7 | 43,0 |
| Knetch | 9,7 | 9,7 | 94,2 | 3,3 | 43,0 |
| Yelle | 29,6 | 4,6 | 21,2 | 25,3 | 43,0 |
| Genel-Pozisyon-Bağımlı | 3,2 | 9,9 | 98,0 | 0,0 | 43,0 |
| HLO | 8,1 | 9,7 | 95,1 | 2,3 | 43,0 |

HLO öğrenme modelinde M üretim miktarı için gerekli üretim süresinin ortalaması (\bar{T}_x) 8,1 dakika, standart sapması (σ) 9,7 dakika, varyans (σ^2) 95,1 dakika olarak hesaplanmıştır. $M = 1$ için $T_x = 43$ dakika, $M = 20$ adet için $T_x = 0$ dakika olarak hesaplanmıştır.

İncelenen öğrenme modellerinin tümü miktara bağlı azalan üretim süresi önermiştir. Kübik öğrenme eğrisi ile Genel-Pozisyon-Bağımlı öğrenme eğrisi miktar bağlı olarak üretim süresini sıfıra eşit olacağını önermektedir.

S-Eğrisi öğrenme modeli ile DeJong öğrenme modeli $M=11$ için üretim süreleri kesişmiştir ($T_x = 26$ dakika). Benzer olarak S-Eğrisi öğrenme modeli ile Yelle öğrenme modeli $M=13$ için üretim süreleri eşittir ($T_x = 27$ dakika).

**Şekil.2** Öğrenme eğrisi (T_x & x) modelleri karşılaştırma grafiği

5. SONUÇ

Bu çalışmada literatürde yer alan öğrenme eğri modelleri için farklı üretim miktarının üretim süresine etkisi incelenmiştir. Literatürdeki önerilen 13 farklı öğrenme modelinin karşılaştırılması için 20 farklı işe ait standart zaman bilgisi rastgele üretilmiştir. Matlab 2020b yazılımında her bir öğrenme eğrisi modeli için

literatürde önerilen katsayılar kullanılarak üretim miktarına bağlı olarak gerekli iş gücü miktarının değişimi incelenmiştir.

Geçmiş tecrübeleri modellemek için kullanılan B katsayısı 0'a eşit alındığında Stanford-B öğrenme eğrisi modeli Log-Liner, Crawford ve Pozisyon Bağımlı öğrenme M üretim miktarına bağlı olarak eşit üretim süresinin eşit olur. Crawford, Pozisyon Bağımlı ve Stanford-B öğrenme eğrileri Log-liner öğrenme eğrisinden farklı olarak standart zamanları değişik işlere ait üretim sürelerinin hesaplanmasına imkân tanır.

DeJong öğrenme eğrisi M üretim miktarı için gerekli üretim süre ortalaması ($\bar{T}_x = 27,7$ dakika) Log-Liner, Crawford, Pozisyon Bağımlı ve Stanford-B öğrenme modellerinden ($\bar{T}_x = 16,4$ dakika) daha yüksek olmakla beraber standart sapması ($\sigma = 5,1$ dakika) daha düşüktür. S-Eğrisi öğrenme modeli üretim devam ettikçe öğrenmedeki değişimi kullanarak üretim süresinin belirlenmesine imkân tanımakla beraber ($M = 1$ için $T_x = 43$ dakika, $M = 10$ adet için $T_x = 26$ dakika, $M = 20$ adet için $T_x = 29$ dakika) öğrenme oranının değişimini belirlemek oldukça güçtür. Kübik öğrenme modeli ve Genel-Pozisyon Bağımlı öğrenme $M = 7 - 20$ adet için $T_x = 0$ dakika olduğundan emek yoğun üretim süreçlerinin modellenmesinin kullanımı uygun değildir.

Glover, Knetch ve HLO öğrenme modelleri ile $M = 20$ adet için sırası ile üretim süresi 7,7 dakika 3,3 dakika ve 2,3 dakika olarak hesaplanmıştır. Yelle öğrenme modeli (\bar{T}_x) 29,6 dakika olmasına rağmen standart sapması (σ) 4,6 dakika olarak gerçekleşmiştir.

İncelenen öğrenme modellerinin tümü miktara bağlı azalan üretim süresi önermiştir. S-Eğrisi öğrenme modeli ile DeJong öğrenme modeli $M=11$ için, S-Eğrisi öğrenme modeli ile Yelle öğrenme modeli $M=13$ için eşit üretim süreleri öngörmüştür.

6. TARTIŞMA

Üretim işlemlerinde tekrar sayısına bağlı olarak gerekli işgücünün belirlenmesinde literatürdeki öğrenme modellerinden üretim işlemine uygun olanı seçilmelidir. Genel-pozisyon-bağımlı öğrenme modelinin 5 inci tekrardan sonra gerekli süreyi 0' eşit kabul ettiğinden üretim işlemlerinin süresinin belirlenmesinde kullanımı uygun değildir.

İnsan öğrenme algoritmasında (HLO) bireyde öğrenmenin gerçekleşip/gerçekleşmediğine bağlı olarak grup ve birey arasında öğrenmenin aktarıldığı kabul edilmiştir. Bununla beraber birey ve grup arasında öğrenme aktarımının gerçekleştiği durumda bireyin öğrenmesinin grub içindeki en yüksek öğrenme oranına sahip bireyin tecrübe seviyesine eşit olduğu kabul edilmiştir. Ancak bakım sektöründe çırak veya kalfaların tecrübe seviyesi ustanın tecrübesine tek bir eğitim tekrarı ile eşitlenmez. Kalfa ve çırağın öğrenmesi grup içindeki en iyi tecrübe düzeyine sahip olan usta ile beraber çalışma sayısına bağlı olarak zaman içerisinde artar.

Savunma sanayinde silah sistemlerin bakım onarımları iş postaları adı verilen çalışma grupları ile gerçekleştirilir. İş postalarında farklı tecrübe seviyesine sahip bireyler birlikte çalışırlar. HLO öğrenme modelinde birey ve grup arasında rastgele tecrübe aktarımı yerine tekrar sayısına bağlı olarak grup içinde bireylerin tecrübe artışı olacak şekilde modellenmesi durumunda HLO algoritmasının sonraki varyasyonlarının depo seviyesi bakım hatlarında kullanım potansiyeli oldukça yüksektir. Bununla birlikte HLO'nun gelecek varyasyonlarında Yelle öğrenme modelinde olduğu gibi alt operasyonlarındaki öğrenme oranlarının hesaba katılması ile fabrika seviyesi bakım hatlarında üretim için gerekli iş gücü miktarı gerçeğine yakın bir şekilde hesaplanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Li B, Ji Q, Arreola-Risa A. Optimizing a production-inventory system under a cost target. *Computers & Operations Research*. 2020;123:105015.
- [2] Wright TP. Factors affecting the cost of airplanes. *Journal of the Aeronautical Sciences*. 1936;3:122-8.
- [3] Anzanello MJ, Fogliatto FS. Learning curve models and applications: Literature review and research directions. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 2011;41(5):573-83.
- [4] Kortge GD, Okonkwo PA, Burley JR, Kortge JD. Linking experience, product life cycle, and learning curves: Calculating the perceived value price range. *Industrial Marketing Management*. 1994;23(3):221-8.
- [5] Ebbinghaus H. Memory: a contribution to experimental psychology. *Annals of neurosciences*. 2013;20(4):155-6.
- [6] Pegels CC. On Startup or Learning Curves: An Expanded View. *A I I E Transactions*. 1969;1(3):216-22.
- [7] Hirsch WZ. Manufacturing Progress Functions. *The Review of Economics and Statistics*. 1952;34(2):143-55.
- [8] Andress FJ. *The Learning Curve as a Production Tool*: Harvard University; 1954.
- [9] Lundberg RH. *Learning Curve Theory as Applied to Production Costs*. SAE International. 1956;64:775-81.
- [10] Carlson JG. How Management Can Use the Improvement Phenomenon. *California Management Review*. 1961;3(2):83-94.
- [11] Badiru AB. Manufacturing cost estimation: A multivariate learning curve approach. *Journal of Manufacturing Systems*. 1991;10(6):431-41.
- [12] Badiru AB. Multivariate Learning Curve Model for Manufacturing Economic Analysis. In: Parsaei HR, Mital, A, editor. *Economics of Advanced Manufacturing Systems*. Boston, MA: Springer; 1992.
- [13] Thomopoulos NT, Lehman M. The Mixed Model Learning Curve. *A I I E Transactions*. 1969;1(2):127-32.
- [14] Argote L, Insko C, Yovetich N, Romero A. Group Learning Curves: The Effects of Turnover and Task Complexity on Group Performance. *Journal of Applied Social Psychology*. 1995;25:512-29.
- [15] Peltokorpi J, Jaber MY. A group learning curve model with motor, cognitive and waste elements. *Computers & Industrial Engineering*. 2020;146:106621.
- [16] Biskup D. Single-machine scheduling with learning considerations. *European Journal of Operational Research*. 1999;115(1):173-8.
- [17] Lee W-C. Scheduling with general position-based learning curves. *Information Sciences*. 2011;181(24):5515-22.
- [18] Wang L, Ni H, Yang R, Fei M, Ye W. A Simple Human Learning Optimization Algorithm. 2014. 56-65 p.
- [19] Wang L, Pei J, Menhas MI, Pi J, Fei M, Pardalos PM. A Hybrid-coded Human Learning Optimization for mixed-variable optimization problems. *Knowledge-Based Systems*. 2017;127:114-25.
- [20] Shoja A, Molla-Alizadeh-Zavardehi S, Niroomand S. Hybrid adaptive simplified human learning optimization algorithms for supply chain network design problem with possibility of direct shipment. *Applied Soft Computing*. 2020;96:106594.
- [21] Wei Z, Zhang Y, Xu X, Shi L, Feng L. A task scheduling algorithm based on Q-learning and shared value function for WSNs. *Computer Networks*. 2017;126:141-9.
- [22] Wei Z, Liu F, Zhang Y, Xu J, Ji J, Lyu Z. A Q-learning algorithm for task scheduling based on improved SVM in wireless sensor networks. *Computer Networks*. 2019;161:138-49.
- [23] Wene C-O. Quantum modelling of the learning curve. *Futures*. 2018;103:123-35.
- [24] Li Y, Yang X, Yang Z. Uncertain learning curve and its application in scheduling. *Computers & Industrial Engineering*. 2019;131:534-41.
- [25] Valsamis E, Sukeik M. Evaluating learning and change in orthopaedics: What is the evidence-base? *World Journal of Orthopaedics*. 2019;10.
- [26] Zhang L, Liu J, Luo M, Chang X, Zheng Q, Hauptmann AG. Scheduled sampling for one-shot learning via matching network. *Pattern Recognition*. 2019;96:106962.
- [27] Palmanovich E, Ohana N, Atzmon R, Slevin O, Brin Y, Feldman V, et al. MICA: A Learning Curve. *The Journal of Foot and Ankle Surgery*. 2020;59(4):781-3.
- [28] Kang J-N, Wei Y-M, Liu L, Han R, Chen H, Li J, et al. The Prospects of Carbon Capture and Storage in China's Power Sector under the 2 °C Target: A Component-based Learning Curve Approach. *International Journal of Greenhouse Gas Control*. 2020;101:103149.
- [29] Zhou P, He X, Luo S, Yu H, Sun G. JPAS: Job-progress-aware flow scheduling for deep learning clusters. *Journal of Network and Computer Applications*. 2020;158:102590.
- [30] Wang H, Wu Y, Min G, Xu J, Tang P. Data-driven dynamic resource scheduling for network slicing: A Deep reinforcement learning approach. *Information Sciences*. 2019;498:106-16.

- [31] Luo S. Dynamic scheduling for flexible job shop with new job insertions by deep reinforcement learning. *Applied Soft Computing*. 2020;91:106208.
- [32] Tong Z, Chen H, Deng X, Li K, Li K. A scheduling scheme in the cloud computing environment using deep Q-learning. *Information Sciences*. 2020;512:1170-91.
- [33] Garg A, Milliman P, editors. The aircraft progress curve modified for design changes 1961.
- [34] Nadler G, Smith WD. Manufacturing Progress Functions for Types of Processes. *International Journal of Production Research*. 1963;2(2):115-35.
- [35] Hirschmann WB. Profit from the Learning Curve. *Profit from the Learning Curve*. 1964;2.
- [36] Keachie EC, Fontana RJ. Effects of Learning on Optimal Lot Size. *Management Science*. 1966;13(2):B-102-B-8.
- [37] Knecht GR. Costing, Technological Growth and Generalized Learning Curves. *Journal of the Operational Research Society*. 1974;25(3):487-91.
- [38] Montgomery D, Day G. Diagnosing the Experience Curve. *Journal of Marketing*. 1983;47.
- [39] Yelle L. Common Flaws in Learning Curve Analysis. *Journal of Purchasing and Materials Management*. 1985;21:10-5.
- [40] Fine CH. Quality Improvement and Learning in Productive Systems. *Management Science*. 1986;32(10):1301-15.
- [41] Reis DA. Learning Curves in Food Services. *The Journal of the Operational Research Society*. 1991;42(8):623-9.
- [42] Jordan RB. How to Use the Learning Curve: Materials Management Institute; 1965.
- [43] Baloff N. The Learning Curve--Some Controversial Issues. *The Journal of Industrial Economics*. 1966;14(3):275-82.
- [44] Baloff N. Extension of the Learning Curve — Some Empirical Results. *Journal of the Operational Research Society*. 1971;22(4):329-40.
- [45] Badiru AB. Quality improvement through learning curve analysis. In: *Handbook of Total Quality Management*. Boston, MA: Springer; 1998.
- [46] Jaber MY, Glock CH, Zanoni S. A Learning Curve with Improvement in Process Quality. *IFAC-PapersOnLine*. 2018;51(11):681-5.
- [47] Kemerer C. How the Learning Curve Affects CASE Tool Adoption. *IEEE Software*. 1992;9:23-8.
- [48] Heng TM, Low L. Estimating and comparing learning curves in three Asian economies. *Asia Pacific Journal of Management*. 1995;12(1):21-35.
- [49] Klenow P. Learning Curves and the Cyclical Behavior of Manufacturing Industries. *Review of Economic Dynamics*. 1998;1:531-50.
- [50] Zangwill W, Kantor P. Toward a Theory of Continuous Improvement and the Learning Curve. *Management Science*. 1998;44:910-20.
- [51] Mosheiov G, Sidney JB. Scheduling with general job-dependent learning curves. *European Journal of Operational Research*. 2003;147(3):665-70.
- [52] Lee W-C, Chuang M-C, Yeh W-C. Uniform parallel-machine scheduling to minimize makespan with position-based learning curves. *Computers & Industrial Engineering*. 2012;63(4):813-8.
- [53] Senyigit E, Atici U, editors. Scheduling with Job Dependent Learning Effect and Ergonomic Risk Deterioration. 2018 2nd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT); 2018 19-21 Oct. 2018.
- [54] Şenyiğit E, Atici U, Şenol MB. Effects of OCRA parameters and learning rate on machine scheduling. *Central European Journal of Operations Research*. 2020.
- [55] Li K, Chen J, Fu H, Jia Z, Wu J. Parallel machine scheduling with position-based deterioration and learning effects in an uncertain manufacturing system. *Computers & Industrial Engineering*. 2020;149:106858.
- [56] Soleimani H, Ghaderi H, Tsai P-W, Zarbakhshnia N, Maleki M. Scheduling of unrelated parallel machines considering sequence-related setup time, start time-dependent deterioration, position-dependent learning and power consumption minimization. *Journal of Cleaner Production*. 2020;249:119428.
- [57] Ding H, Gu X. Hybrid of human learning optimization algorithm and particle swarm optimization algorithm with scheduling strategies for the flexible job-shop scheduling problem. *Neurocomputing*. 2020;414:313-32.
- [58] Malyusz L. Learning Curve Effect on Project Scheduling. *Procedia Engineering*. 2016;164:90-7.
- [59] Malyusz L, Varga A. An Estimation of the Learning Curve Effect on Project Scheduling with Calendar Days Calculation. *Procedia Engineering*. 2017;196:730-7.
- [60] Tosselli L, Bogado V, Martínez E. A repeated-negotiation game approach to distributed (re)scheduling of multiple projects using decoupled learning. *Simulation Modelling Practice and Theory*. 2020;98:101980.
- [61] Li Z, Ye Y, Wu Z, Wang B. Learning Curve Analysis of Laparoscopic Kasai Portoenterostomy. *Journal of Laparoendoscopic & Advanced Surgical Techniques*. 2017;27.
- [62] Feldman LS, Cao J, Andalib A, Fraser S, Fried GM. A method to characterize the learning curve for performance of a fundamental laparoscopic simulator task: Defining “learning plateau” and “learning rate”. *Surgery*. 2009;146(2):381-6.
- [63] Son K, Lee K-B. Prediction of learning curves of 2 dental CAD software programs, part 2: Differences in learning effects by type of dental personnel. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2020;123(5):747-52.
- [64] Alikhanov R. An Invited Commentary on: “Comparison of the learning curves for robotic left and right hemihepatectomy: A prospective cohort study”. (*International journal of surgery* 2020; 81:19–25. *International Journal of Surgery*. 2020;83:140.
- [65] Liu Q, Zhang T, Hu M, Zhao Z, Zhao G, Li C, et al. Comparison of the learning curves for robotic left and right hemihepatectomy: A prospective cohort

- study. *International Journal of Surgery*. 2020;81:19-25.
- [66] Ahn Y, Lee S, Son S, Kim H, Kim JE. Learning Curve for Transforaminal Percutaneous Endoscopic Lumbar Discectomy: A Systematic Review. *World Neurosurgery*. 2020;143:471-9.
- [67] Zhou D, Ding H, Zhou P, Wang Q. Learning curve with input price for tracking technical change in the energy transition process. *Journal of Cleaner Production*. 2019;235:997-1005.
- [68] Ramirez R, Bhatti Y, Tapinos E. Exploring how experience and learning curves decrease the time invested in scenario planning interventions. *Technological Forecasting and Social Change*. 2020;151:119785.
- [69] Ören K, Erol M. Learning Curves, Usage Of Learning Curves in Reducing Workforce Costs As A Tool and An Emprical Study. *Firat University Journal of Social Science* 2009;19(1):133-41.
- [70] Moore JR. *A Comparative Study of Learning Curve Models in Defense Airframe Cost Estimating*. Wright-Patterson Air Force Base Ohio: Department of The Air Force Air University; 2015.
- [71] Mark BG, Rauch E, Matt DT. Study of the impact of projection-based assistance systems for improving the learning curve in assembly processes. *Procedia CIRP*. 2020;88:98-103.
- [72] Hong S, Yang T, Chang HJ, Hong S. The effect of switching renewable energy support systems on grid parity for photovoltaics: Analysis using a learning curve model. *Energy Policy*. 2020;138:111233.
- [73] Francis S, Kolil V, Achuthan K. Learning curve analysis for virtual laboratory experimentation2016.
- [74] Abdelkhalek HA, Refaie HS, Aziz RF. Optimization of time and cost through learning curve analysis. *Ain Shams Engineering Journal*. 2020.
- [75] Thomas HR, Mathews CT, Ward JG. Learning Curve Models of Construction Productivity. *Journal of Construction Engineering and Management*. 1986;112(2):245-58.
- [76] Asher H. *Cost-Quantity Relationships in the Airframe industry*. Santa Monica: The Rand Corporation; 1956.
- [77] De Jong JR. The Effects of Increasing Skill on Cycle Time And Its Consequences for Time Standards. *Ergonomics*. 1957;1(1):51-60.
- [78] Levy FK. Adaptation in the Production Process. *Management Science*. 1965;11(6):B-136-B-54.
- [79] Glover JH. Manufacturing progress functions I. An alternative model and Its comparİson with existing functions. *International Journal of Production Research*. 1965;4(4):279-300.
- [80] Yelle LE. Estimating learning curves for potential products. *Industrial Marketing Management*. 1976;5(2):147-54.
- [81] Wang L, Ni H, Yang R, Pardalos PM, Du X, Fei M. An adaptive simplified human learning optimization algorithm. *Information Sciences*. 2015;320:126-39.
- [82] Wang L, Yang R, Ni H, Ye W, Fei M, Pardalos PM. A human learning optimization algorithm and its application to multi-dimensional knapsack problems. *Applied Soft Computing*. 2015;34:736-43.
- [83] Wang L, Pei J, Wen Y, Pi J, Fei M, Pardalos PM. An improved adaptive human learning algorithm for engineering optimization. *Applied Soft Computing*. 2018;71:894-904.
- [84] Ralli P, Panas A, Pantouvakis J-P, Karagiannakidis D. Investigation and Comparative Analysis of Learning Curve Models on Construction Productivity: The Case of Caisson Fabrication Process. *Journal of Engineering, Project, and Production Management*. 2020;10(3):219-30.



Characterization of a Thermally Stable β -galactosidase Produced by Thermophilic *Anoxybacillus* sp. AH1

Ömer ACER^{1*}, Fatma MATPAN BEKLER²

¹*Siirt University, Medical Faculty, Department of Medical Microbiology, 56100, Siirt, Turkey

² Dicle University, Science Faculty, Department of Molecular Biology and Genetics, 21280, Sur, Diyarbakır, Turkey

Ömer ACER ORCID No: 0000-0002-5314-0475

Fatma Matpan Bekler ORCID No: 0000-0001-8253-9568

*Corresponding author: Ömer ACER, oacer21@gmail.com, omer.acer@siirt.edu.tr

(Alınış: 03.12.2020, Kabul: 20.02.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Keywords

Enzyme activity inhibition, Thermostable β -galactosidase, Enzyme purification, *Anoxybacillus* sp. AH1

Abstract: Thermostable β -galactosidases from thermophilic bacteria have attracted increasing interest to have various advantages in industrial and biotechnological applications. In this study, a highly thermally stable β -galactosidase produced by *Anoxybacillus* sp. AH1 was purified and characterized. The highest enzyme production was achieved after the bacterium was incubated for 24 hours. The enzyme was purified by precipitation with ammonium sulphate dialysis, gel filtration chromatography using Sephadex G-75. After the purification steps, β -galactosidase was found to be purified 10.2-fold and a yield of 13.9%. The molecular mass of the β -galactosidase was estimated to be 75 kDa by SDS-PAGE. The purified enzyme was highly stable and retained at 71% of the original activity at 60 °C and 53% at 70 °C within 120 minutes. The K_m and V_{max} values of purified β -galactosidase were calculated as 1.249 mM and 0.5 μ mol minutes⁻¹, respectively. Ca^{2+} , Zn^{2+} , and Mg^{2+} significantly activated β -galactosidase activity, whereas enzyme activity was inhibited significantly by Cu^{+2} as well as by the metal ion chelators 1,10-phenanthroline (phen) and ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA). The Purified β -galactosidase activity was increased by PMSF (phenylmethylsulfonyl fluoride), PCMB (p-chloromercuribenzoic acid), DTT (dithiothreitol), and β -ME (β -mercaptoethanol) at 2 mM, but inhibited completely by NEM (N-ethylmaleimide) at 1 mM.

Termofilik *Anoxybacillus* sp. AH1'den Üretilen Termostabil β -galaktosidazın Karakterizasyonu

Anahtar

Kelimeler

Enzim aktivitesi inhibisyonu, Termostabil β -galaktosidaz, Enzim saflaştırma, *Anoxybacillus* sp. AH1

Öz: Termofilik bakterilerden elde edilen termostabil β -galaktosidazlar, endüstriyel ve biyoteknolojik uygulamalarda çeşitli avantajlara sahip oldukları için ilgi çekmektedir. Bu çalışmada, *Anoxybacillus* sp. AH1'den üretilen, oldukça termostabil olan β -galaktosidaz, saflaştırıldı ve karakterize edildi. En yüksek enzim üretimi, bakterinin 24 saat inkübe edilmesinden sonra elde edildi. Enzim, amonyum sülfat çöktürmesi, diyaliz ve jel filtrasyon kromatografisi (Sephadex G-75) kullanılarak saflaştırıldı. Saflaştırma aşamalarından sonra, β -galaktosidazın % 13,9 verimle 10,2 kata kadar saflaştırıldığı tespit edildi. β -galaktosidazın moleküler kütlesi, SDS-PAGE ile 75 kDa olarak tahmin edildi. Saflaştırılmış enzimin oldukça stabil olduğu ve 120 dakika sonunda 60 °C'de orijinal aktivitenin % 71'ini, 70 °C'de ise % 53'ünü koruduğu tespit edildi. Saflaştırılmış β -galaktosidazın K_m ve V_{max} değerleri sırasıyla 1,249 mM ve 0,5 μ mol dakika⁻¹ olarak hesaplandı. Ca^{2+} , Zn^{2+} ve Mg^{2+} β -galaktosidaz aktivitesini önemli ölçüde aktive ederken, Cu^{2+} ve metal iyon şelatörleri, 1,10-phenanthroline (phen) ve ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) enzim aktivitesini önemli ölçüde inhibe etmiştir. Saflaştırılmış β -galaktosidaz aktivitesi 2 mM PMSF (phenylmethylsulfonyl fluoride), PCMB (p-chloromercuribenzoic acid), DTT (dithiothreitol), ve β -ME (β -mercaptoethanol) ile artar iken, 1 mM NEM (N-ethylmaleimide) ile tamamen inhibe edildiği belirlendi.

1. INTRODUCTION

β -Galactosidase (beta-D-galactohydrolase, EC3.2.1.23) is a hydrolase enzyme that hydrolyses the complex lactose into simple sugars, glucose, and galactose [1-2]. β -galactosidase is known as a commercially significant enzyme widely used especially in the food and pharmaceutical sectors [2-3]. The main biotechnological uses of β -galactosidase in the dairy industries are the production of galacto-oligosaccharides (GOSs) to use in probiotic foodstuffs and remove lactose from milk for lactose-intolerant people. GOSs are known as largely indigestible oligosaccharides and can support the growth of useful gut bacteria [4-5]. β -Galactosidase is largely used in the dairy industry to prevent crystallization of lactose in concentrated frozen dairy products such as condensed milk and ice cream, and also to solve the problem of whey disposal by converting whey into lactic acid. [6]. Besides, the hydrolysis of whey turns lactose into a very beneficial product, such as sweet syrup; this can be used in the various dairy, confectionery, bakery, and beverage industries. For this reason, lactose hydrolysis not only allows the non-lactose intolerant population to consume milk but also helps solve the environmental problem of whey destruction [1]. In addition, there are many studies on the use of whey in the production of many precious products. In this regard, thermostable β -galactosidases obtained from thermophilic bacteria have attracted increasing attention for use in such industrial processes [4].

Many studies on thermostable galactosidase which have been isolated from different microorganisms have been done so far, such as *Alicyclobacillus acidocaldarius* subsp. *rittmannii* [7], *Bacillus stearothermophilus* [8], *Streptococcus thermophilus* [9], *Thermotoga naphthophila* [10]. There are many studies on various enzymes from *Anoxybacillus*, for instance amylase [11], protease [12], glucose isomerase [13], carboxylesterase [14], esterase [15], and lipase [16]. However, to our knowledge, there have been a few studies so far on the characterization of thermostable β -galactosidase in *Anoxybacillus species* [1, 17-18].

In the present study, we aimed to purify and characterize a biotechnologically important thermally stable β -galactosidase from thermophilic *Anoxybacillus sp.* AH1.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Chemicals

All chemicals used in this study were of analytical grade. Bovine serum albumin (BSA), Sephadex G-75, 3,5- p-chlorobenzoic acid (PCMB), 1,10-phenanthroline (phen), dithiothreitol (DTT), iodoacetamide (IAA), N-ethylmaleimide (NEM), sodium dodecyl sulphate (SDS), phenylmethanesulfonyl fluoride (PMSF) were purchased from Sigma (Sigma-Aldrich, St Louis, MO, USA). All culture media (Luria-Bertani medium), β -mercaptoethanol (β -ME), and ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) were purchased from Merck (Germany).

2.2. Bacterial strain, medium, and β -galactosidase activity assay

In this study, thermophilic *Anoxybacillus sp.* AH1 isolated by Acer et al. [11] was used. To determine enzyme activity, *Anoxybacillus sp.* AH1 was grown on the solid Luria-Bertani medium (LB) containing 5-bromo-4-chloro-3-indolyl- β -D-galactopyranoside (X-Gal) and then incubated at 65 °C for 2 days. After incubation of 48 hours, observed blue colonies transferred into LB liquid medium and incubated 60 °C for 48 h in a shaker. To follow bacterial growth, absorbance was measured at 600 nm. The activity of β -galactosidase was detected by the release of *o*-NPG (*o*-nitrophenyl- β -D-galactopyranoside, Sigma) according to Gül-Güven et al. [7].

2.3. Investigation of the Effect of Incubation time on β -Galactosidase Production and Bacterial Growth

1 mL of fresh culture was transferred into 100 mL of the flasks containing 25 mL of LB and 3, 6, 9, 12, 24, 36, 42, 48, 60, 72 hours period the samples were taken to measure enzyme activity. In order to determine growth, the increase in absorbance at 600 nm was measured. The enzyme activity is measured by using a supernatant.

2.4. β -Galactosidase Purification

For β -galactosidase purification procedures, *Anoxybacillus sp.* AH1 cells were grown in 100 mL of LB medium at 60 °C for 24 hours. Then cells were centrifuged at 10.000 rpm at 4 °C for 10 minutes. 0.1 M Sodium phosphate buffer ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 / \text{NaH}_2\text{PO}_4$) at pH 7.0 was used to re-suspend the pellet. For breaking cells, a Sonicator Ultrasonic Processor was used. After sonication, cells were centrifuged at 10.000 rpm at 4 °C for 10 minutes. The supernatant represented the crude extract.

Ammonium sulphate to 70% saturation was used to precipitate the supernatant. Sodium phosphate buffer (pH 7.0, 0.1 M) was used to dissolve the centrifuged precipitate and after which the sample was dialyzed overnight against the sodium phosphate buffer (pH 7.0, 0.1 M). After the dialyzed, enzyme was concentrated by stirred ultrafiltration cell (PBGC membrane, Millipore), and applied to gel filtration chromatography using Sephadex G-75 (1.5 cm \times 30 cm), pre-equilibrated with the same buffer. To elute purified enzyme, sodium phosphate buffer (0.1 M, pH 7.0) with the flow rate of 3 mL minutes⁻¹ was used. Ultrafiltration was used for collecting the enzyme-containing fractions. All purification steps were fulfilled at 4 °C. After each step was completed, enzyme activity was measured. Lowry method [19] was used to determine the protein content.

2.5. Molecular Weight Estimation by Electrophoresis and Gel Filtration Chromatogram

To estimate the molecular weight of the subunits, Sodium Dodecyl Sulphate Polyacrylamide Gel Electrophoresis (SDS-PAGE) using a vertical gel

electrophoresis system was used. SDS-PAGE was carried out according to Laemmli [20]. Zymography (6-bromo-2-naphthyl-galactopyranoside-BNG staining) analysis of the enzyme activity was carried out according to Gül-Güven et al. [7].

2.6. Effect of pH and Temperature on the Purified Enzyme Activity

To determine the optimum pH of the purified enzyme activity, the enzyme activity was studied at pH values ranging from 4.0 to 11.0 at 60 °C. The pH stability of the purified enzyme was determined by incubating purified enzyme at 60 °C for 2 hours in different buffers (sodium citrate buffer (pH 4.0-6.0); sodium phosphate buffer (pH 7.0-9.0); and glycine-NaOH buffer (pH 11.0)).

The optimal temperature for enzyme activity was measured by incubating purified enzyme with *o*-NPG at different temperatures between 20 and 90 °C for 15 minutes at pH 8.0. The reactions were stopped with 500 mL of 1 M Na₂CO₃. The residual enzyme activity was measured after the purified enzyme incubated at 60 and 70 °C for 30, 60, 90, and 120 minutes to determine the thermal stability of the enzyme. For the control, non-subjected to heating enzyme activity was determined and considered as 100%.

For determination of the optimum pH of the purified enzyme activity, the enzyme activity was studied at pH values ranging from 4.0 to 11.0 at 60 °C. The pH stability of the purified enzyme was determined by incubating purified enzyme at 60 °C for 2 hours in different buffers (sodium citrate buffer (pH 4.0-6.0); sodium phosphate buffer (pH 7.0-9.0); and glycine-NaOH buffer (pH 11.0)).

2.7. Kinetic Properties of Purified Enzyme

Lineweaver-Burk plot was used to calculate the *K_m* and *V_{max}* values. The enzyme was assayed at various *o*-NPG substrate concentrations ranging from 0.5 to 15 mM in 0.1 M phosphate buffer at pH 8.0 at 60 °C for 10 minutes.

2.8. The Effects of Inhibitors

The effects of various chemicals (IAA, β-ME, PMSF, PCMB, DTT, and NEM) and different chelating agents (EDTA and phen), and metal ions (Cu²⁺, Zn²⁺, Ca²⁺, and Mg²⁺) on β-galactosidase activity were determined by preincubating enzyme with all agents for 15 minutes. To calculate the remaining enzyme activity, the enzyme activity was determined under standard assay conditions. The activity was used as a control and taken as 100% in the absence of any additives. Chloride forms were used for all the metal. For dissolving divalent metals, chelating agents, chemicals, Tris-HCl buffer (0.1 M, pH 7.0) was used, while ethanol used for dissolving PMSF and NEM, and methanol used for phen.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. β-Galactosidase Production and Purification

In this study, the time-dependent β-galactosidase production (129.092 U/mg) was maximum obtained at 24 hours (Fig. 1).

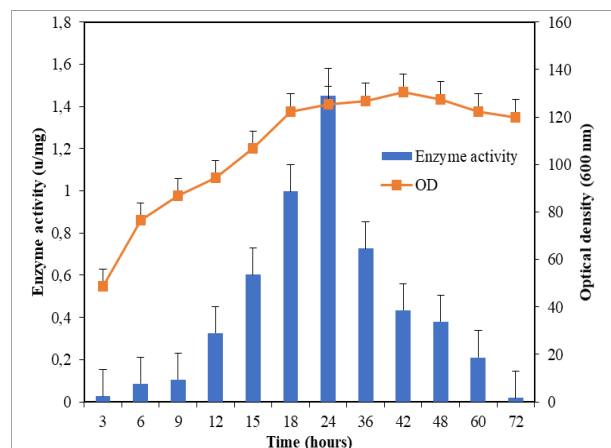


Figure 1. Time-dependent bacterial growth and enzyme activity

Table 1 shows the purification steps used for the purification of the enzyme. β-galactosidase was found to be purified up to 10.2-fold with a 13.9% yield of the pure enzyme.

| Purification steps | Total protein (mg) | Total activity (U) | Specific activity (U/mg) | Purification (fold) | Yield (%) |
|--|--------------------|--------------------|--------------------------|---------------------|-----------|
| Crude extract | 128.3 | 27225.4 | 212.2 | 1 | 100 |
| Ammonium sulphate and precipitation/dialysis | 16.3 | 12080.5 | 743 | 3.5 | 44.4 |
| Sephadex G-75 | 1.7 | 3781.3 | 2162.5 | 10.2 | 13.9 |

The partially purified enzyme was subjected to SDS-PAGE analysis and BNG staining (Fig. 2a, b) to estimate the molecular weight of the enzyme and show β-galactosidase activity. According to data of the SDS-PAGE (Figure 2a, lanes 2,3, and 4), the molecular weight of the purified enzyme was found as 75 kDa. In the previous studies, Osiriphun and Jaturapiree [21] also found the molecular weight of β-galactosidase purified from *Anoxybacillus* sp. B1.2 as 75 kDa. Besides, the molecular weight of β-galactosidase was reported as 68 kDa, 42 kDa, and 113 kDa from *Anoxybacillus* sp. KP1 [17], *Aspergillus terreus* [22], and *Bacillus velezensis* [23]. The molecular weight of β-galactosidases belonging to *Anoxybacillus* was recorded by Uniport Protein sequence databases (<http://www.uniprot.org/>) in the range of 49.1-116.7 kDa.

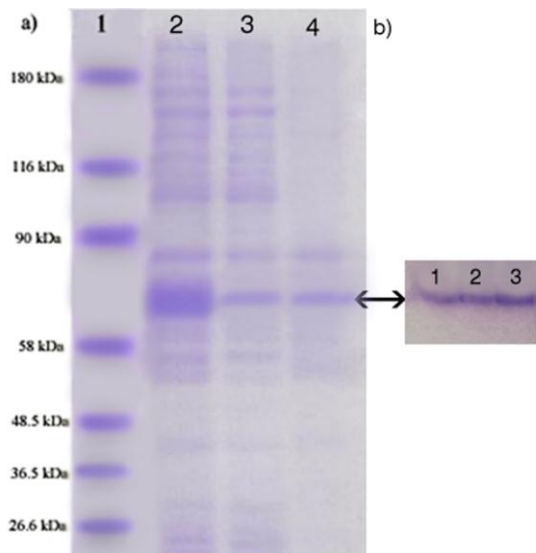


Figure 2. SDS-PAGE CBB-staining (a) BNG-staining (b) analysis of β -galactosidase from *Anoxybacillus* AH1. a: Lane 1, molecular mass markers [Sigma SDS7B2: a2- triosephosphate isomerase (26.6 kDa), lactic dehydrogenase (36.5 kDa), fumarase (48.5 kDa), pyruvate kinase (58 kDa), lactoferrin (90 kDa), β - galactosidase (116 kDa), macroglobulin (180 kDa)]; lanes 2 CBB-staining of partially purified β - galactosidase (Sephadex G- 75), 3b: BNG-staining lane 1, crude extract; lane 2, ammonium sulphate precipitation and dialysis; lane 3, Sephadex G-75.

3.2. Effect of Thermal, pH, and Kinetic Features on β -Galactosidase

As shown in figure 3a, purified β -galactosidase exhibits the highest activity at pH 8 and the enzyme retained galactosidase activity of 60%, 80%, 69%, and 58% at pH 7.0, 9.0, 10.0, and 11.0, respectively. In the recent studies, maximum enzyme activity was reported at pH 7.0, 9.0, 7.2, 7.0 and 6.0 from *Anoxybacillus falvithermus* [1], *Anoxybacillus ayderensis* FMB1[18], *Streptococcus thermophilus* [9], *Aspergillus terreus* [22], and *Klebsiella oxytoca* ZJUH1705 [24], respectively. We also determined that purified β -galactosidase displayed 100%, 95%, 90%, 64%, 61% stability at pH 8.0, 7.0, 9.0, 10.0 and 11.0 for 2 hours, respectively (Fig. 3b).

In the present study, the purified β -galactosidase exhibited maximum activity at 60 °C and displayed 87% of its peak activity at 70 °C (Fig. 4a). In recent studies, Matpan-Bekler et al. [17], Rani et al. [1] and Di Lauro et al. [25] reported optimum β -galactosidase activities from *Anoxybacillus* sp. KP1, *A. flavithermus*, and *Alicyclobacillus acidocaldarius* at 60 °C, respectively. On the other hand, Murphy et al. [26] reported optimum β -galactosidase activity from *Alicyclobacillus vulcanalis* as 70 °C. As seen in Figure 4b, the purified β -galactosidase was highly stable up to 2 hours. It was found that the purified enzyme retained 71% of the original activity at 60 °C and 53% at 70 °C. The tolerance of thermostable β -galactosidases to pasteurization and immobilization is known to have an economic advantage [27] and is of great interest for possible use in the industrial processing of lactose-containing fluids [7].

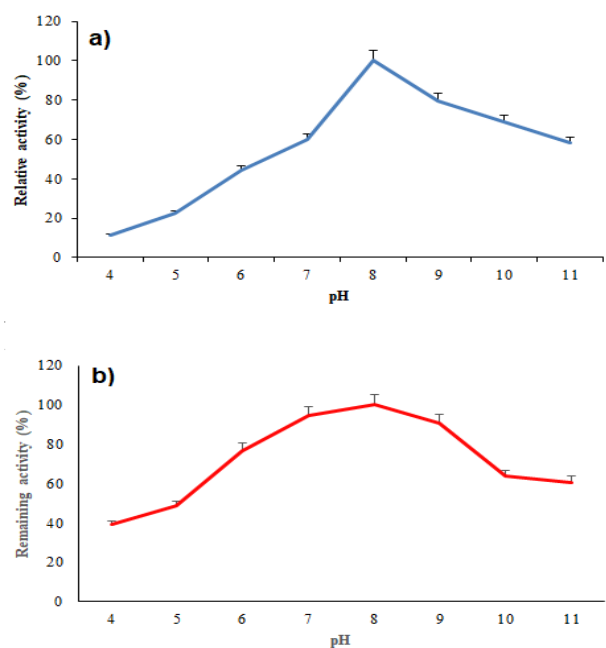


Figure 3. Effect of a) pH on the β -galactosidase activity b) pH on the stability of β -galactosidase activity

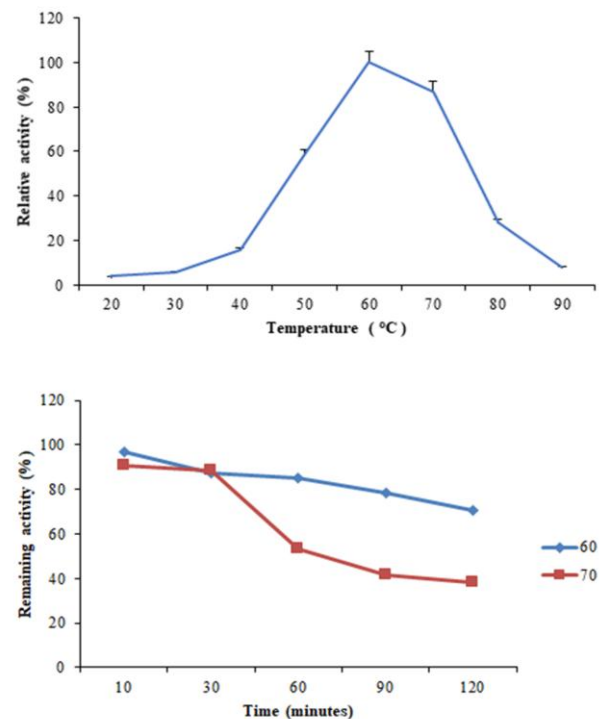


Figure 4. Effect of: a) temperature on the *Anoxybacillus* sp. AH1 β -galactosidase activity. b) temperature on the stability of *Anoxybacillus* sp. AH1 β -galactosidase activity.

To perform Kinetic studies of the purified enzyme, various concentrations of *o*-NPG were used as substrate. As shown in Figure 5, K_m and V_{max} values were calculated as 1,249 mM and 0.5 $\mu\text{mol minutes}^{-1}$, respectively, using the Lineweaver–Burk plot.

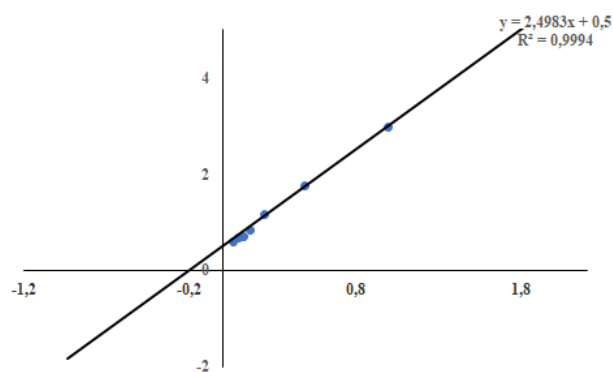


Figure 5. Lineweaver–Burk plot for K_m and V_{max} values of the β -galactosidase in the presence of different concentrations of *o*-NPG

The affinity of the enzyme to its substrate is reflected by K_m . The worth of K_m is comparatively smaller, displaying a higher enzyme affinity for its substrate. As substrate concentrations become very high, V_{max} is the limiting velocity. V_{max} is expressed in product units that are generated per unit of time. High affinity is expressed by low K_m value. The enzyme's K_m values range is in a wide range especially for most enzymes of industrial significance. Due to the high catalytic efficiency and specificity of the enzyme, *o*NPG is by far the best substrate to determine the activity of β -galactosidase. In the studies published recently, K_m and V_{max} values for *o*NPG substrate were reported as 1.3 mM and 3.23 U/mg/min for *A. flavithermus* PW10 [23], 0,48 mM, and 0.96 for *A. terreus* (KUBCF1306) [22], 5.62 mM and 167.1 $\mu\text{mol mg}^{-1}$ for *K. oxytoca* ZJUH1705 [24].

3.3. Investigation of the Effect of Various Chemicals Reagents and Metal Ions on the Purified β -Galactosidase

Understanding the interaction between enzymes and metal ions is important for enzyme activity because proteins are known as essential biological molecules that are required for the appropriate functioning of cells and organisms. As shown in Table 2, purified β -galactosidase activity was enhanced significantly by Ca^{2+} (60% at 10 mM), Mg^{2+} (77% at 20 mM) and Zn^{2+} (43% at 10 mM) whereas Cu^{2+} (100% at 1mM) and metal ion chelators, phen (100%) and EDTA (70%) at 10 mM, significantly inhibited enzyme activity. β -galactosidase inhibition in the presence of metal ions present in milk and dairy products is an important aspect. According to the data obtained from our study, we can suggest that β -galactosidase of *Anoxybacillus* sp. AH1 is a metal-dependent enzyme.

In the previous studies, Rani et al. [1] also reported that β -galactosidase of *A. flavithermus* activity was enhanced in the presence of Ca^{2+} , Mg^{2+} and Zn^{2+} while decreased in the presence of EDTA. Matpan Bekler et al. [17] reported that Ca^{2+} and Mg^{2+} enhanced the β -galactosidase activity of *Anoxybacillus* sp. KP1, whereas Cu^{2+} inhibited β -galactosidase activity as well. Calcium is well known as an important component of milk. For this reason, evaluation of β -galactosidase stability is necessary with different amounts of CaCl_2 (calcium

chloride) [4]. As shown in Table 2, the activity of β -galactosidase was enhanced significantly in the presence of Ca^{2+} . In most β -galactosidases, Mg^{2+} is known to be required for enzyme activity as well. In recent studies, Ustok et al. [28], Matpan Bekler et al. [17], and Rani et al. [1] reported that Mg^{2+} increased β -galactosidase activity as well.

As can be seen in Table 2, DTT and β -ME reagents containing SH groups increased the purified-galactosidase activity by 122 and 18%, respectively, at 2 mM. Nevertheless, NEM completely inhibited the enzyme activity at 1 mM. We can conclude that there is at least one essential cysteine residue that is modified by chemicals in the active site of the enzyme due to inhibition by NEM. On the other hand, it is interesting to note that the IAA (Iodoacetamide) which is an alkylating reagent through SH group had little effect on the enzyme. Enzyme activity was also enhanced by PMSF for 70% at 8 mM. In recent studies, Gül-Güven et al. (2011) also reported reagents containing SH groups such as 2-mercaptoethanol and DTT enhanced β -galactosidase activity in *Alicyclobacillus acidocaldarius* subsp. rittmannii. Actually, to our knowledge, there are not many studies on the inhibition of β -galactosidase purified from the species *Anoxybacillus* genus. Therefore, this study may be a guide for future studies.

Table 2 Effect of metal ion chelators, divalent metal ions, and chemicals on the activity of purified β -galactosidase

| Divalent metals, ion chelators, and chemicals | c mM^{-1} | | | | | | | | |
|---|----------------------------------|--------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| | Percentage activity retained (%) | | | | | | | | |
| | 0.2 mM | 0.4 mM | 1 mM | 2 mM | 4 mM | 5 mM | 8 mM | 10 mM | 20 mM |
| Ca^{2+} | NT | NT | 117 | 123 | NT | 127 | NT | 160 | 239 |
| Mg^{2+} | NT | NT | 108 | 144 | NT | 148 | NT | 177 | 211 |
| Cu^{2+} | NT | NT | 0 | 0 | NT | 0 | NT | 0 | 0 |
| Zn^{2+} | NT | NT | 102 | 116 | NT | 120 | NT | 143 | 222 |
| EDTA | NT | NT | 62 | 58 | 53 | NT | 43 | 30 | NT |
| PHE | NT | NT | NT | 27 | NT | NT | 0 | 0 | NT |
| DTT | NT | NT | 194 | 222 | 233 | NT | 208 | 180 | NT |
| β -ME | NT | NT | 129 | 118 | 75 | NT | 92 | 8 | NT |
| PMSF | NT | NT | 99 | 160 | 165 | NT | 170 | 117 | NT |
| PCMB | 283 | 263 | 203 | 217 | NT | NT | NT | NT | NT |
| NEM | NT | NT | 0 | 0 | 0 | NT | 0 | 0 | NT |
| IAA | NT | NT | 113 | 111 | 91 | NT | 106 | 67 | NT |

NT=not tested, 0=activity not determined.

4. CONCLUSION

In the present study, we found that metal ions such as magnesium and calcium increased the activity of the purified β -galactosidase. Calcium is well known as an important component of milk. For this reason, In the presence of different amounts of CaCl_2 , the stability of β -galactosidase is needed to be evaluated. Mg^{2+} is known to be required for enzyme activity in most β -galactosidases as well. We evaluated the effect of various inhibitors and chemicals on the β -galactosidase activity, which may further clarify the nature of the purified enzyme. This β -galactosidase from *Anoxybacillus* sp. AH1 was found to be highly

temperature resistant and maintains high relative activity levels at temperatures up to 70 ° C. This property would allow this enzyme to be used for various industrial processes at high temperatures that require a thermoactive β -galactosidase, such as in the manufacture of synthetic disaccharide lactulose, or the manufacture of milk and milk products free of lactose. To our knowledge, there are not many studies on the inhibition of β -galactosidase purified from the species of *Anoxybacillus* genus. Therefore, this study may be a guide for future studies.

Acknowledgment

The authors thank to Dicle University, Science Faculty, Department of Biology and Professor Dr. Kemal GÜVEN for supporting this study.

REFERENCES

- [1] Rani V, Sharma P, Dev K. Characterization of thermally stable β -galactosidase from *Anoxybacillus flavithermus* and *Bacillus licheniformis* isolated from Tattapani Hotspring of North-Western Himalayas, India. *Int. J. Curr. Microbiol.* 2019; 8 (1): 2517-2542.
- [2] Banerjee G, Ray A, Das SK, Kumar R, Ray AK. Chemical extraction and optimization of intracellular β -galactosidase production from the bacterium *Arthrobacter oxydans* using Box-Behnken design of response surface methodology. *Acta Alimentaria.* 2016;45 (1):93-103.
- [3] Natarajan J, Christobell C, Kumar DM, Balakumaran MD, Kumar MR, Kalaichelvan, PT. Isolation and characterization of β -galactosidase Producing *Bacillus* sp. from dairy effluent. *World Appl. Sci. J.* 2012;17 (11):1466-1474.
- [4] Gül-Güven R, Kaplan A, Guven K, Matpan-Bekler F, Dogru M. Effects of various inhibitors on β -galactosidase purified from the thermoacidophilic *Alicyclobacillus acidocaldarius* subsp. *rittmannii* isolated from Antarctica. *Biotechnol. Bioprocess Eng.* 2011;16 (1):114-119.
- [5] Liu Z, Zhao C, Deng Y, Huang Y, Liu B, 2015. Characterization of a thermostable recombinant β -galactosidase from a thermophilic anaerobic bacterial consortium YTY-70. *Biotechnol. Biotechnol. Equip.* 2015;29 (3):547-554.
- [6] Chanalia P, Gandhi D, Attri P, Dhanda S. Purification and characterization of β -galactosidase from probiotic *Pediococcus acidilactici* and its use in milk lactose hydrolysis and galactooligosaccharide synthesis. *Bioorg. Chem.* 2018; 77:176-189.
- [7] Gul-Guven R, Guven K, Poli A, Nicolaus B. Purification and some properties of a β -galactosidase from the thermoacidophilic *Alicyclobacillus acidocaldarius* subsp. *rittmannii* isolated from Antarctica. *Enzyme Microb. Technol.* 2007; 40 (6): 1570-1577.
- [8] Chen W, Chen H, Xia Y, Yang J, Zhao J, Tian F, et al. Immobilization of recombinant thermostable β -galactosidase from *Bacillus stearothermophilus* for lactose hydrolysis in milk. *J. Dairy Sci.* 2009; 92 (2): 491-498.
- [9] Princely S, Basha NS, Kirubakaran JJ, Dhanaraju, MD. Biochemical characterization, partial purification, and production of an intracellular beta-galactosidase from *Streptococcus thermophilus* grown in whey. *Eur. J. Exp. Biol.* 2013; 3 (2): 242-251.
- [10] Kong F, Wang Y, Cao S, Gao R, Xie G Cloning, purification and characterization of a thermostable β -galactosidase from *Thermotoga naphthophila* RUK-10. *Process Bioche.* 204; 49 (5): 775-82.
- [11] Acer Ö, Piriççioğlu H, Bekler FM, Gül-Güven R, Güven K. 2015. *Anoxybacillus* sp. AH1, an α -amylase-producing thermophilic bacterium isolated from Darğecit Hot Spring. *Biologia.* 2015; 70 (7): 853-862.
- [12] Matpan-Bekler F, Acer Ö, Güven, K. Production and purification of novel thermostable alkaline protease from *Anoxybacillus* sp. KP1. *Cell. Mol. Biol.* 2015; 61 (4): 113-120.
- [13] Karaoglu H, Yanmis D, Sal FA, Celik A, Canakci S, Belduz AO. 2013. Biochemical characterization of a novel glucose isomerase from *Anoxybacillus gonensis* G2T displays a high level of activity and thermal stability. *J. Mol. Catal.* 2013;97: 215-24.
- [14] Ay F, Karaoglu H, Inan K, Canakci S, Belduz AO, 2011. Cloning, purification, and characterization of a thermostable carboxy-lesterase from *Anoxybacillus* sp. PDF1. *Protein Expr. Purif.* 2011;80 (1): 74-9.
- [15] Chiş L, Hriscu M, Bica A, Toşa M, Nagy G, Róna G, et al. 2013. Molecular cloning and characterization of a thermostable esterase/lipase produced by a novel *Anoxybacillus flavithermus* strain. *J. Gen. Appl. Microbiol.* 2013;59 (2): 119-134.
- [16] Bakir ZB, Metin K. Purification and characterization of an alkali-thermostable lipase from thermophilic *Anoxybacillus flavithermus* HBB 134. *J Microbiol Biotechnol*, 2016;26 (6): 1087-97.
- [17] Matpan Bekler F, Yalaz S, Acer O, Guven K. Purification of thermostable β -galactosidase from *Anoxybacillus* sp. KP1 and estimation of the combined effect of some chemicals on enzyme activity using semiparametric errors in variables model. *Fresenius Environ Bull.* 2017;26: 2251-2259.
- [18] Matpan-Bekler F, Yalaz S, Güven RG, Acer O, Güven K 2018. Characterization of thermostable β -galactosidase from *Anoxybacillus ayderensis* and optimal design for enzyme inhibition using semiparametric EIV models. *TOJSAT.* 2018;8 (2): 32-37.
- [19] Lowry OH, Rosebrough NJ, Farr AL. Protein measurement with the folin phenol reagent. *The Journal of Biological Chemistry.* 1951;193 (1): 265-275.

- [20] Laemmli U. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of Bacteriophage T4. *Nature*. 1970;277: 680-685.
- [21] Osiriphun S, Jaturapiree P. Isolation and Characterization of β -galactosidase from the Thermophile B1.2. *AJOFAI*. 2009;04: 135-143.
- [22] Vidya B, Palaniswamy M, Angayarkanni J, Nawaz KA, Thandeeswaran M, Chaithanya, KK, et al. Purification and characterization of β -galactosidase from newly isolated *Aspergillus terreus* (KUBCF1306) and evaluating its efficacy on breast cancer cell line (MCF-7). *Bioorg. Chem.* 2020; 94:103442.
- [23] Liu Y, Wu Z, Zeng X, Weng P, Zhang X., Wang, C. A novel cold-adapted phospho-beta-galactosidase from *Bacillus velezensis* and its potential application for lactose hydrolysis in milk. *Int. J. Biol. Macromol.* 2021;166: 760-770.
- [24] Huang J, Zhu S, Zhao L, Chen L, Du M, Zhang C, et al. A novel β -galactosidase from *Klebsiella oxytoca* ZJUH1705 for efficient production of galacto-oligosaccharides from lactose. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2020;104: 6161-6172.
- [25] Di Lauro B, Strazzulli A, Perugino G, Cara FL, Bedini E, Corsaro MM, et al. Isolation and characterization of a new family 42 β -galactosidase from the thermoacidophilic bacterium *Alicyclobacillus acidocaldarius*: Identification of the active site residues. *Biochim Biophys Acta Proteins Proteom.* 2008;1784 (2): 292–301.
- [26] Murphy J, Ryan MP, Walsh G. Purification and characterization of a novel β galactosidase from the thermoacidophile *Alicyclobacillus vulcanalis*. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 2020;191(3):1190-1206.
- [27] Ohtsu N, Motoshima H, Goto K, Tsukasaki F, Matsuzawa H. Thermostable β -galactosidase from an extreme thermophile, *Thermus* sp. A4: Enzyme purification and characterization, and gene cloning and sequencing. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 1998;62 (8): 1539–45.
- [28] Ustok FI, Tari C, Harsa S. Biochemical and thermal properties of β -galactosidase enzymes produced by artisanal yoghurt cultures. *Food Chem.* 2010; 119 (3): 1114–20.



Investigation of the Effect of Fly Ash and Boron Waste Additive on Brick Structure Material

Hakan ÇAĞLAR^{1*}

^{1*} Kırşehir Ahi Evran University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Civil Engineering, Kırşehir, Turkey

Hakan ÇAĞLAR ORCID No: 0000-0002-1380-8637

* Corresponding Author: c.hakan@ahievran.edu.tr

(Alınış: 12.12.2020, Kabul: 04.03.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Keywords

Boron waste,
Fly ash,
Brick,
Clay,
Baking
temperature

Abstract: The aim of this study was to produce bricks using boron waste of Eskişehir Kırka region and fly ash waste of Seyitömer thermal power plant. At the end of the study, it was aimed to produce bricks that are more durable than normal bricks, resistant to freeze-thaw and having thermal insulation properties in terms of physical and mechanical. 10% boron waste was kept constant and 10%, 20% and 30% fly ash were used in the bricks produced within the scope of the study. The study was carried out in three phases. In the first phase, bricks were produced using 100% clay soil and named as reference samples. In the second phase, doped brick production was carried out. The samples produced were baked at 800, 900 and 1000 °C. In the third and final phase, physical and mechanical experiments were applied to the brick samples produced. As a result, it was determined that fly ash and boron waste were not harmful to brick production and the optimum temperature was 900 °C.

Uçucu Kül ve Bor Atığı Katkısının Tuğla Yapı Malzemesi Üzerine Etkisinin Araştırılması

Anahtar Kelimeler

Bor atığı,
Uçucu kül,
Tuğla,
Kil,
Pişirme
sıcaklığı

Öz: Bu çalışmada, Eskişehir Kırka bölgesi bor atığı ve Seyitömer termik santrali atığı uçucu kül kullanılarak tuğla üretimi hedeflenmiştir. Çalışma sonunda fiziksel ve mekanik açıdan normal tuğlaya göre daha dayanımlı, donma çözölmeye dayanıklı ve ısı yalıtım özelliğine sahip tuğla üretimi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında üretilen tuğlalarda %10 oranında bor atığı sabit tutulmuş, %10, %20 ve %30 oranlarında uçucu kül kullanılmıştır. Çalışma üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada, %100 oranında killi toprak kullanılarak tuğla üretilmiş ve referans numune olarak adlandırılmıştır. İkinci aşamada katkılı tuğla üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen numuneler 800, 900 ve 1000 °C'de pişirilmiştir. Üçüncü ve son aşamada ise üretilen tuğla numunelerine fiziksel ve mekanik deneyler uygulanmıştır. Sonuç olarak; uçucu kül ve bor atığının tuğla üretiminde herhangi bir sakınca olmadığı ve optimum sıcaklık 900 °C olduğu tespit edilmiştir.

1. INTRODUCTION

Brick are one of the oldest industries continuing since 8000 BC [1,2]. Brick is a block obtained by firing clay at certain temperatures [3]. It is exposed to 500-900 oC during the manufacture process, which could make the transformation of silicate crystal structure into amorphous compounds [4]. Because of the availability of raw materials, environmental compatibility and their advantageous acoustic, thermal and mechanical properties, they are used as construction material worldwide [5]. It is a building material with a wide range due to its use in building walls [6].

One of the major disadvantages of traditional brick production is the rapid consumption of fertile soils in brick manufacturing [7-10]. For this reason, some countries such as China limit the use of clay in brick production to solve this problem [11].

Some researchers have studied brick production using different waste materials. Waste such as glass and boron waste can be used as an additive in brick production. Bricks with high compressive strength and low water absorption rate were produced by using glass waste [12]. Agricultural wastes such as sugarcane, scrub ash and rice husk ash can also be used in clay bricks [13,14]. In addition to agricultural waste, Industrial wastes such as

fly ash, blast furnace slag, silica fume and boron waste are used as additives and substitutes in brick production [15].

Fly ash, which is an industrial waste used in the scope of the study and formed during the burning of coal, causes environmental pollution. Therefore, recycling of fly ash as a raw material for the construction industry has been a very beneficial solution in terms of economy and environment [16]. The properties of fly ash vary depending on the type of burnt coal, the type of combustion equipment used and the fly ash collection mechanism used [17]. Worldwide, approximately 600 million tons of fly ash is released annually [18]. It has been observed that substituting certain amounts of fly ash with clay improves the brick properties [19-27,1].

A large literature study has been conducted on the use of fly ash as a substitute in brick production [30, 25]. Bricks which is substitution fly ash have 10% lower unit weight compared to standard bricks [8]. Fly ash has the ability to increase compressive strength and reduce water absorption [6]. Leiva et al. [31] stated that the bricks showed a decrease in compressive strength with increased fly ash content below 1000 °C at baking temperature. Çiçek and Çinçin [30] revealed that the thermal properties of fly ash bricks were better than standard bricks. The edges of fly ash substituted bricks are smoother than standard bricks [8]. Fly ash can be used in brick production that is 10% lighter compared to clay bricks [31]. Fly ash also increases strength and decreases water absorption [32]. Many countries prefer fly ash instead of cement in concrete [33]. Also, standard brick production cost is 2% higher than fly ash substituted brick production cost [34]. Therefore, the use of fly ash in clay brick production is important in terms of cost effectiveness, strength and durability of bricks. In all of the studies, it has been observed that fly ash added bricks have higher water adsorption and lower wear resistance than standard bricks. It has also been reported that reinforced bricks have lower fire resistance and high porosity [35].

Another industrial waste used in the study is boron waste. Used boron waste was obtained from Kırka region of Eskişehir. It is understood that boron and boron wastes have a positive effect on the brick when substituted into the brick structure [36-40]. Boron wastes allow the use of cement, concrete, brick, tile etc. in the construction industry etc. [41, 42]. This enables both the assessment of boron wastes and the production of cheaper and quality building materials [42].

It was to produce bricks using boron waste of Eskişehir Kırka region and fly ash waste of Seyitömer thermal power plant. At the end of the study, it was aimed to produce bricks that are more durable than normal bricks, resistant to freeze-thaw and having thermal insulation properties in terms of physical and mechanical.

2. MATERIAL AND METHOD

2.1. Material

Fly Ash; The fly ash used in the study was obtained from Seyitömer thermal power plant. The chemical analysis of fly ash is presented in Table 1. The specific gravity of fly ash is 1.58 g/cm³, the specific surface area is 0.115 m²/g and the pH is 8.3. The fly ash used is also the type F fly ash, which has a lighter structure compared to other fly ashes.

Table 1. Chemical Analysis of Seyitömer fly ash [13]

| Component | (%) |
|--------------------------------|-------|
| SiO ₂ | 52,34 |
| CaO | 7,47 |
| MgO | 5,75 |
| Fe ₂ O ₃ | 9,30 |
| Al ₂ O ₃ | 18,91 |
| Na ₂ O | 0,88 |
| K ₂ O | 2,17 |
| SO ₃ | 2,25 |
| Na ₂ O (equ) | 2,31 |
| Free CaO | 0,20 |

Boron Waste; Boron waste used in the scope of the study and obtained from Eskişehir Kırka region, contain compounds such as SiO₂, iron oxide (Fe₂O₃) and magnesium oxide MgO, which has binding properties at the rate of 12.8% (Table 2).

Table 2. Chemical properties of boron waste [39]

| Component | Boron waste (%) |
|--------------------------------|-----------------|
| B ₂ O ₃ | 25 |
| CaO | 10,38 |
| MgO | 13,94 |
| SiO ₂ | 12,98 |
| Na ₂ O | 5,67 |
| Al ₂ O ₃ | 0,96 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,20 |
| K ₂ O | 0,72 |
| Loss of Ignition | 29,15 |

Clay; Clay soil used as the main material in the study and whose clay mineralogy was given in Table 3 was obtained from Taşköprü district of Kastamonu province.

Table 3. Clay Mineralogy

| Element | Weight (%) |
|---------|------------|
| O | 21.83 |
| Mg | 1.87 |
| Al | 8.67 |
| Si | 38.49 |
| Nb | 5.21 |
| K | 2.06 |
| Ca | 14.95 |
| Fe | 6.93 |

Mixing Water; For the mixing water used in the production of samples, drinking water of the mains water of Boyabat district of Sinop province was used.

2.2. Method

Production of Brick Samples; The soils obtained from Taşköprü district of Kastamonu province was brought to the factory site. The clay soil was rested for a month at the factory site for the disposal of the salt and carbonated content contained in it. Soil samples were taken while

taking care not to mix plant roots into the soil. The clay soil sample has been brought to the desired sizes after the resting process has been completed. Prior to brick production, all materials were dried at 105 ± 5 °C in drying oven until they became oven dry. Then the mixtures were prepared according to the recipe given in Table 4.

Table 4. Mixture recipe

| | Clay Soil (%) | Fly Ash (%) | Boron waste (%) |
|--------|---------------|-------------|-----------------|
| REF | 100 | 0 | 0 |
| 10% FA | 90 | 10 | 10 |
| 20% FA | 80 | 20 | 10 |
| 30% FA | 70 | 30 | 10 |

First, dry materials were mixed. Then water was added with the sprinkler method at the rate of 15%. In order for the mixture to be homogeneous and not to be lumped, the dough formed by spraying water on the sample in 3 stages was constantly mixed [45].

The obtained mixture was poured into special moulds of 4x4x16 cm with the help of a manual pressure press (Figure 1a). The samples removed from the moulds were dried for 24 hours in semi-open space and then for 24 hours in the drying oven at 100 °C in order to avoid cracking during baking (Figure 1b).

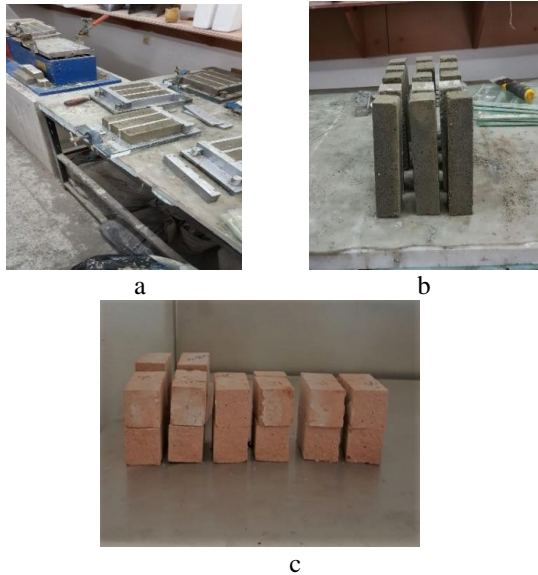


Figure 1. a) Pouring the samples into the moulds, b) Keeping the samples in a semi-open space, c) Bringing the samples to room temperature

After drying, the samples were baked at 3 different temperatures: 800, 900 and 1000 °C. After the baking process is completed, the samples are provided to reach room temperature (Figure 1c).

Experiments Applied to Samples; Dry unit volume weight, water absorption, porosity, freeze-thaw effect, determination of thermal conductivity in solid bodies were conducted for determination of physical properties of brick samples with fly ash and boron waste additive. In order to determine the mechanical properties of brick samples, compressive strength and flexural strength tests were applied.

3. RESEARCH RESULTS AND ASSESSMENT

3.1. Dry Unit Volume Weight

In Figure 2, dry unit volume weights of reference, 10% boron waste and fly ash doped samples were compared. When the figure is examined, it is seen that the dry unit volume weights of the samples vary between 1.71-1.88 g/cm³. It was observed that dry unit volume weights decreased as the amount of fly ash increased in brick samples. The reason for this is thought to be that the density of fly ash being less than clay. There is no limitation for the unit volume weight of the bricks at TS 705 [46]. However, in order to reduce the total weight of the building, the use of bricks with less unit volume weight will decrease the dead load of the building.

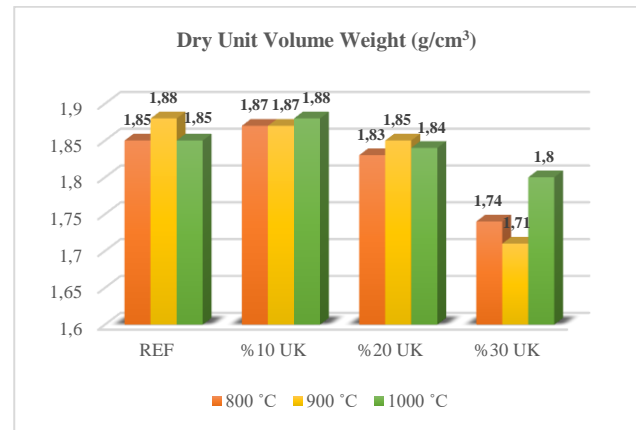


Figure 2. Dry unit volume weight values of samples

3.2. Water Absorption (Weight)

Water absorption is linked to the volume of open pores (cavities) that are associated with the surface of the samples. As the sintering process continues, the cavities on the brick surface turn into a round form and become smaller compared to the solid form. After the sintering process, the cavities become disconnected with the outer surface and closed. At temperatures above 900 °C, sintering occurs in a fast and glassy phase. The obtained glassy phase closes the pores and disconnects them from other pores. This situation can be explained as the increase in temperature causes the decrease in the amount of water absorption [47].

When the water absorption values of brick samples is examined, it is seen that the water absorption rate decreases with increasing temperature in general. With the increase in fly ash added rates, it is observed that there is also an increase in water absorption rates. It is observed that the amount of water absorption is high at low temperature (800 °C) and the amount of water absorption increases as the fly ash contribution rate increases. More water absorption at 800 °C is thought to be due to insufficient sintering (Figure 3). According to TS 705 standard, the water absorption rate of brick material should be 18% maximum. It is observed that the samples produced within the scope of the study are below this value.

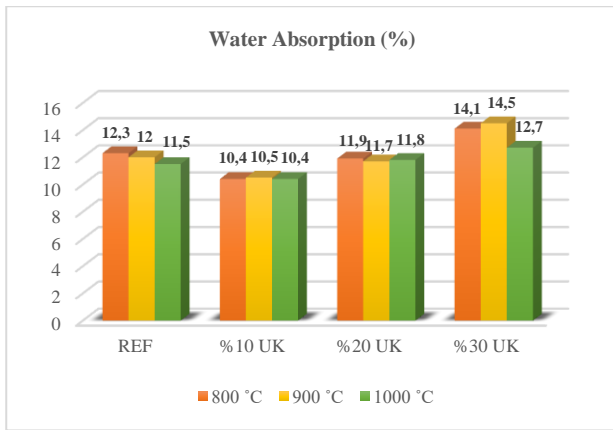


Figure 3. Water absorption values of samples

3.3. Porosity

When the porosity values of the brick samples are examined in Figure 4, it is seen that the reference sample is 35% at 800 °C, 28,6% at 900 °C and 27,2% at 1000 °C. It is observed that a decrease in porosity amounts occurred with an increase in the baking temperature of the samples. The reason for this is thought to be that sintering at low temperature does not occur adequately, and as the temperature increases, the glassy phase ratio within the brick increases, causing it to decrease the porosity value. Also it was found that the use of fly ash at the rate of 10% and boron waste at a rate of 10% reduced porosity values, fly ash at a rate of 20%, boron waste at the rate of 10%. Fly ash at a rate of 30%, boron waste at a rate of 10% have been determined to increase porosity value. The reference sample baked at 800 °C with a ratio of 35% has the highest porosity, while the sample with 10% fly ash baked at 1000 °C with a ratio of 23,5% is observed to have the lowest porosity.

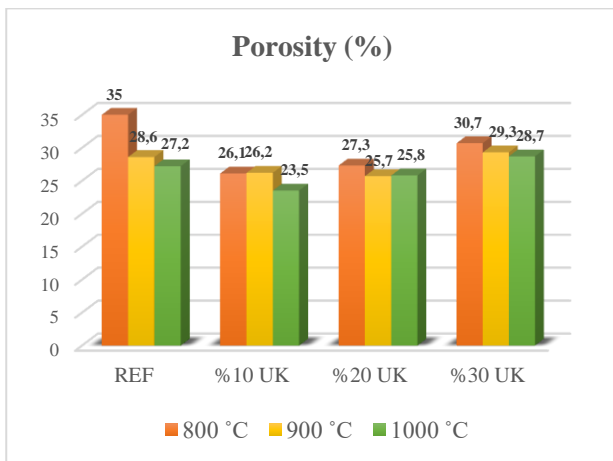


Figure 4. Porosity values of samples

3.4. Effect of Freeze-Thaw on Compressive Strength

Boron waste and fly ash doped brick samples were subjected to freeze-thaw test and compressive strength test was also applied on the samples. The effect of freeze-thaw on compressive strength of doped samples was determined according to the data obtained.

No dispersal event occurred in any sample after the experiment. When the samples given in Figure 5 are examined, it is seen that the highest value was obtained from the reference sample baked at 1000 °C. When all samples were examined, it was determined that the best results were obtained from samples baked at 1000 °C. In addition, the effect of freeze-thaw on pressure decreased as the amount of fly ash increased. The lowest results were obtained from samples baked at 800 °C.

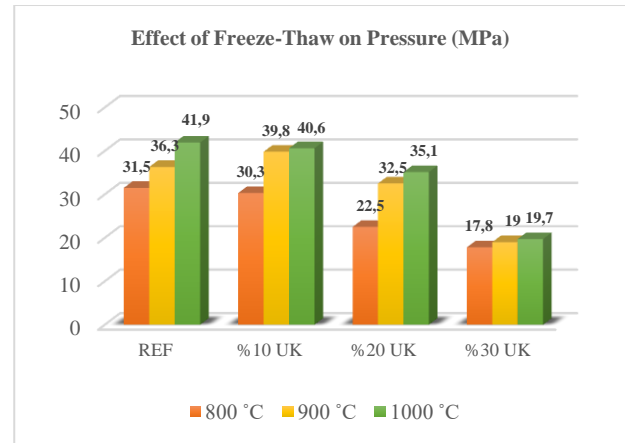


Figure 5. The values about the effect of freeze-thaw on pressure of samples

3.5. Determination of Thermal Conductivity in Solid Bodies

The thermal conductivity values of the brick samples are presented in Figure 6. On the graphic, the highest thermal conductivity was found to belong to the reference sample baked at 0.94 W/mK and 800 °C. When the samples were examined one by one, it was determined that the increase in temperature lowered the thermal conductivity. The increase in the amount of fly ash used in the samples resulted in a decrease in the thermal conductivity of the samples. The best result was obtained from 30% fly ash+10% boron waste substituted samples baked at 1000 °C. This is due to the fact that fly ash and boron waste are more hollow, light and low density than clay.

It has been reported that the thermal conductivity of brick building materials varies between 0.50-0.96 W/mK in TS 825 standard. It was observed that the data obtained as a result of the experiment conducted within the scope of the study was even lower among these values.

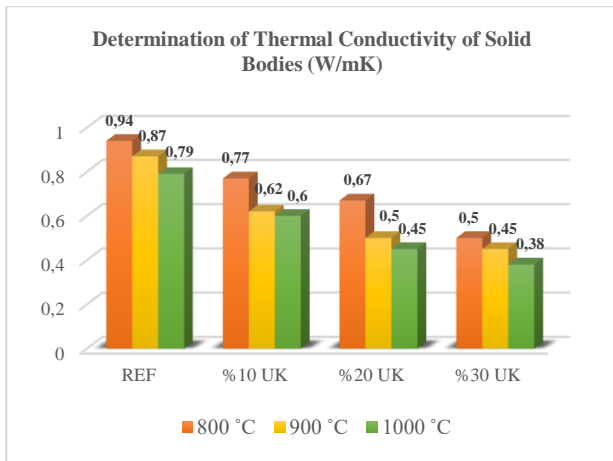


Figure 6. Thermal conductivity values of solid bodies

3.6. Compressive Strength

The compressive strength, which is the most important feature of the brick, is an important parameter used in order to meet the engineering quality of the building materials. Therefore, it is important to determine the compressive strength of the brick [48].

The compressive strength values of the produced brick material are presented in Figure 7. On the graphic, it is seen that the best results belong to the reference sample. The highest value was obtained from brick samples baked at 1000 °C in the reference sample. When the doped samples are examined, the best result is obtained with 10% fly ash and 10% boron waste. With the increase in the amount of fly ash, a decrease in compressive strength occurs. When the baking temperature is considered, the compressive strength of the samples is increased by increasing of the temperature. The lowest compressive strength value was obtained at 800 oC with 19.7 MPa and with the addition of 10% boron waste 30% fly ash.

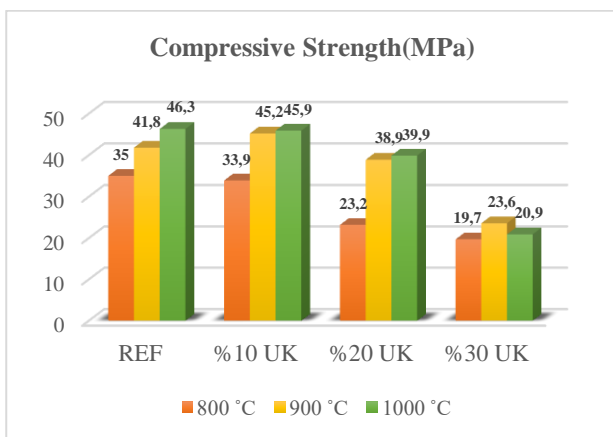


Figure 7. Compressive strength values of samples

3.7. Flexural Strength

When the flexural strength values of the brick sample given in Figure 8 were examined, it was observed that there is an inverse ratio between the amount of fly ash and the flexural strength values. In other words, the

increase in the amount of fly ash has resulted in a decrease in flexural strength. The highest value was obtained from reference sample baked at 6.67 MPa and 1000 °C, while the lowest value was obtained from sample doped with 30% fly ash, 10% boron waste baked at 800 °C with 2.83 MPa.

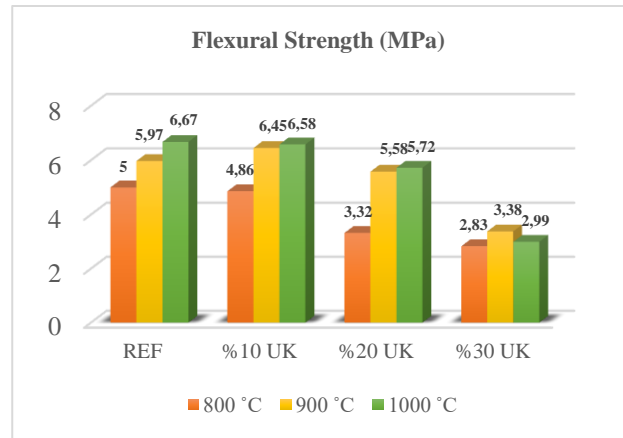


Figure 8. Flexural strength values of samples

4. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

In the study, boron waste, which is industrial waste, was kept constant at a rate of 10% and bricks were produced by adding fly ash into the clay soil at certain ratios. The prepared semi-finished product was baked at 800, 900 and 1000 °C. Physical and mechanical experiments were performed on the brick samples and the results were presented in items.

When the results obtained from all physical and mechanical tests are evaluated; It was determined that by firing the samples at high temperatures, porosity and water absorption values decreased, dry weight per unit of volume values increased, compressive strengths increased and thermal conductivity values decreased as a result of freeze-thaw. According to these results, considering the tests performed at 3 different temperatures and the cost, it was concluded that the optimum cooking temperature was 900 degrees.

When the effect of FA and boron wastes is evaluated; It was determined that as the amount of FA increased, the dry weight per unit of volume values decreased and the water absorption and porosity values increased. For these reasons, it has been determined that as the amount of FA increases, not only the compressive strength due to freeze-thaw, but also normal compressive strengths and flexural strengths decrease. However, the increase in the amount of FA created a tendency to decrease the thermal conductivity due to the increase of porosity and increased the thermal insulation property of the material. According to all these results, even if the physical properties deteriorate as the amount of FA increases and the mechanical properties decrease accordingly, the results obtained meet the minimum requirements that should be in the standard. Therefore, using 30% FA, 10% boron waste additive ratio, waste evaluation and reduction of disposal costs, reduction of environmental

pollution, etc. it has been concluded that it will provide various advantages.

REFERENCES

- [1] Rahman, M. E., Ong, P. J., Nabinejad, O., Islam, S., Khandoker, N. A. N., Pakrashi, V. & Shorwordi, K. M. Utilization of blended waste materials in bricks, *Technologies*. 2018; 6(1): 20.
- [2] Houben, H. & Guillaud, H. *Earth construction: A Comprehensive Guide*, London; 1994.
- [3] Niroumand, H., Zain, M.F.M. & Alhosseini, S.N. The influence of nano-clays on compressive strength of earth bricks as sustainable materials. *Procedia – Social and Beh. Sci.* 2013; (89): 862–865.
- [4] Zhao, Y., Gao, J., Liu, C., Chen, X., XuSong, Z. The particle-size effect of waste clay brick powder on its pozzolanic activity and properties of blended cement. *J. Cle. Prod.* 2020; 242 118521: 1-10.
- [5] Abjaghrou, H., Bourret, J., Tessier-Doyen, N., Fassier, M., Bruneaux, M.A., Lacanilao, A. et al. Incorporation of Wooden Furniture Wastes in Fired Clay Bricks for Improved Thermal Insulation: A Feasibility Study. *Waste Bio. Val.* 2020; 11: 6943-6951.
- [6] Shakir, A. A., Naganathan, S. K. & Mustapha, K. N. B. Development of bricks from waste material: A review paper. *Aust. J. Bas. and App. Sci.* 2013; 7(8): 812-818.
- [7] More, A., Tarade, A. & Anant, A. Assessment of suitability of fly ash and rice husk ash burnt clay bricks. *Int. J. Sci. Res. Pub.* 2014; 4(7): 1–6.
- [8] Pawar A. & Garud D. Engineering properties of clay bricks with use of fly ash. *Int. J. Res. Eng. and Tech.* 2014; 3(9): 75–80.
- [9] Kumar R. & Hooda N. An experimental study on properties of fly ash bricks. *Int. J. Mec. Eng. Rob. Res.* 2014; 2 (9): 56–67.
- [10] Chidiac, S.E. & Federico L.M. Effects of waste glass additions on the properties and durability of fired clay brick, *Canadian J. Civ. Eng.* 2007; 34(11): 1458–1466.
- [11] Chen Y., Zhang Y., Chen T., Zhao Y. & Bao S. Preparation of eco-friendly construction bricks from hematite tailings, *Const. and Buil. Mat.* 2001; 25 (4): 2107–2111.
- [12] Djangang C., Kamseu E., Elimbi A., Lecomte G. & Blanchart P. Net-shape clay ceramics with glass waste additive, *Mat. Sci App.* 2014; 5: 592–602.
- [13] Kazmi, S.M.S., Abbas, S., Saleem, M.A., Munir, M.J. & Khitab, A. Manufacturing of sustainable clay bricks: Utilization of waste sugarcane bagasse and rice husk ashes. *Const. and Buil. Mat.* 2016a; 120: 29–41.
- [14] Kazmi, S.M.S., Abbas, S., Munir, M.J. & Khitab, A. Exploratory study on the effect of waste rice husk and sugarcane bagasse ashes in burnt clay bricks, *J. Buil. Eng.* 2016b; 7: 372–378.
- [15] Çağlar H., Çağlar A., Korkmaz S.Z., Demirel B. & Bayraktar O.Y. Comparison of the Physical and Mechanical Properties of Manually Produced Clay Bricks and Fabricated Clay Bricks Used in the Construction of Traditional Kastamonu Houses. *Fırat Uni. J. Eng. Sci.* 2018; 30 (2): 39-48.
- [16] Tokyay M. & Çetin B. Strength and water absorption properties of volatile culvert bricks applied with pressed steam cure. *Technical Journal, TMMOB Const. Eng., Chamber Publishing.* 1991; 2: 385–394. Istanbul, Turkey.
- [17] Tütünlü F. & Atalay Ü. Utilization of fly Ash in Manufacturing of Building Bricks, *International Ash Utilization Symposium*, Center for Applied Energy Research, University of Kentucky, Lexington, Kentucky, USA; 2001.
- [18] Murathan A., Asan A. & Abdulkereem T.A. Evaluation of environmental wastes on building materials, *Gazi Uni. J. Eng. Arc.* 2013; 28 (2): 409–416.
- [19] Xu L., Gou W., Wang T. & Yang N. Study on fired bricks with replacing clay by fly ash in high volume ratio, *Const. Buil. Mat.* 2005; 19: 243–247.
- [20] Bentli, İ., Uyanık, A.O., Demir, U., Şahbaz, O. Use Of Fly Ashes Of Seyitömer Thermal Power Plant As Additive Raw Material for Bricks. *Turkey 19. National Mining Congress and Fair*, Izmir, 2005.
- [21] Abalı, S., & Şahin, B. Investigation of the usage possibilities of thermal power plant wastes in floor tile manufacturing. *Çanakkale Onsekiz Mart University, Industrial Ceramics Department Lecture Notes*, 2006.
- [22] Aksin, E. Evaluation of industrial wastes in brick and tile production, [Master's Thesis], İzmir: Dokuz Eylül University; 2007.
- [23] Çinçin, Y. Investigation of lightweight brick production with lime additive from lignite-burning thermal power plant fly ashes. [Master's Thesis], İzmir: Dokuz Eylül University; 2015.
- [24] Söylemez, M., Demir A. & Onar, A.F. Effects of burning temperature on some physical properties of brick. *Celal Bayar Uni. J. Phy. Sci.* 2011; 7(2): 71-80.
- [25] Abbas, S., Saleem, M. A., Kazmi, S.M.S. & Munir, M. J. Production of sustainable clay bricks using waste fly ash: mechanical and durability properties. *J. Buil. Eng.* 2017; 14: 7-14.
- [26] Dağcı, F. Effects of different component ratios and production temperatures on the brick properties produced. [Master's Thesis], Antalya: Akdeniz University; 2018.
- [27] Demir, İ., Başpınar M.S., Görhan, G. & Kahraman, E. Preliminary investigation of the useability of Seyitömer fly ash in building brick production. *Afyon Kocatepe University J. Phys. Sci, Special Issue.* 2018: 131-137.
- [28] Leiva C., Arenas C., Alonso-Farinas B., Vilches L.F., Peceno B. & Rodriguez-galan M. Characteristics of fired bricks with co-combustion fly ashes, *J. Buil. Eng.* 2016; 5: 114–118.
- [29] Çiçek, T. & Çinçin, Y. Use of fly ash in production of light-weight building bricks. *Const. Buil. Mat.* 2009; 94: 521–527.
- [30] Bouzoubaa, N. & Lachemi M. Self-compacting concrete incorporating high volumes of class fly

- ash: preliminary results, *Cem. and Conc. Res.* 2001; 31(3): 413–420.
- [31] Pawar A, Garud D. Engineering properties of clay bricks with use of fly ash. *Int. J. Res. Eng. Tech.* 2014; 3 (9): 75–80.
- [32] Shakir, A. A., Naganathan, S. K., Mustapha, K. N. B., (2013). Development Of Bricks From Waste Material: A Review Paper. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 7(8), 812-818.
- [33] Li, Y. & Lin, Y. Compacting Solid Waste Materials Generated in Missouri to Form New Products. Final Technical Report to the Solid Waste Management Program. Missouri Department of Natural Resources (MDNR) (Contact no. MDNR 00038-1), Capsule Pipeline Research Center, University of Missouri-Columbia, USA, 2002.
- [34] Kumar, S. A perspective study on fly ash–lime–gypsum bricks and hollow blocks for low cost housing development. *Cons. and Buil. Mat.* 2002; 16(8): 519-525.
- [35] İnce, A.S. Investigation of the use of coal char and boron in brick structure, [Master's Thesis], Kütahya: Dumlupınar University; 2019.
- [36] Kavas, T., Önce, G. The Useability of Concentrator Wastes of Etibor Kırka Borax Plant as Melting Element In Press Brick Production. http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/41c377c73c0efed_ek.pdf.
- [37] Demir, İ. & Orhan, M. (2018). Evaluation of Boron Wastes in Building Material Production. http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/5f441cd5f43eb2f_ek.pdf.
- [38] Aydın, O. Investigation of the use of thermal power plant waste ash in building brick production. [Master's Thesis], Afyonkarahisar: Afyon Kocatepe University; 2007.
- [39] Ertaş, N.Y. Evaluation of some waste materials in brick production. [Master's Thesis], Kütahya: Dumlupınar University, 2017.
- [40] Şahin, Ş.E. Investigation of the use of raw and calcined colemanite wastes in brick construction. [Master's Thesis], Kütahya: Dumlupınar University, 2008.
- [41] Batar, T. & Köksal, N.S. Production and Characterization of Waste Boron, Waste Paper and Perlite Additive Plaster Material. *Ecology Journal.* 2009; 18 (72): 1-9.
- [42] Aldakshe AMA, Çağlar H, Çağlar A, Avan Ç. The Investigation of Use as Aggregate in Lightweight Concrete Production of Boron Wastes of Eskişehir-Kırka Region, *Civil Eng. J.* 2020;7(6):1328-1335.
- [43] Çimen S, Çağlar H, Çağlar A, Can Ö. Effect of Boron Wastes on the Engineering Properties of Perlite Based Brick, *Turkish J. of Nature and Sci.* 2020;9(2):50-56.
- [44] Çağlar, A. Experimental research on improving the properties of clay bricks used in traditional Kastamonu houses with the contribution of boron waste. [Doctoral Thesis], Konya: Selçuk University; 2018.
- [45] Gençel, G. Characteristics of fired clay bricks with pumice additive. *Ene. and Buil.* 2015; (102): 217-224.
- [46] TS 705, (1985). Solid Bricks-Filled For Walls and With Vertical Holes. Turkish Standards Institute, Ankara.
- [47] Milheiro F.A.C., Freire, M.N., Silva, A.G.P & Holanda, J.N.F. Densification Behaviour of a Red Firing Brazilian Kaolinitic Clay. *Ceramics Int.* 2005; 31: 757-763.
- [48] Mahllawy, M.S. Characteristics of Acid Resisting Bricks Made From Quarry Residues and Waste Steel Slag. *Const. and Buil. Mat.* 2008; 22: 1887-1896.



Agrega Kil Oranının Betonun Mekanik Özelliklerine Etkilerinin Araştırılması

Güven GÜRBÜZ^{1*}, Ferhat AYDIN²

¹ Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Hendek Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Sakarya, Türkiye
² Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye
 Güven GÜRBÜZ ORCID No: 0000-0001-7243-4391
 Ferhat AYDIN ORCID No: 0000-0001-9472-8366

*Sorumlu yazar: guvengurbuz@subu.edu.tr

(Alınış: 13.12.2020 Kabul: 10.05.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Anahtar Kelimeler
 Kil,
 Beton,
 Dayanım,
 Basınç,
 Eğilme

Öz: Agregada içerisinde bulunan farklı oranlardaki kil miktarının betonun mekanik özelliklerini nasıl etkilediğini belirlemek amacıyla bu çalışmada, geleneksel beton üretiminde kullanılan agregalarda bulunan kil içeriğinin beton özellikleri üzerine etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Bu amaçla referans beton numuneleri ile birlikte çeşitli oranlarda ince agregada miktarının %5, %10, %15, %20'si oranında kil ikameli beş seri halinde standart küp ve kiriş numuneler üretilmiştir. Çalışmalar kapsamında, üretilen taze betonlarda (çökme) kıvam, sertleşmiş beton küp numunelerinde ise ultrases geçiş hızı ile basınç dayanım deneyleri ve kiriş numunelerinde eğilme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deney sonuçlarına göre taze betonda kil oranının artışı ile işlenebilirlik düzeyinin arttığı, sertleşmiş betonda ise kil miktarı arttıkça basınç ve eğilme dayanımlarında büyük oranda azalma olduğu belirlenmiştir. Kil-silt miktarının artmasıyla taze betonda çökme miktarının %43'e varan oranlarda arttığı, basınç dayanımının %39 ve eğilme dayanımının ise %84 oranında azaldığı tespit edilmiş olup ultrases geçiş hızlarının da artan kil oranı ile birlikte azaldığı belirlenmiştir.

144

Investigation of the Effects of Aggregate Clay Rate on Concrete Mechanical Properties

Keywords
 Clay,
 Concrete,
 Strength,
 Compression,
 Flexure

Abstract: In this study, the effects of clay content in aggregates used in conventional concrete production on concrete properties were experimentally investigated in order to determine how the amount of clay in different ratios in the aggregate affects the mechanical properties of concrete. For this purpose, five series of standard cube and beam samples with clay substitution of 5%, 10%, 15%, 20% of the fine aggregate amount in various proportions were produced together with the reference concrete samples. Within the scope of the studies, consistency tests were carried out on fresh concrete (slump), and compression strength tests with ultrasonic pulse velocity on hardened concrete cube samples and bending tests on beam samples were performed. According to the results of the experiments, it was determined that the workability level increases with the increase of the clay ratio in fresh concrete, and the pressure and bending strengths of the hardened concrete decrease significantly as the amount of clay increases. It has been determined that with the increase in the amount of clay-silt, the amount of settling in fresh concrete increased up to 43%, the compressive strength decreased by 39% and the bending strength decreased by 84%, and it was determined that the ultrasonic pulse velocity decreased with the increasing clay ratio.

1. GİRİŞ

Günümüzde üretilen geleneksel betonların hacimce yaklaşık %70'ini agregalar oluşturması sebebiyle betonun hem dayanımını hem de dayanıklılığını önemli ölçüde etkilemektedir. Bundan dolayı agregalar fiziksel, kimyasal, mekanik, mineralojik ve petrografik yapıları itibarıyla beton üretimine uygun özelliklerde olmalıdır.

Bu, beton üretiminde kullanılan kırmataş agregaların elde edildiği ana kayaların özelliklerinin doğru bir şekilde tespiti ile mümkündür [1-2]. Beton üretiminde farklı ocaklardan sağlanan değişik türde agregalar kullanılabilir. Taş ocaklarından çıkartılan taşların, çeşitli araçlarla kırılarak istenilen boyutlara getirilmesiyle oluşan agregalara kırmataş agregada denilmektedir [3]. Beton üretiminde kullanılan ince

agregalar yakın zamanlara kadar doğal kaynaklardan temin edilmekte iken beton üretimindeki artışa bağlı olarak doğal kaynaklar ince agregaya temininde yetersiz kalmıştır [4-5]. Özellikle ince agregaya içerisinde bulunan veya sonradan çökerek agregaya karışan kil-silt gibi ince maddeler betonların bazı mekanik özelliklerini düşürmektedir. Genellikle doğal agregaya içerisindeki, kil-silt betonlar için büyük bir problem oluşturmaktadır ve bu problemi ortadan kaldırmak için doğal agregalar çeşitli yıkama işlemleri uygulanmaktadır. Ancak kırmataş agregalar için yıkama işlemleri çoğu zaman yapılmamaktadır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda yapay agregalarda da betonu olumsuz yönde etkileyecek miktarda kil-silt bulunduğu tespit edilmiştir. Kil-silt miktarı Amerikan standardında [6] ince agregada 0.075 mm elekten geçen malzeme miktarının en fazla %7, iri agregaya için ise en fazla %1 olabileceğini, TS 706 EN 12620, 2009'de [7] %4 olarak sınırlandırılmış olmasına rağmen genellikle yapay agregaların içerisinde bulunan kil-silt miktarı dikkate alınmamaktadır.

Ayrıca TS 706 EN 12620 standardındaki değerlerin aşılması halinde TS EN 933-9'a göre [8] Metilen mavisi deneyi ve/veya TS EN 933-8'e göre [9] kum eşdeğerliliği deneyi yapılması tavsiye edilmiştir [10]. Konu ile ilgili Olanitör 2012 yılında yaptığı deneysel çalışmalarda [11] %10 oranındaki kilin beton dayanımının yaklaşık yarısına kadar düşürebileceğini ifade etmiştir. İpek ve arkadaşlarının 2003 yılında yaptıkları çalışmada [12] düşük oranlar için kil-silt miktarının beton basınç dayanım değerini fazla etkilemezken, %2'den daha yüksek oranların basınç dayanımını yaklaşık olarak %25 oranında düşürdüğünü tespit etmişlerdir.

Kadiroğlu yaptığı çalışmada [13] betona zarar verecek orandaki kil-siltin, çimento hamuru ile agregalar arasındaki aderansı zayıflattığını ve bunun dayanımı olumsuz yönde etkilediğini yine su içerisinde fazla miktarda kil bulunmasının hacim değişikliklerine yol açabildiğini ve bunun betonun durabilitesini olumsuz yönde etkilediğini tespit etmiştir. Küçük [14] beton agregalarında fazla miktarda kil bulunmasının, karışım suyu ve priz süresini artırdığı, çimento hamuru ile agregaya ara yüzeyi arasındaki aderansı azalttığını, yük etkisinde betonun bu ara yüzeyden çatlamasına yol açtığını, kilin bünyesine su işledikçe hacim genişlemesi yaparak betonu çatlattığını belirtmiştir. Ayrıca bazı kil türlerinin çimento bileşikleri ile zararlı kimyasal reaksiyona girerek betonu olumsuz yönde etkilediği belirtilmiştir.

Benjeddou ve arkadaşlarının 2017 yılındaki çalışmalarında [15] betondaki çok ince malzeme muhtevasının artmasının işlenebilirlik ve kıvam kaybı gibi sorunlara neden olduğunu belirtmektedir. Benzer şekilde başka çalışmalarda da [16, 17, 18] kırmataş içerisindeki ince madde oranının beton özelliklerini etkileyen bir unsur olup betondaki içeriğinin belli oranlarda olması gerektiğine vurgu yapılmıştır. Taş kırma tesislerinde tekniğine uygun üretim yapılmaması kırma kum içerisindeki kil ve silt miktarını artırmakta ve kırma kum kalitesini bozmaktadır. Agregaya ocağındaki çökel kaya tabakaları arasında olabilecek kil bantlarının kırılan kayalardan ayrılmadan doğrudan kırıcılara

verilmesi sonucunda by-pass olarak adlandırılan topraklı malzeme içindeki kil ve silt ince dağılmış olması sebebiyle kırma kuma karışabilmektedir. Bu sebeple taş kırma işletmeleri betonda kullanılacak agreganın üretimi esnasında toprağı kayaktan ayıracak ön elek sistemlerini kurması ve agregaya ocaklarında alınacak ilave tedbirler ile bu gibi istenmeyen malzemelerin kırma kuma karışmasını engellemelidirler [10].

Bu çalışmada kilin yukarıda bahsi geçen zararları, çeşitli oranlarda kil katkılı betonlar üretilerek taze ve sertleşmiş haldeki bazı özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan agregalar yıkama işlemine tabi tutularak kilden tamamen arındırılmıştır. Kil oranı hacimce %0, 5, 10, 15, 20 olacak şekilde ince agregaya miktarına göre ikame edilerek kullanılmıştır. Üretilen betonların taze halde kıvamı, sertleşmiş haldeyken küp numunelerde basınç dayanımı ile ultrases geçiş hızları kırış şeklindeki numunelerde ise eğilme dayanım değerlerini nasıl etkilediği incelenmiştir. Literatüre eğilme dayanımlarındaki dayanım kayıplarının da olduğu Türkiye bir çalışma kazandırılmıştır.

2. MALZEME VE METOT

2.1. Malzeme

Çalışmalarda kullanılan agregalar aynı kaynaktan elde edilen %100 Kireçtaşı kırmataş ve kum agregaları kullanılmıştır. Agregalar deneylerde kullanılmadan önce 0,063 mm'lik elekten elenerek tamamen kil-silt karışımından arındırılarak kullanılmıştır.

Çimento TS EN 197-1'e uygun olarak [19] Ankara Çimento Fabrikası (Limak Çimento Sanayi Tic. A.Ş.) tesisinde üretilen Cem II 32,5R Portland Kompoz Çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Cem II 32,5R Portland Kompoz Çimento Özellikleri

| Özellikler | CemII32,5R | Standart | Birim |
|-----------------------------|------------|-------------------------|--------------------|
| Priz Başlangıcı | 224 | Min. 75 | Dakika |
| Priz Sonu | 290 | - | Dakika |
| Hacim Genleşmesi | 0,98 | Max. 10 | mm |
| Özgül Yüzey (Blaine) | 4447 | - | cm ² /g |
| Litre Ağırlığı | 870 | - | g/l |
| 2 Günlük Dayanım | 19 | Min. 10 | Mpa |
| 28 Günlük Dayanım | 39 | Min. 32,5- Max. 52,5 | Mpa |
| SO₃ | 2,57 | Max. 3,5 | % |
| Cl | 0,0126 | Max. 0,1 | % |

Deneylerde kullanılan kil-silt, laboratuvarında ince agreganın 0,063 mm'lik elekten yıkanarak elenmesi ile elde edilmiştir. Elekten geçen malzeme etüvde kurutulduktan sonra hazır hale getirilmiş ve su olarak şebeke suyu kullanılmıştır.

Agregalar üzerinde; özgül ağırlık ve su emme oranı tayini TS 3526 [20] deney metotları uygulanmıştır. Agregaların yapılan deneylerde ince agregaya ait su emme oranı %1,2 olarak, kuru özgül ağırlık 2,70 kg/dm³

ve doygun kuru yüzey özgül ağırlık değeri $2,74 \text{ kg/dm}^3$ olarak tespit edilmiştir.

2.2. Metot

Agrega içerisinde bulunan kil oranının betonun çökme, basınç, eğilme ve ultrases geçiş hızına etkilerine belirlemek amacıyla beton karışımında kullanılan ince agregaya hacimce %5-10-15-20 oranında kum ikameli kil katılarak ilgili deneyler 28 günlük kür sonunda gerçekleştirilmiştir.

Taze betonun yeterli düzeyde sıkıştırılabilmesi, ayrışma olmaksızın taşınması, yerleştirilmesi ve yüzeyine gerekli işlemlerin yapılabilmesi için, kıvamının istenilen miktarda olması gereklidir. Bu özelliklerin kontrolü için Kıvam (Çökme) deneyi yapılmıştır.

Basınç dayanımı betonun en önemli mekanik özelliği olmasının yanı sıra basınç dayanım deneyi, beton kalitesinin kontrol ve tespitinde kullanılan önemli bir metot olup deneylerde 15 cm'lik küp numuneler üretilerek test edilmiştir.

Eğilme dayanımı betonun çekme mukavemetinin tespitinde kullanılan bir deney yöntemi olup deneylerde genellikle kare kesitli kiriş numuneler kullanılmaktadır. Farklı kare kesitli boyutlar kullanılmakla beraber deneylerde 7,5x7,5x50 cm boyutlu kiriş numuneler test edilmiştir. Bu yöntemde donatısız kirişlerin tek veya simetrik iki noktasal yük altında denenmeleri esastır. Deney metodu tek eksenli yük hali olup mesnet açıklığı 46 cm olarak belirlenmiştir.

Beton karışım hesabı, TS 802 [21] Beton karışım hesabı esasına göre yapılmıştır. Karışımda kullanılan S/Ç oranı 0,51 ve beton sınıfı C20/25 olarak belirlenmiştir. Beton karışım oranları ve kil-silt miktarları Tablo 2'de verilmiştir. Her oran için her numune türünden üçer adet hazırlanmış ve bu numuneler 24 saat sonra kalıplardan çıkarılarak deneylerin yapılacağı güne kadar 20 °C sıcaklıktaki kirece doygun su içinde bekletilmiştir. Basınç ve ultrases deneyleri için 15 cm'lik küp numuneler, eğilme deneyi için 7,5x7,5x50 cm'lik kiriş numuneler kullanılmıştır.

Tablo 2. Beton malzeme bileşenlerinin miktarı

| Kil-Silt Oranı (%) | Kıvam Değerleri (cm) | Değişim Oranı (%) |
|--------------------|----------------------|-------------------|
| 0 | 14,0 | 0 |
| 5 | 16,5 | +17,9 |
| 10 | 17,0 | +21,4 |
| 15 | 18,0 | +28,6 |
| 20 | 20,0 | +42,9 |

Taze beton deneylerinden kıvam belirleme deneyinde TS EN 12350-2 [22] sertleşmiş betonun basınç dayanımının saptanmasında TS EN 12390-3 [23], Eğilme dayanım değerinin saptanmasında TS EN 12390-5 [24] standardı kullanılmıştır. Şekil 1'de numunelere basınç, eğilme ve ultrases geçiş hızı testi uygulaması görülmektedir.



Şekil 1. Basınç, Eğilme ve Ultrases geçiş testleri

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. Kıvam Deneyi Sonuçları

Kil ve silt ilave edilen beton numunelerde, kil-silt miktarı arttıkça çökme miktarı değerinin arttığı tespit edilmiştir (Tablo 3). Kil-silt miktarı ile çökme miktarı arasında doğru orantı söz konusudur. Kil-silt miktarının artışı ile taze betonun işlenebilirlik özelliğine yapmış olduğu olumlu katkı olarak söylenebilir.

Tablo 3. Kıvam değerleri

| Kil-Silt Oranları (%) | Çimento (kg) | Kil-Silt (kg) | Su (kg) | Kum (kg) | I Nolu | | II Nolu | |
|-----------------------|--------------|---------------|---------|----------|------------|------------|---------|--|
| | | | | | Mıdır (kg) | Mıdır (kg) | | |
| 0 | 374,0 | 0 | 191,1 | 786,0 | 663,0 | 480,0 | | |
| 5 | 374,0 | 25,1 | 191,1 | 746,7 | 663,0 | 480,0 | | |
| 10 | 374,0 | 50,2 | 191,1 | 707,4 | 663,0 | 480,0 | | |
| 15 | 374,0 | 75,3 | 191,1 | 668,1 | 663,0 | 480,0 | | |
| 20 | 374,0 | 100,4 | 191,1 | 628,8 | 663,0 | 480,0 | | |

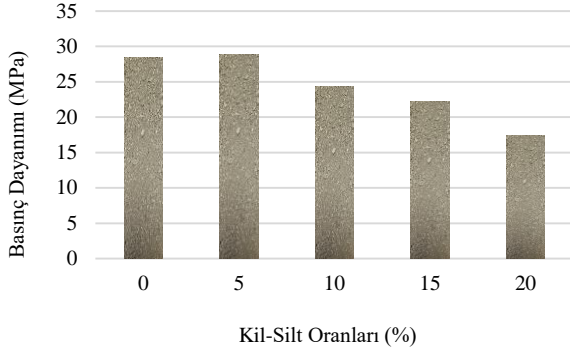
İçerisinde kil olmayan referans betonlara göre içerisine % 5-10-15-20 oranında kil ikame edilen betonların kıvam değerleri sırasıyla yaklaşık %18-21-29-43 oranında arttığı tespit edilmiştir. Bu durum karışım içerisindeki kil-silt muhtevasının betonun işlenebilirliğine olumlu katkı sağladığını ortaya çıkarmıştır.

3.2. Basınç Dayanım Deneyi Sonuçları

Basınç testleri sonucunda elde edilen 28 günlük basınç dayanım sonuçları Tablo 4'de verilmiştir. 28 günlük ortalama basınç dayanım değerlerine göre, %5 oranındaki kil-silt karışımli beton numuneler dışındaki karışım oranlarında referans betona göre basınç değerlerinde azalma söz konusudur. Referans betonda 28 günlük ortalama basınç dayanım değeri 28,41 MPa iken kil-silt ilaveli betonların ortalama basınç dayanımlarının büyük oranlarda düştüğü görülmektedir. Yani beton basınç dayanım değerleri ile kil-silt miktarı arasında ters orantı söz konusudur. Numunelerde kil-silt miktarı arttıkça, basınç dayanım değerlerindeki düşüşün sebepleri olarak S/Ç oranının bozulması, kil-silt taneciklerinin aderansa yaptığı olumsuz etki ve yine çimento hidratasyonunu zayıflatıcı etkisinden bahsedilebilir. Şekil 2'de kil oranına göre basınç dayanımındaki düşüşler görülmektedir.

Tablo 4. Beton basınç dayanımları

| Kil-Silt Oranı (%) | Ortalama Basınç Dayanımı (MPa) | Değişim Oranı (%) |
|--------------------|--------------------------------|-------------------|
| 0 | 28,41 | 0 |
| 5 | 28,80 | +1,4 |
| 10 | 24,30 | -14,5 |
| 15 | 22,22 | -21,8 |
| 20 | 17,44 | -38,6 |

**Şekil 2.** Beton küp numune basınç dayanımları

Grafikten anlaşılacağı üzere %5 oranındaki kil ilavesinin beton basınç dayanımına belirgin bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Bunun sebebi olarak kilin matris içindeki kılcal boşlukları doldurarak kompaziteyi artırması ve böylelikle basınç dayanımına yaptığı pozitif etki olarak söylenebilir. Kil oranının arttığı diğer %10-15-20 oranında kil ikameli betonlardaki basınç dayanımı düşüş oranları sırasıyla yaklaşık %15-22-39 oranında olduğu belirlenmiştir.

3.3. Eğilme Dayanım Deneyi Sonuçları

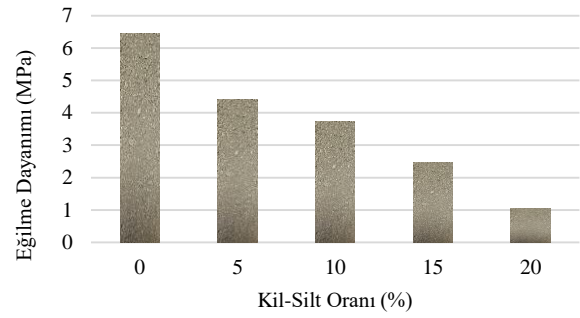
Kirişler üzerinde yapılan testler sonucunda hesaplanan eğilme dayanımları Tablo 5'te verilmiştir. Yapılan deneylerde referans betona göre kil katkılı beton numunelerde dayanım kaybının %20 kil katkılı betonlarda %84 civarında olduğunu göstermiştir. Dayanım kaybının %84'lere kadar artmasının sebebi olarak kil-silt içeriğinin çimento hidrasyonunu zayıflattığı, çimento jel yapısı ile agregalar arasındaki aderansı azalttığı söylenebilir. Kil-silt içeriğinden dolayı beton basınç dayanım değerlerine kıyasla eğilmeye çekme dayanım değerlerindeki düşüş çok daha dikkat çekicidir.

Tablo 5. Eğilme Dayanım Değerleri

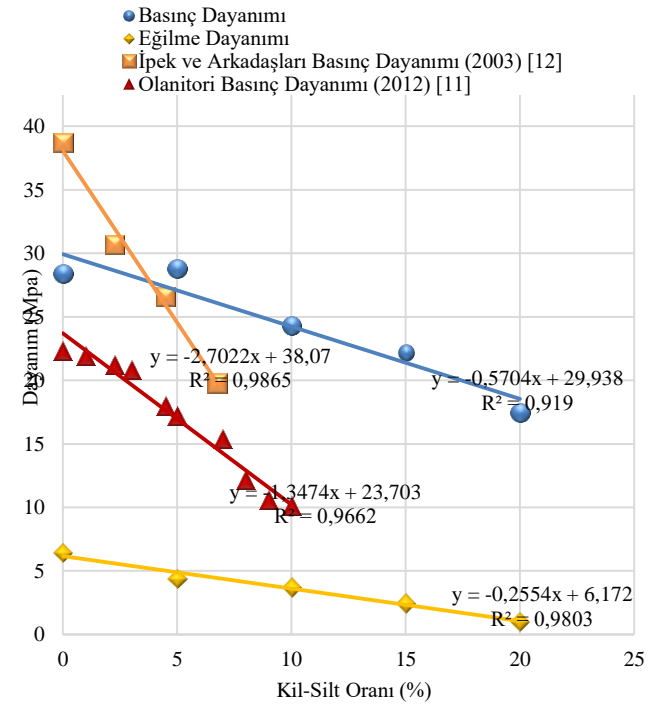
| Kil-Silt Oranı (%) | Eğilme Dayanımları (Mpa) | Değişim Oranı (%) |
|--------------------|--------------------------|-------------------|
| 0 | 6,44 | 0 |
| 5 | 4,42 | -31,4 |
| 10 | 3,73 | -42,1 |
| 15 | 2,47 | -61,3 |
| 20 | 1,03 | -84,0 |

Eğilme dayanımlarındaki düşüş oranları %5-10-15-20 oranında kil ikameli betonlar için sırasıyla %31-42-61-84 oranında olduğu belirlenmiştir (Şekil 3). Eğilme dayanım değerindeki düşüşlerin oranları, özellikle kilin beton karışımı içindeki suyu bünyesine alıp hapsederek çimento hidrasyonunu zayıflatması ve çimento jel yapısı ile agregalar arasında güçlü ve yeterli düzeyde bir

aderans oluşmasına engel olmasından kaynaklı olduğu söylenebilir.

**Şekil 3.** Eğilme dayanımları karşılaştırması

Kil ikameli beton numunelerin basınç ve eğilme dayanımlarındaki azalma miktarları, literatürde belirtilen bazı çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılarak Şekil 4'te verilmiştir. Referans betonlarda yaklaşık 28 MPa basınç dayanımı olan numunelerin artan kil oranına göre basınç dayanımlarındaki düşüş eğilim grafiğinin R^2 değeri 0,919 ve denklemi $y = -0,5704x + 29,938$ 'dir. Eğilme dayanım değerlerindeki düşüşlerin R^2 değeri 0,98 ve eğilim çizgisi denklemi ise $y = -0,2554x + 6,172$ 'dir. Her iki mekanik özeliğin azalış grafiğinde de yüksek bir uyumun olduğu görülmektedir.

**Şekil 4.** Kil oranına göre basınç ve eğilme dayanımlarındaki değişimin ilgili çalışmalarla karşılaştırılması

Konu ile ilgili benzer çalışmaların grafikleri de oluşturulup değerlendirmeler yapılmıştır. İlgili çalışmalarda kil ilaveli betonların yalnızca basınç dayanımındaki düşüşler değerlendirilmiş olup, çalışmalarda veriler kullanılarak düşüş eğrileri çizilip karşılaştırmalar yapılmıştır. Olanitori, 2012 yılında yaptığı çalışmada [11] referans olarak kullandığı betonun ortalama basınç dayanımı 22 MPa olan betonların içerisinde %10'a kadar kil ikame ederek testler yapmıştır.

İçerisine kil ilave edilen betonlarda büyük dayanım kayıplarının ortaya çıktığını ve %10 kil ikameli betonlarda %55 oranında basınç dayanım kaybı ortaya çıktığı görülmektedir. İlgili eğrinin R^2 değeri %97 oranında uyumlu ve denklemi $y=-1,3474x + 23,703$ 'dir. İpek ve arkadaşlarının [12] farklı oranlarda kil ilavesi (maksimum %6,75) ile ürettikleri beton numunelere ait basınç dayanım değerlerindeki düşüşler incelendiğinde daha keskin düşüşlerin olduğu görülmektedir. Ortalama basınç dayanımları 38 MPa olan betonlarda %98 uyumlu eğrinin denklemi $y=-3,04x + 38,07$ olarak tespit edilmiştir.

3.4. Ultrases Test Deneyi Sonuçları

Ultrases dalgalarının deney yapılan numune içine problar yardımıyla, demetler şeklinde yollanıp, numune veya binanın içyapısının durumuna göre değişim geçiren ultrases dalgalarının değişimlerine göre kusur, çatlak veya donatıların saptandığı yöntem ultrases hız yöntemi adı verilmektedir. Ultrases ölçümleri küp numunelerin beton döküm yönüne dik düzgün olan karşılıklı yüzlerinden alınmıştır. Ölçüm alınırken problar karşılıklı olarak aynı noktalarda olacak şekilde yerleştirilmişlerdir. Bunu sağlamak için yeryüzüne paralelliği tam olarak sağlanan mermer bir tezgah üzerinde ölçüm için bir düzenek hazırlanmıştır. Ölçüm alınacak yüzeyler tozdan arındırılarak temizlenmiştir. Problar ile numune arasında boşluk kalmayacak şekilde tam teması sağlamak için jel kıvamlı gress yağı kullanılmıştır. Her bir numunenin 3 farklı yerinden ultrases ölçümü alınarak ortalamaları verilmiştir (Tablo 6).

Tablo 6. Beton numunelere ait ultrases ölçüm değerleri

| Kil-Silt Oranları (%) | Ultrases hızı ortalaması (V) (km/sn) | Değişim Oranı (%) |
|-----------------------|--------------------------------------|-------------------|
| 0 | 4,74 | 0 |
| 5 | 4,78 | +0,8 |
| 10 | 4,71 | -0,6 |
| 15 | 4,70 | -0,8 |
| 20 | 4,65 | -1,9 |

Referans betonlara göre %5-10-15-20 oranında kil ikame edilen betonlardaki ultrases hızındaki değişim sırasıyla yaklaşık % +0,8, -0,6, -0,8 ve -1,9'dur. Ultrases hızındaki değişimler basınç dayanımı değişimine benzer şekilde %5 ikameli killi betondan sonra düşüşler görülmüştür. Bu küçük oranlardaki ultrases dalgalarının geçiş hızındaki düşüşlerin, beton içerisinde kil-silt oranına bağlı olarak oluşan boşluklardan kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

- ✓ Yapılan deneysel çalışma sonuçlarına göre beton içerisindeki kil miktarının beton işlenebilme özeliğine olumlu katkı sağladığı belirlenmiştir. Referans betonlara göre içerisine %5-10-15-20 oranında kil ikame edilen betonların kıvam değerleri sırasıyla %18-21-29-43 oranında artmıştır.
- ✓ Basınç dayanım değişimleri değerlendirildiğinde betonda %5 kil miktarının basınç dayanımını çok etkilemediğini fakat beton içindeki kil oranının

%10-15-20 oranında olduğu durumlarda basınç dayanımının sırasıyla %15-22-39 oranında azaldığı tespit edilmiştir.

- ✓ Kil oranına göre eğilme dayanımdaki düşüşlerin değerlendirilmesinde basınç dayanımına göre çok daha agresif düşüş oranlarının ortaya çıkabileceği görülmüştür. Eğilme dayanımlarındaki düşüş oranları %5-10-15-20 oranında kil ikameli betonlar için sırasıyla %31-42-61-84 oranında çıkmıştır. Özellikle %20 oranında killi betonların dayanımlarının çok büyük kısmını kaybedebileceği görülmüştür.
- ✓ Ultrases geçiş hızı değerlendirildiğinde basınç dayanımı değişimlerine benzer bir seyir izlediği görülmüştür. İçerisinde kil bulunmayan betonlara göre ultrases geçiş hızların küçük oranlarda azaldığı belirlenmiştir.
- ✓ Konuyla ilgili benzer çalışma sonuçları ile karşılaştırıldığında literatürde genellikle basınç dayanım değerlendirilmiş ve küçük oranlı kil ikameli betonların incelendiği görülmüştür. Literatürdeki çalışmaların basınç dayanımındaki düşüşlerin bu çalışmadaki basınç dayanım düşüşlerine göre daha büyük oranda oldukları belirlenmiştir.
- ✓ Elde edilen sonuçlara göre eğilme ve basınç dayanımı yüksek bir beton elde etmek için mutlaka ortamdan kil-silt unsurunun uzaklaştırılması mümkünse agregaların yıkanması gerektiğini ortaya koymuştur.

KAYNAKLAR

- [1] Neville AM. Concrete in the Year 2000. Advances in Concrete, Technology. V.M. Malhotra (Ed.), CANMET, Ottawa, Second Edition; 1994.
- [2] Aitcin, PC, Mehta, PK. Effect of Coarse Aggregate Characteristics on Mechanical Properties of High Strength Concrete. ACI Materials Journal, 1990;88(2):103-107.
- [3] Şimşek O. Yapı malzemesi II, Ankara Üniversitesi Basımevi; 2000.
- [4] Laserna S, Montero J. Influence of natural aggregates typology on recycled concrete strength properties. Construction and Building Materials, 2016;115:78-86.
- [5] Rashad A. Cementitious materials and agricultural wastes as natural fine aggregate replacement in conventional mortar and concrete. Journal of Building Engineering. 2016;5: 119-141.
- [6] ASTM C 117. Standart test method for materials finer than 75-µm (No.200) sieve in mineral aggregates by washing. American Society for Testing and Materials. 2017.
- [7] TS 706 EN 12620. Beton agregaları. Türk Standartları Enstitüsü. 2009.

- [8] TS EN 933-9. Agregaların geometrik özellikleri için deneyler, İnce tanelerin tayini, Metilen mavisi deneyi. Türk Standartları Enstitüsü. 2010.
- [9] TS EN 933-8. Agregaların geometrik özellikleri için deneyler, İnce tanelerin tayini, Kum eşdeğeri tayini. Türk Standartları Enstitüsü. 2012.
- [10] Özbebek H, Açık H. İnce Agregalarda Yapılan Metilen Mavisi ve Kum Eşdeğerliği Deney Sonuçlarının Beton Özelliklerine ve Maliyetine Etkisi. Beton Kongresi; 2011.
- [11] Olanitori LM. Cost Implication of Mitigating the Effect of Clay/Silt Content of Sand on Concrete Compressive Strength. *Journal of Civil Engineering and Urbanism*, 2012;2(4):143-148.
- [12] İpek M, Meral Z, Çelik MH. Sakarya Pamukova Bölgesinden Alınan Yapay Agregata (Kırmataş) İçerisindeki Kil - Silt Miktarının Deneysel Olarak Beton Basınç Dayanımına Etkisi. *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 2003;7(3).
- [13] Kadiroğlu İ, 2001. Deniz Suyunun Beton Karma Suyu Olarak Kullanılabilirliği. *Hazır Beton Birliği Dergisi*, 2001;41.
- [14] Küçük B, Betonun Dayanım ve Durabilitesini Sağlayan Parametreler. *Pamukkale Üniv. Müh. Bilimleri Dergisi*. 2002;6(1).
- [15] Benjeddou O, Soussi C, Jedidi M, Benali M. Experimental and theoretical study of the effect of the particle size of limestone fillers on the rheology of self-compacting concrete. *Journal of Building Engineering*, 2017;10:32-41.
- [16] Ramyar K, Çelik T, Marar K. Taş tozunun beton özelliklerine etkisi, endüstriyel atıkların inşaat sektöründe kullanılması. 2. Sempozyumu. Ankara:1995. p.227-237.
- [17] Uluöz S, Yakıt E, Düzbasan S. Kırmataşta taş unu ve kil miktarının beton kalitesine etkisi. *Beton Kongresi*, 2004. İstanbul: 2004. p.697-707.
- [18] Boğa AR, Kürklü G, Ergün A. Mermer tozu katkılı kendiliğinden yerleşen betonların taze ve mekanik özelliklerinin incelenmesi. *ISEM2014, Adıyaman:2014*. p. 1239-1248.
- [19] TS EN 197-1. Genel çimentolar- Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri. Türk Standartları Enstitüsü. 2012.
- [20] TS 3526. Beton agregalarında özgül ağırlık ve su emme oranı tayini, Türk Standartları Enstitüsü. 1980.
- [21] TS 802. Beton karışımı hesap esasları, Türk Standartları Enstitüsü. 2009.
- [22] TS EN 12350-2. Taze beton deneyleri, Çökme (slamp) deneyi. Türk Standartları Enstitüsü. 2010.
- [23] TS EN 12390-3. Sertleşmiş beton deneyleri, Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini. Türk Standartları Enstitüsü. 2010.
- [24] TS EN 12390-5. Sertleşmiş beton deneyleri, Deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini. Türk Standartları Enstitüsü. 2010.



Dikiş Makinelerinin Teknolojik Seviyesinin Birim Üretim Süresine ve Maliyete Etkisinin Analizi

Müslüm EROL^{1*}

¹ Bingöl Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Tekstil, Giyim, Ayakkabı ve Deri Bölümü, Bingöl, Türkiye

Müslüm EROL ORCID No: 0000-0002-6905-7481

*Sorumlu yazar: merol@bingol.edu.tr

(Alınış: 21.12.2020, Kabul: 17.02.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Anahtar Kelimeler

İş gücü ve makine verimliliği, Dikiş otomatları, İşçilik maliyeti, Üretim süresi, İş zaman etüdü.

Öz: Tekstil ve hazır giyim sektörü (THGS), ihracatta gösterdiği başarı ve yarattığı istihdam düzeyi ile ülkemiz endüstriyel ürün üretim kapasitesi açısından vazgeçilemez önemde bir sektördür. 2019 yılı ihracat rakamları incelendiğinde THGS'nin ortalama olarak 30 milyar \$'lık ihracat yapıldığı görülmektedir. Aynı yıl toplam ihracatımızın ortalama 180 milyar \$ olduğu düşünüldüğünde %17 oranında bir pay ile ülke ekonomisinin lokomotif konumunda olduğu görülmektedir [1]. Ancak sürdürülebilirliğin sağlanması için sektörde faaliyet gösteren işletmelerin yüksek hammadde, enerji ve özellikle işgücü maliyetlerinin düşürülmesi gerekmektedir.

Üretimin verimli ve istenen rekabet edebilme düzeyinde olabilmesi için kullanılan hammadde, işgücü ve makine teçhizatın en üst düzey verimlilik ve düşük maliyetle sürece aktarılması sağlanmalıdır. Araştırmalara göre hazır giyim ürün maliyetinin ortalama olarak %50-%60'ı kumaş ve aksesuar, %30-%35'i işçilik ve %10-%15'i ise genel üretim giderlerinden oluşmaktadır. Bu çalışmada ikinci en büyük maliyet rezervi olan işçilik maliyetlerinin düşürülmesine odaklanılmıştır. Bu sebeple çalışmada farklı makine parkı, iş gücü kapasitesi ve üretim hacmine sahip dört işletmenin gabardin kumaş esaslı klasik pantolon üretim bantları incelenmiş ve ürün birim maliyetine etki eden parametrelerin etki oranları tespit edilmiştir. Dikiş hattında kullanılan otomat ve yüksek teknolojlü makinelerin birim iş süresi, işgücü verimi, üretim adetleri, işgücü maliyetleri ve toplamda işletme kârlılığı ile ilişkileri ortaya çıkarılmaya çalışılmış ve sektör temsilcilerine gerekli önerilerde bulunulmuştur.

An Effect Analysis of The Technological Level of Sewing Machines on Unit Production Time and Cost

Keywords

Labor and machine productivity, Sewing automat, Labor cost, Production time, Work and time study.

Abstract: The textile and ready-made apparel sector (TRMAS) is an indispensable sector in terms of our country's industrial product production capacity, with its success in exports and the level of employment created. When the export figures of 2019 are examined, it can be seen that an average of \$ 30 billion was exported in the TRMAS sector. Since our total export in the same year was 180 billion \$, it can be determined that it is the locomotive of the country's economy with a 17% share [1]. However, in order to ensure sustainability, the high raw material, energy and especially labor costs of the enterprises operating in the sector should be reduced.

In order for production to be efficient and at the desired level of competitiveness, the raw materials, labor and machinery equipment used must be transferred to the process with the highest level of efficiency and low cost. According to the researches in the literature, on average, 50% -60% of the apparel product cost consists of fabric and accessories, 30-35% is labor and 10-15% is general production expenses. This study focused on reducing labor costs i.e. the second largest cost reserve. Within this framework, gabardine fabric-based classic trousers production lines of four companies with different machine parks, workforce capacities and production volumes were examined and the effect rates of the parameters on the unit cost of the product were determined. This paper tried to reveal the relations between sewing automats and high-tech machines used in the sewing line with the unit labor time, labor productivity, production figures, labor costs and manufacturer profitability in total. Based on our findings necessary suggestions were made to the sector representatives.

1. GİRİŞ

Yeni korona virüs salgını öncesinde başlamış olan küresel durgunluk, salgın ile birlikte tüm dünyada büyük bir yavaşlamaya sebep olmuştur. Hazır giyim ürün ihracatımızdaki en önemli pazarımız olan Arupa Birliği (AB) ülkelerinin bu süreçte salgından fazlaca etkilenmiş olması üretim ve ihracat rakamlarına olumsuz yönde yansıtacaktır. Başlangıçta salgının Çin ile sınırlı kalacağı beklentisi ile THGS yatırımcıları bu süreçten avantajlı çıkabileceğini düşünmüş fakat salgının ülkemizi ve tüm dünyayı etkisi altına alması ile birlikte kronik bazı sorunların daha da büyüyebileceği ile ilgili çokça emare ortaya çıkmıştır. THGS'de faaliyet gösteren işletmelerin yapısal düzeyde sorunları bulunmaktadır. Bu sorunların çözümüne yönelik gerek akademik düzeyde gerekse sektörde örgütlü sendika ve konfederasyonlar bünyesinde araştırmalar yapılarak çözüm önerileri geliştirilmektedir. Sektörün en büyük problemi şüphesiz yüksek maliyetlerdir. Makro ve mikro anlamda çok sayıda parametreden etkilenen maliyetleri aşağı çekmek işletme yöneticilerinin birincil görevi olarak karşımıza çıkmaktadır.

Konfeksiyonda iş-zaman etüdü ve mühendislik biliminin mantalitesine uygun olarak yapılacak planlama ve organizasyonların üretim maliyetlerini düşürebileceği ve yüksek kârlılık seviyelerine çıkılabileceğini gösteren bazı çalışmalar bulunmaktadır. Erol ve Paşayev, konfeksiyon işletmelerinde bant dengeleme, iyi planlama ve organizasyon çalışmaları ile işgücü maliyetlerinin düşürülebileceğini ifade etmişlerdir [2]. Montaj hattının dengelenmesi çalışmaları ile optimum miktarda işçi ve makine kullanmak suretiyle verimliliği artırmaya dönük çalışma yapan Eryürük, makine teknolojisinin önemine ve iyi planlama ile organizasyon kültürünün maliyetler üzerindeki etkisini ortaya koymuştur [3].

İş zaman etüdü bilimi kullanılmak suretiyle kesimhane verimliliğinin artırılabilmesi [4], kumaş fire oranlarını azaltmak için bilgisayar programları aracılığı ile yüksek verimlilikte postal serilmesinin mümkün olduğu ve bunun kumaş maliyetlerini düşürdüğü [5], postal hazırlama esnasında kumaş enlerinin üretim maliyetlerini etkilediği [6] ve işletme içi makine-donanım, iş gücü ve bunlara bağlı unsurların bilimsel yöntemlere uygun olarak yerleştirilmesinin verimliliği etkilediği ile ilgili önemli çalışmalar bulunmaktadır [7].

Bilgiç ve Baykal, postal resmi verimliliğinin hammadde maliyeti ile ikinci kalite maliyetlerini nasıl etkilediğini ortaya çıkarmak için yaptıkları çalışmada; model türü, pastaldaki toplam kalıp sayısı ve pastaldaki toplam küçük kalıp sayısının birim ikinci kalite maliyeti üzerinde etkilerinin olduğunu ifade etmişlerdir [12]. Bant içi kontrol yöntemleri geliştirmek suretiyle üretim esnasında olası hataları minimize ederek ve verimlilik ölçümleri yaparak maliyetlerin optimum düzeye çekilebileceği pek çok çalışmada ortaya konulmuştur [8, 9,10]. Ünal ve arkadaşları yaptıkları çalışmada özellikle yüksek kapasitede üretim yapan işletmelerin üretim hatlarında mutlaka otomatik makineleri tercih etmeleri gerektiğini ve bu durumun kendilerine uzun vadede

düşük maliyet ve yüksek kalite ile üretim yapmalarını sağlayacağını belirtmişlerdir [11].

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte her sektörde olduğu gibi hazır giyim sektöründe de teknolojik seviyesi yüksek makineler, otomatlar ve robotik sistemler kullanılmaktadır. Bu yüksek teknolojiye sahip makinelerin kullanılması ile işletmelerdeki teknik göstergelerin nasıl değiştiği ve özellikle işçilik maliyetlerinin bu donanımlardan nasıl etkilendiğini ortaya koymak üzere dört farklı işletmede aynı ürün grubunun üretim süreçleri takip edilmiş ve işletmelerin üretim bant düzenleri, kullandıkları makine teknolojisi, işçi sayıları ve iş yapma stratejilerine müdahale etmeden işletmelerin fotoğrafı çekilmiş ve alınan veriler üzerinden karşılaştırmalı analizler yapılarak makinelerin teknolojik seviyelerinin maliyete olan etkisi ortaya konmaya çalışılmıştır. Ayrıca daha önce yapılan çalışmalardan farklı olarak operasyon bazında maliyetler hesaplanmış ve makine teknolojisinin operasyonları ne düzeyde kısalttığı ve birim operasyon maliyetlerini nasıl etkilediği analiz edilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Akdeniz bölgesinin Adana ilinde üretim yapan dört farklı konfeksiyon işletmesinde model ve zorluk derecesi aynı olan gabardin kumaştan pantolon üretim süreci yerinde takip edilmiştir. F1, F2, F3 ve F4 olarak kodladığımız fabrikalar büyüklük (toplam çalışan sayısı) olarak yakınlık arz etmekte ancak sahip oldukları makine parkı ve kullandıkları makinelerin teknolojik seviyeleri arasında belli bazı farklılıklar bulunmaktadır. Aynı bölgede faaliyet gösteren bu işletmelerin çalışan işgücü kalifiye olma düzeylerinin ise birbirine yakın olduğu tespit edilmiş ve işletme üretim maliyetleri açısından tespit edilen farklılıklarda makine teknolojisinin ne düzeyde etkili olduğu analiz edilmiştir.

2.2. Yöntem

Çalışma dört farklı (F1, F2, F3, F4) işletmede alan araştırması yöntemi uygulanmak suretiyle örnek olay incelemesi ile yapılmıştır. İşletmelerde üretimin akışına herhangi bir müdahale yapılmamış olup bant akışları ve üretim stratejileri olduğu gibi gözlenmiş ve veriler iş-zaman etüdü yöntemleri kullanılarak toplanmıştır. Yapılan çalışmaları analiz aşaması ve uygulama aşaması olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür.

2.2.1. Analiz aşaması

Bu aşamada;

- Çalışma yapılan işletmelerin her birinde gabardin kumaş esaslı klasik pantolon dikim hattı gözlemlenmiştir.
- Her işletmenin ilgili bandında iş-zaman etüdü çalışmaları yapılarak her bir operasyon süresi, saatlik

ve günlük üretim adetleri ile her operasyon için kullanılan makine teknolojisi kayda alınmıştır.

- Analizi yapılan üretim hattında “zaman ölçümü” yapılarak elde edilen gerçek zamanlar kullanılmıştır. Zaman etüdü esnasında insan, makine ve iş kaynaklı kayıplar dikkate alınmıştır. Her operasyon için 7 adet etüd alınmış ve bu değerlerinin ortalaması alınarak sonuç bulunmuştur.

- Süreç analizi yapılarak bant akışındaki operasyonlar tüm fabrikalarda aynı şekilde isimlendirilmiştir. (İşletmelerde kurumsal ve teknik altyapı çalışmaları olmadığından her işletmede operasyonlar teknik isimlerinin dışında adlandırıldığı görülmüştür).

2.2.2. Uygulama aşaması

- İlk aşamada alan çalışması yapılan işletmelerde üretilen straightleg gabardin pantolon birim maliyeti, işgücü ve makine verimlilikleri ile birçok teknik göstergeleri her fabrika için hesaplanmıştır.

- İkinci aşamada işletmelerin bant düzenleri incelenerek banttan 22 adet önemli görülen operasyon seçilmiş ve bu operasyonların her birinin maliyetleri hesaplanmış, kullanılan makine teknolojisi ile dikim bölümü maliyetleri arasında herhangi bir korelasyon olup olmadığı ortaya çıkarılmıştır.

2.2.3. Teknik göstergeler ile maliyet hesaplama süreci

2.2.3.1. Maliyet hesaplama

Farklı siparişlerin birbirinden ayrılabilirdiği konfeksiyon gibi endüstrilerde yaygın olarak kullanılan sipariş maliyet yöntemine dayanarak ürün maliyetleri hesaplanmıştır [2]. Ürün birim maliyeti hesaplanırken, işçilik ve hammadde giderleri, o siparişe aynen eklenmiştir. Üretim ile ilgili olan genel üretim giderleri (GÜG) gibi giderler ise direk işçilik saati başına düşen GÜG'nin işçilik saati ile çarpılması suretiyle bulunmuştur. İşletme dakika maliyeti hesaplandıktan sonra, diğer maliyetlerde buna katılarak birim üretimin maliyeti hesaplanmıştır. Direkt ilk madde ve malzemeler (DİMM), kumaş maliyetleri, hammadde maliyeti ve aksesuar maliyetlerinin toplamına eşittir. Direkt işçilik (Dİ) giderleri ise; bir pantolonun üretim süresi ile işletmenin dakika maliyetinin çarpılması suretiyle bulunmuştur.

Direkt ilk madde ve malzeme DİMM_m [TL]: Kumaş birim maliyeti ile Aksesuar birim maliyetlerinin toplamından elde edilmiştir.

Kumaş birim maliyeti K_m, [TL]: Kumaşın metre fiyatı [TL], birim sarfı [m] ve birim başına fire oranının çarpımı ile elde edilmektedir.

Aksesuar birim maliyeti A_m [TL]: “Y” aksesuar fiyatı × birim adet + “Z” aksesuar fiyatı × birim adet + ...

$$DİMM_m = K_m + A_m \quad (1)$$

Birim işçilik maliyeti Bİ_m [TL]: Birim ürün üretim süresi ÜT, [dk] ile İşletme dakika maliyeti FM_{dk}, [TL]'nin çarpımı ile hesaplanmıştır. Burada işletmenin dikim, ütü, iplik temizleme, kalite kontrol ve paketlenme bölümlerinde yapılan işlerden bir adet ürünün üretilmesinde harcanan sürenin dakika olarak tespit edilmesi ve bu sürenin işletme dakika maliyeti ile çarpılmasından elde edilen sonuçların toplamı ile bulunur.

$$Bİ_m = ÜT \times FM_{dk} \quad (2)$$

Genel üretim giderleri GÜG, [TL]: Tüm personel ücretlerinin toplamı, reklam ve pazarlama, amortisman, tamir bakım giderleri, enerji, yemek ve servis giderleri, transport, kira ve bina bakım gibi giderlerin her birinin ürün maliyetine olan etkisi ayrı ayrı hesaplanmış ve genel üretim gideri olarak bir birim ürün için hesaplanmıştır.

Aylık çalışma süresi T_{ay}, [dk]: Aylık çalışma gün sayısı ÇG_{ay}, [gün] ile Vardiya süresinin VT, [dk] çarpımı ile elde edilir.

$$T_{ay} = ÇG_{ay} \times VT \quad (3)$$

İşletme dakika maliyeti FM_{dk}, [TL]: Genel üretim giderleri GÜG [TL] nin, bantta çalışan işçi sayısı O [işçi] ile Aylık çalışma süresi T_{ay} [dk] nin çarpımından elde edilen sayıya oranı ile hesaplanır.

$$FM_{dk} = \frac{GÜG}{O \times T_{ay}} \quad (4)$$

Pantolon Maliyeti P_m [TL]: Direkt ilk madde ve malzeme maliyeti DİMM, [TL] ile birim işçilik maliyeti Bİ_m, [TL] nin toplamından elde edilmiştir.

$$P_m = DİMM_m \times Bİ_m \quad (5)$$

2.2.3.2. Teknik ve ekonomik göstergelerin hesaplanması

İşletmelerde kullanılan dikiş makineleri mekanik, elektronik ve otomatlar olmak üzere üç gruba ayrılmıştır. Üretim hattında bu üç grup makinenin değişik oranlarda kullanıldığı görülmüştür. Dikim bandının organizasyon şekline, çalışan sayısına, kullanılan makine teknolojisi ile işletmenin yönetsel faaliyetlerine bağlı olarak değişen bazı teknik göstergeler aşağıda detayları verilen formülasyonlara göre hesaplanmıştır [2].

Çevrim Süresi (CT), [dk]: Üretim hattının günlük belirlenen üretim hedefine ulaşılabilmesi için, bir adet ürünün üretimi adına geçen süre olarak ifade edilir. Çevrim süresi CT, [dk]; Vardiya süresinin VT, [dk] Vardiya üretim adedi VP, [adet] oranı ile hesaplanır.

$$CT = \frac{VT}{VP} \quad (6)$$

Bantta Çalışan İşçi Sayısı O, [işçi]: Birim ürün üretim süresi $\dot{U}T$, [s] ile Vardiya üretim adedi VP, [adet] çarpımının, Vardiya süresine VT, [s] bölümü ile hesaplanır.

$$O = \frac{\dot{U}T \times VP}{VT} \quad (7)$$

İşgücü Verimliliği O_v [adet/işçi]: Vardiya üretim adedi [VP], Bantta çalışan işçi sayısına [O] oranı ile hesaplanır.

$$O_v = \frac{VP}{O} \quad (8)$$

Makine Verimliliği M_v [adet/makine]: Vardiya üretim adedi [VP], banttaki makine sayısına [M] oranı ile hesaplanır.

$$M_v = \frac{VP}{M} \quad (9)$$

Donanımdan yararlanma katsayısı K_{don} : Özel donanım kullanarak gerçekleştirilen işlemlerin süresinin t_{don} [s], birim ürün üretim süresi $\dot{U}T$, [s] oranı ile hesaplanmaktadır.

$$K_{don} = \frac{\sum t_{don}}{\dot{U}T} \quad (10)$$

Otomatik ve Elektronik Makinelere Yaralanma Katsayısı K_{oe} : Otomatik, yarı otomatik ve elektronik makinelerde gerçekleştirilen işlemlerin toplam sürelerinin $\sum t_{oe}$, [s], birim ürün üretim süresine $\dot{U}T$, [s] oranı ile hesaplanır.

$$K_{oe} = \frac{\sum t_{oe}}{\dot{U}T} \quad (11)$$

Bant Akışının Mekanikleştirilmesi Katsayısı K_{mek} : Mekanikleştirilmiş işlemlerin (makine, özel makine, pres.v.s) sürelerinin toplamının $\sum t_{mek}$, [s], birim üretim süresine $\dot{U}T$ olan oranı ile hesaplanır.

$$K_{mek} = \frac{\sum t_{mek}}{\dot{U}T} \quad (12)$$

Üretim bandının otomatize olma düzeyi: Organizasyon işlemlerinin sayısının işçi sayısına oranı ile hesaplanmaktadır.

Makine yarı parasal verimlilik, [TL/makine]: Operasyonların toplam maliyetinin operasyonda kullanılan makine sayısına oranı ile hesaplanmaktadır.

3. BULGULAR

Araştırma yapılan işletmelerde üretilen aynı ürünün birim maliyetleri ve (Tablo1) de gösterilmiştir. DİMM,

Dİ ve GÜG giderlerinin pantolon birim maliyetleri içindeki oranları incelendiğinde malzeme giderlerinin maliyete etkisinin %71-%77 arasında olduğu, ikinci sırada %20-%24 arasında işçilik maliyetinin ve %3-%5 arasında ise genel üretim giderlerinin tesir ettiği görülmüştür. Üretim parkurunda kullanılan makinaların teknolojik düzeyleri, işgücünün kalifiye olma düzeyleri ve işletmenin organizasyon şekli gibi unsurların işçilik maliyetlerine etki eden temel parametreler olduğu gibi analiz edilmiştir. İşletmelerin yaşadığı ekonomik güçlükler sebebiyle olabildiğince sabit giderlerini düşürmek suretiyle üretim yapmaya çalıştıkları genel üretim giderlerinin maliyet içindeki payı incelendiğinde görülmüştür. Bu oranın düşük olmasında işletmelerin küçük üretim kapasitesine sahip ve fazlaca kurumsal olmamalarının payının olduğu dikkatten kaçmamalıdır.

Tablo 1. Üretilen pantolonların birim maliyetleri

| Birim Maliyet Unsurları | F1 | | F2 | | F3 | | F4 | |
|----------------------------|--------------|----|--------------|----|--------------|----|--------------|----|
| | TL | % | TL | % | TL | % | TL | % |
| DİMM, TL | 19,54 | 77 | 24,12 | 71 | 18,96 | 75 | 18,76 | 72 |
| Bİ, TL | 5,05 | 20 | 8,16 | 24 | 5,65 | 22 | 6,08 | 23 |
| GÜG, TL | 0,83 | 3 | 1,70 | 5 | 0,85 | 3 | 1,16 | 5 |
| Toplam Maliyet [TL] | 25,42 | | 33,99 | | 25,46 | | 26,01 | |

İşletmelerde günlük üretim süresini, üretim adetlerini ve dolayısı ile birim maliyetleri etkileyen çok sayıda parametre bulunmaktadır. Bu parametrelerden makine teknolojisinin önemli bir yeri olduğu çalışmalar esnasında ortaya çıkmıştır. Tablo 2 incelendiğinde işletmelerin makine parkında bulunan teknolojileri arasında önemli derecede farklılıklar olduğu görülmektedir. F1 işletmesinde %21 gibi yüksek oranda otomat kullanıldığı, buna karşın diğer işletmelerde bu oranın maksimum %5 seviyesinde kaldığı anlaşılmaktadır. Öte yandan makine teknolojisi arttıkça bantta çalışan işçi sayısı, çevrim süresi ve maliyetin azaldığı bununla birlikte işgücü verimliliği ve günlük üretim adedinin ise arttığı görülmüştür (Tablo 3). F1 işletmesi 37 işçi ve 38 makine kullanarak günde 1575 adet ürün üretirken aynı ürün F2 işletmesinde 47 makine ve 48 işçi kullanılarak sadece 1150 adet ürün üretilmiştir. Üretilen ürünlerin çevrim süreleri F1, F2, F3, F4 için sırasıyla 20,6; 28,2; 25,9; 25,8 olarak hesaplanmıştır (Tablo 3). İş gücü ve makine verimliliği arttıkça işletmelerin birim ürün maliyetleri azalmıştır. F2 işletmesi bu anlamda en yüksek maliyet ile üretim yaparken F1 işletmesi yüksek hammadde girdilerine rağmen düşük iş gücü maliyeti sebebiyle en düşük maliyet ile üretimi gerçekleştirmiştir (Şekil 1).

Öte yandan makine verimliliği arttıkça (en yüksek F1) birim iş süresi düşmüş ve ürün maliyeti de buna bağlı olarak önemli düzeyde azalmıştır (Şekil 2).

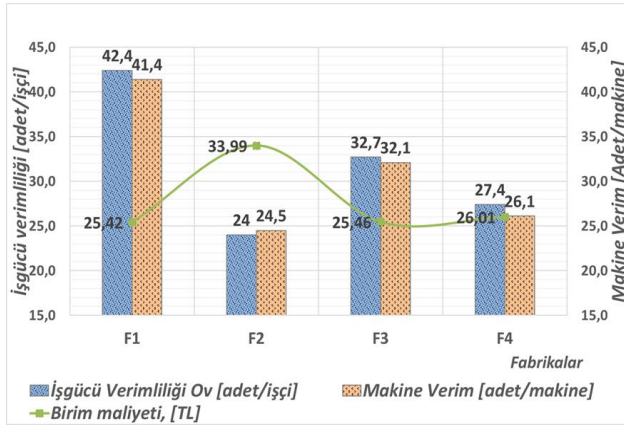
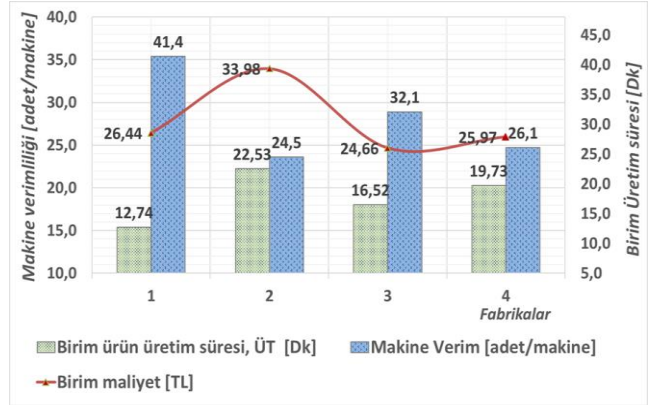
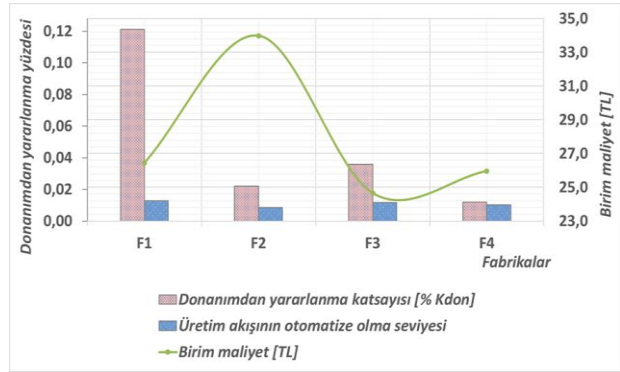
Tablo 2. Pantolon bandı makine parkı değerlendirme

| MAKİNE TİPİ | F1 | | F2 | | F3 | | F4 | |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | % | | % | | % | | % |
| Toplam operasyon sayısı | 49 | | 56 | | 51 | | 60 | |
| Banttaki toplam makine sayısı | 38 | | 47 | | 39 | | 48 | |
| Toplam otomat mak. sayısı | 8 | 21 | 1 | 2 | 2 | 5 | 1 | 2 |
| Toplam mekanik mak. sayısı | 2 | 5 | 5 | 11 | 3 | 8 | 4 | 8 |
| Top. otomatik ve elektronik mak. sayısı | 28 | 74 | 41 | 87 | 34 | 87 | 43 | 90 |

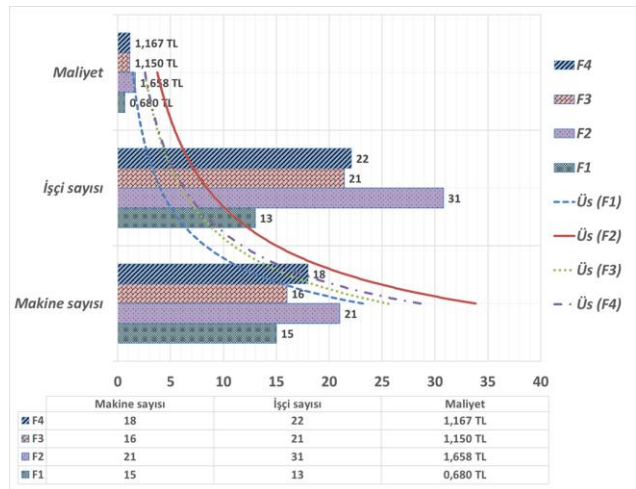
Tablo 3. İşletmelere ait hesaplanan bazı teknik göstergeler

| TEKNİK VERİLER | F1 | F2 | F3 | F4 |
|---|-------|--------|-------|-------|
| Vardiya Süresi, VT, [saat] | 9 | 9 | 9 | 9 |
| Banttaki makine sayısı, M [adet] | 38 | 47 | 39 | 48 |
| Bantta çalışan işçi sayısı, O [işçi] | 37 | 48 | 38 | 46 |
| Vardiya üretim adedi, VP [adet] | 1575 | 1150 | 1250 | 1255 |
| Çevrim süresi, τ [dk] | 20,6 | 28,2 | 25,9 | 25,8 |
| Birim ürün üretim süresi, ÜT [s] | 764,1 | 1351,8 | 991,4 | 1184 |
| İşgücü verimliliği, O_v [adet/işçi] | 42,4 | 24 | 32,7 | 27,4 |
| Makine verimliliği, M_v [adet/makine] | 41,4 | 24,5 | 32,1 | 26,1 |
| Donanımdan yararlanma katsayısı K_{don} | 0,123 | 0,024 | 0,038 | 0,014 |

Dikim hattında bulunan makinelerin teknolojik seviyesini belirlemek için donanımdan yararlanma katsayısı ve bant akışının otomatize olma seviyeleri hesaplanmış ve bu değerlerdeki artışa paralel olarak birim maliyetlerde anlamlı düzeyde düşüşler görülmüştür (Şekil 3).

**Şekil 1.** Makine ve iş gücü verimliliklerinin toplam birim maliyete etkisi**Şekil 2.** Makine verimliliğinin birim iş süresi ve toplam birim maliyet ile ilişkisi**Şekil 3.** Donanımlardan yararlanma katsayısı ve üretim akışının otomatize olma seviyesinin işletmelerde maliyete etkisi

Makine teknolojisinin işlem süreleri ve maliyet üzerindeki etkisini daha detaylı ortaya çıkarabilmek için araştırılan işletmelerin dikim bant düzenleri detaylıca analiz edilmiştir. Bu amaçla daha komplike, teknolojik makinelerin kullanılabilirdiği ve maliyete etkisi yüksek olabileceği düşünülen 22 adet operasyon seçilmiştir. Bu operasyonların üretiminde kullanılan makine ekipmanlarının sayısı, birim iş süreleri, bu operasyonları gerçekleştirmek için ihtiyaç duyulan işçi sayısı ve işlem maliyetleri hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 4 ile Şekil 4'te verilmiştir.

**Şekil 4.** Seçilen 22 adet operasyonda çalışan işçi sayısı, kullanılan makine ve maliyeti.

Tablo 4. Spesifik olarak belirlenmiş 22 adet operasyonun üretim süresi, operasyon maliyeti ve kullanılan makine teknolojisi tablosu

| NO | OPERASYON ADI | F1 İŞLETMESİ | | | F2 İŞLETMESİ | | | F3 İŞLETMESİ | | | F4 İŞLETMESİ | | |
|---------------|----------------------------|--------------|-----------------------|-------------------------|--------------|-----------------------|-------------------------|--------------|-----------------------|-------------------------|--------------|-----------------------|-------------------------|
| | | Donanım | Operasyon Süresi [Sn] | Operasyon maliyeti [TL] | Donanım | Operasyon Süresi [Sn] | Operasyon maliyeti [TL] | Donanım | Operasyon Süresi [Sn] | Operasyon maliyeti [TL] | Donanım | Operasyon Süresi [Sn] | Operasyon maliyeti [TL] |
| 1 | Arka conta birleştirme | 5 İP | 19,8 | 0,0511 TL | 3İP | 22,0 | 0,0586 TL | Kollu kot | 18,0 | 0,0476 TL | Kollu Kot. | 27,7 | 0,0710 TL |
| 2 | Arka conta takma | | | | D | 27,0 | 0,0720 TL | | | | | | |
| 3 | Arka conta üzeri baskı | | | | Çİ | 17,0 | 0,0439 TL | | | | | | |
| 4 | Arka cep ağzı kırım | Çİ Otm. | 8,0 | 0,0206 TL | Ü | 17,0 | 0,0453 TL | Ü | 16,0 | 0,0423 TL | Ü | 33,0 | 0,0846 TL |
| 5 | Arka cep ağzı dikiş | | | | D | 26,0 | 0,0693 TL | D | 23,0 | 0,0609 TL | Çİ | 17,9 | 0,0459 TL |
| 6 | Saat cep ağzı kırım | D Otm. | 5,0 | 0,0129 TL | Ü | 9,0 | 0,0240 TL | Ü | 9,0 | 0,0238 TL | Ü | 8,0 | 0,0205 TL |
| 7 | Saat cep ağzı dikiş | | | | D | 18,0 | 0,0480 TL | D | 12,0 | 0,0318 TL | D | 14,4 | 0,0369 TL |
| 8 | Arka cep takma | Cep Otm. | 25,0 | 0,0645 TL | Çİ | 53,0 | 0,1412 TL | Çİ | 51,0 | 0,1350 TL | Çİ | 44,5 | 0,1141 TL |
| 9 | Arka orta birleştirme | 5 İP | 19,0 | 0,0490 TL | 3İP | 18,0 | 0,0480 TL | Kollu kot | 20,0 | 0,0529 TL | Kollu Kot. | 19,2 | 0,0492 TL |
| 10 | Arka orta takma | | | | D | 20,0 | 0,0533 TL | | | | | | |
| 11 | Arka orta üzeri baskı | Çİ | 16,5 | 0,0426 TL | Çİ | 19,0 | 0,0506 TL | | | | | | |
| 12 | Yan çatma | 5 İP | 33,0 | 0,0852 TL | 3İP | 43,0 | 0,1146 TL | 3İP | 39,0 | 0,1032 TL | 5 İP | 32,6 | 0,0836 TL |
| 13 | Yan birleştime üzeri baskı | D | 20,0 | 0,0516 TL | D | 48,0 | 0,1279 TL | D | 44,0 | 0,1164 TL | D | 32,7 | 0,0838 TL |
| 14 | Bacak arası birleştirme | Kollu Kot. | 32,5 | 0,0839 TL | 3İP | 42,0 | 0,1119 TL | Kollu kot | 41,5 | 0,1098 TL | 5 İP | 30,0 | 0,0769 TL |
| 15 | Bacak arası üst baskı | | | | D | 46,0 | 0,1226 TL | | | | D | 28,2 | 0,0723 TL |
| 16 | Kemer tela yapıştırma | Tela Pres | 10,0 | 0,0258 TL | Ü | 36,0 | 0,0959 TL | Ü | 30,0 | 0,0794 TL | Ü | 33,0 | 0,0846 TL |
| 17 | Kemer takma | KemerOtm | 22,5 | 0,0581 TL | Kemer Otm. | 31,0 | 0,0826 TL | Kemer Mak. | 27,0 | 0,0715 TL | D | 23,0 | 0,0590 TL |
| 18 | Kemer üst baskı | | | | | | | | | | D | 19,1 | 0,0490 TL |
| 19 | Köprü hazırlık | Köprü Mak. | 10,0 | 0,0258 TL | Çİ | 23,0 | 0,0613 TL | Köprü Mak. | 11,0 | 0,0291 TL | D | 16,0 | 0,0410 TL |
| 20 | Köprü takma | Köprü Otm. | 15,0 | 0,0387 TL | D | 35,0 | 0,0933 TL | D | 36,0 | 0,0953 TL | Köprü Otm. | 16,2 | 0,0415 TL |
| 21 | Paça kırım | Paça otomat | 10,0 | 0,0258 TL | Ü | 24,0 | 0,0640 TL | Ü | 22,0 | 0,0582 TL | Ü | 27,7 | 0,0710 TL |
| 22 | Paça ucu baskı | | | | D | 42,0 | 0,1119 TL | D | 35,0 | 0,0926 TL | D | 32,0 | 0,0820 TL |
| TOPLAM | | | 263,3 | 0,6795 TL | | 622,0 | 1,6576 TL | | 434,5 | 1,1499 TL | | 455,2 | 1,1670 TL |

Kısaltmalar: D Otm- Düz mak. Otomat, 3İP- 3 iplik overlok, 5İp- 5iplik overlok, Çİ- Çift iğne makine, D- Düz makine, Ü- Ütü, Çİ Otm.- Çift iğne otomat

Tablo 4 incelendiğinde kemer takma ve kemer üst baskı dikişleri için F4 işletmesinde 2 adet düz makine kullanıldığı ve 42,1sn zaman harcanarak 0,1079TL maliyet ile üretilebildiği görülmüştür. Buna karşın F1, F2, F3 işletmelerinde bu iki işlem için kemer takma otomat makinesi kullanılmış ve %26-%46 nispetinde daha kısa sürede ve %23-%33 oranında daha düşük maliyet ile tamamlanmışlardır. Benzer şekilde F1 işletmesi paça kırım ve paça ucu baskı işlemlerini paça otomat makinesini kullanarak 10sn gibi çok kısa bir süre ve 0,0258TL maliyet ile tamamlarken diğer işletmelerde bu işlemler için 1 adet ütü ve 1 adet düz makine kullanılmış olup %83 ile %85 arasında değişen oranlarda daha yüksek maliyet ile tamamlanmıştır.

Yine arka cep ağzı kırım ve arka cep ağzı dikiş işlemleri için F1 işletmesinde çift iğne otomat makine kullanılarak 8sn ve 0,0258TL gibi kısa süre ve düşük maliyet ile işlem yapılırken diğer işletmelerde ütü+düz makine yada ütü+çiftiğne makineleri kullanılarak F2, F3, F4 işletmeleri için sırasıyla 43sn ve 0,1146TL; 39sn ve 0,1032TL; 51sn ve 0,1305TL 'ye üretebilmişlerdir. Bu operasyon bazında bakıldığında F1 işletmesinin işlem süresi ortalama %81 daha kısa ve ortalama %77 oranında daha düşük maliyet ile gerçekleşmiştir. Tüm bu veriler üretim parkurunda kullanılan makinelerin teknolojik seviyesinin artmasına bağlı olarak operasyon birim süre ve birim maliyetlerinde önemli derecede düşüşlerin olabileceğini göstermektedir.

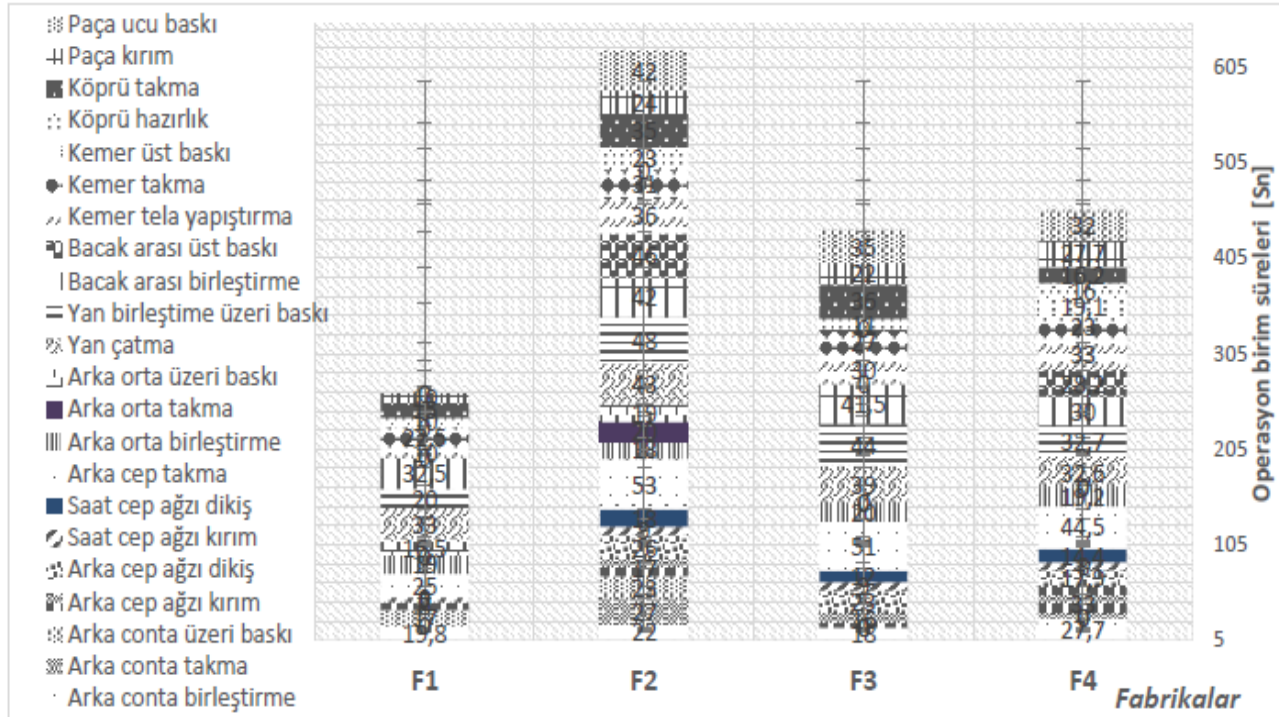
İş-zaman etüdü yöntemlerine göre her bir operasyonun birim süreleri (Şekil 5) bant içinden alınmış ve kurulan bant akış diyagramları oluşturulmuştur. Vardiya süresi, operasyon sayısı ve günlük üretim adetleri sabit tutularak

bant akışları üzerinden yapılan hesaplamaların sonuçları Tablo 5'te verilmiştir. Buna göre F1 işletmesi bu 22 operasyonda 13 işçi kullanırken F2 işletmesi 31 işçi kullanarak %59 oranında daha fazla işçi ile işi yapabilmektedir. Tablo incelendiğinde F1 işletmesinin 15 makine kullandığı, bandın ihtisaslaşma düzeyinin ve otomatize olma düzeyinin yüksek olmasına bağlı olarak makine yarı parasal verimliliğinin 0,045TL olduğu ve diğer işletmelere nazaran %13-%28 nispetinde daha düşük iş gücü maliyeti ile rekabet edebileceği anlamına gelmektedir.

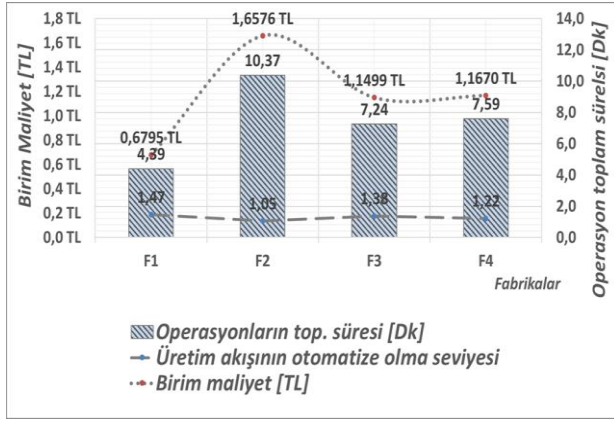
Tablo 5. Belirlenen 22 adet operasyona ait teknik bazı göstergeler

| TEKNİK VERİLER | F1 | F2 | F3 | F4 |
|---|-------|-------|-------|-------|
| Vardiya Süresi, VT, [saat] | 9 | 9 | 9 | 9 |
| Operasyon sayısı | 22 | 22 | 22 | 22 |
| Vardiya üretim adedi, VP [adet] | 1600 | 1600 | 1600 | 1600 |
| 22 operasyonda çalışan işçi sayısı, O [işçi] | 13 | 31 | 21 | 23 |
| 22 operasyonda kullanılan makine sayısı, | 15 | 21 | 16 | 18 |
| 22 operasyonun ihtisaslaşma düzeyi, [operasyon/mak.] | 1,47 | 1,05 | 1,38 | 1,22 |
| 22 operasyon için otomatize olma düzeyi, [operasyon/işçi] | 1,69 | 0,71 | 1,03 | 1,00 |
| 22 operasyonun toplam maliyeti, [TL] | 0,679 | 1,657 | 1,149 | 1,167 |
| Makine yarı parasal verimlilik, [TL/makine] | 0,045 | 0,079 | 0,071 | 0,064 |

F1 işletmesinde akışın otomatize olma seviyesi yüksek olduğundan birim süre düşük ve maliyetlerde ona bağlı olarak azalmıştır (Şekil 6). Operasyonların toplam süresi, bandın otomatize olma seviyesi ile sıkı bir ilişki içinde olup bu değer düştükçe süre ve birim maliyetin arttığı görülmektedir.



Şekil 5. Seçilen 22 adet operasyonun birim süreleri



Şekil 6. Seçilen 22 adet operasyonun otomatize olma düzeyinin üretim süresi ve maliyete etkisi

Şekil 6 ve Tablo 6'daki verilerden görüldüğü gibi birim dikim süresi, bantın otomatize olma seviyesi, makine yarı parasal verimlilik ve birim maliyet arasında önemli ilişkiler bulunmaktadır. Excell programında oluşturulan korelasyon matrisi incelendiğinde birim süre ile birim maliyet arasında 0,998 korelasyon katsayısı ile ifade edilebilecek sıkı bir ilişkinin var olduğu görülmektedir. Akışın otomatize olma seviyesinin birim iş süresi ile -0,947 ve birim maliyet ile -0,938 korelasyon katsayısı ile ifade edilebilecek sıkı bir ters ilişki bulunmaktadır.

Yani bant içerisinde otomat makineler kullanıldıkça üretim süresi ve birim maliyet neredeyse aynı oranda düşmektedir. Makine yarı parasal verimliliğinin birim süre ile 0,936 ve birim maliyet ile 0,940 korelasyon katsayısı ile ifade edecek sıkı bir ilişki varken akışın otomatize olma seviyesi ile -0,782 korelasyon katsayısında yine yüksek düzeyli ters yönde bir ilişki olduğu görülmektedir.

Tablo 6. Belirlenen 22 adet operasyona ait bazı göstergelerin korelasyon matrisi

| Korelasyon Matrisi | | | | |
|--------------------------------|---------------|---------------|--------------------------------|--------------------------------|
| | Birim Süreler | Birim maliyet | Akışın otomatize olma seviyesi | Makine yarı parasal verimlilik |
| Birim Süreler | 1 | | | |
| Birim maliyet | 0,998 | 1 | | |
| Akışın otomatize olma seviyesi | -0,947 | -0,938 | 1 | |
| Makine yarı parasal verimlilik | 0,936 | 0,940 | -0,782 | 1 |

Montaj hatlarında akışın otomatize edilip ihtisaslaşma düzeylerinin artırılması ile fiziki işgücüne olan bağımlılık önemli oranda azaldığından daha insancıl bir üretimin ortaya çıkması söz konusu olabilmektedir. Bu değer arttıkça işletmenin daha yüksek bir üretim stratejisine sahip olduğu, çalışanların daha az yorulduğu, iş güvenliği açısından daha güvenli bir ortamın olduğu ve işin daha yüksek kalitede üretildiği sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu göstergelerin tamamının parasal olarak

karşılığının olduğu ve işletmelerin rekabet edebilirlik gücünde önemli bir yer tuttuğu tespit edilmiştir.

4. SONUÇ

Teknolojinin yaygınlaşması ve üretim alanlarında yoğun şekilde kullanılması ile birlikte düşük maliyet ve yüksek kalite ile ürünlerin imalatı mümkün olmuştur. Farklı makine teknolojilerine sahip dört işletmenin üretim hatları incelenerek elde edilen veriler analiz edildiğinde teknolojinin rekabet edebilirlikte çok önemli bir parametre olduğu ortaya çıkarılmıştır. Üretimde işçilik maliyetleri önemli bir yer tutmaktadır ve bu maliyetleri düşürmede kullanılan makine teknolojisinin önemi çok büyüktür. F1 işletmesinde kullanılan otomat makine sayısının yüksek olması işletmeyi neredeyse tüm göstergelerde daha rekabetçi kılmıştır. Üretim hattında kullanılan otomat makine sayısı arttıkça işgücüne olan bağımlılık azalmakta, üretim süresi kısaldığından dolayı maliyetler düşmekte, pazara sunulan ürünlerin kalitesinde belli bir standart oluşmakta, daha güvenli bir ortam oluşması sebebiyle de iş kazalarında önemli oranda düşüşler olabilmektedir.

İşletme yöneticileri pek çok kez yeni teknoloji satın alma konusunda çekimser davranabilmektedirler. Yapılan araştırmanın sonuçlarından hareketle ilk yatırım maliyetleri işverene yüksek görünse bile uzun vadede teknolojik seviyesi yüksek makinelerin yaratacağı yüksek kalite ve düşük maliyet unsurlarını dikkate alarak hareket etmeleri önerilmiştir. Hazır giyim sektöründe rekabet edebilirlik için yüksek teknolojiye sahip makinelerin satın alınıp kullanılmasının büyük bir zaruret olduğu kanaatine varılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] TİM 2019 yılı ihracat rakamları, <https://www.tim.org.tr/tr/ihracat-rakamlari> (Erişim: 01.05.2020)
- [2] Erol E, Paşayev N. Analyzing production cost of small and medium sized enterprises in terms of sewing department production conditions. Textile and Apparel. 2014;24(1): 134-140.
- [3] Eryürük S.H. Clothing assembly line design using simulation and heuristic line balancing techniques. Textile and Apparel. 2012; 22(4): 360-368.
- [4] Kurumer G. Kesimhanelerde zaman etütleri ve etüt değerlerinin pratik kullanımını sağlayacak bir sistemin araştırılması. Tekstil ve Konfeksiyon. 1991;1(2): 158-163.
- [5] Paşayev N. Konfeksiyon üretiminde üretim planlamasının kumaş giderlerine etkilerinin araştırılması. Tekstil ve Konfeksiyon. 2010;20(3): 262-270.
- [6] Yücel Ö, Güner M. Giysi dikim süresine etki eden faktörlerin analizi. Tekstil ve Konfeksiyon. 2008;18(1): 41-48.
- [7] Güner M, Ünal C, Arıkan C. Konfeksiyonda iş örnekleme metodu ve yakınlık derecesi prosedürü

- ile yerleşim planlaması. *Tekstil ve Konfeksiyon*. 2010; 20 (2): 172-177.
- [8] Kayaalp İ.D, Erdoğan M.Ç. Konfeksiyon işletmesinde dikiş hatalarının istatistiksel proses kontrol yöntemlerini kullanarak azaltılması. *Tekstil ve Konfeksiyon*. 2009;19(2): 169-174.
- [9] Eryuruk S.H, Kalaoglu F, Baskak M. Assembly LineBalancing in a ClothingCompany. *Fibres&Textiles in Eastern Europe*. 2008;16 (1): 93-98.
- [10] Kanat S, Güner M. Tekstil ve konfeksiyon işletmelerinde verimlilik ölçümü. *Tekstil ve Konfeksiyon*. 2007; 17(4): 279-283.
- [11] Ünal Z. B, Erdoğan M. Ç, Öndoğan Z. Konfeksiyon işletmelerindeki makinelerin kârlılık üzerine etkileri. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 2005;11(2): 249-255
- [12] Bilgiç H, Baykal D. P. Örme konfeksiyonda kumaş eni ile kumaş ve model türünün ikinci kalite maliyetine etkisi. *Tekstil ve Mühendis*, 2017; 24 (106): 78-87.



Makine Öğrenmesi Yöntemleri Kullanılarak Elektrikli Cihazların Sınıflandırılması

Feyyaz KOÇ^{1*}, Abdulkerim KARABİBER¹

¹ Bingöl Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bingöl, Türkiye
 Feyyaz KOÇ ORCID No: 0000-0002-1024-7889
 Abulkerim KARABİBER ORCID No: 0000-0003-0244-4425

*Sorumlu yazar: fkoc@bingol.edu.tr

(Alınış: 24.12.2020, Kabul: 29.03.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Anahtar Kelimeler
 Makine öğrenmesi, Sınıflandırma, Elektrikli ev aletleri, Destek vektör makineleri

Öz: Elektrik enerjisinin daha verimli bir şekilde kullanılabilmesi güç sistemlerinin takip ve analizi ile mümkündür. Üretim ve tüketim tarafında yer alan sistem bileşenlerinin doğru tanımlanması durumunda, güç sistemlerinin karakteristik davranışları ve muhtemel tepkileri belirlenebilmektedir. Ayrıca, yük atma ve yük kaydırma gibi güç kontrol uygulamalarında elektrikli aletlerin yük modellerine göre sınıflandırılması gerekmektedir. Bu çalışmada, tüketim tarafında yer alan elektrikli cihazlar aktif ve reaktif güç tüketimleri referans alınarak sınıflandırılmaktadır. Örnek elektrikli cihaz olarak evlerde ve ofislerde sıkça kullanılan 5 adet farklı tüketim karakteristiğine sahip cihaz seçilmiştir. Sınıflandırma için son zamanlarda yaygın olarak kullanılan makine öğrenmesi algoritmalarından destek vektör makineleri, kolektif öğrenme ve karar ağaçları seçilip karşılaştırılmış ve bu sınıflandırıcıların yapılarından en iyi sonuçları veren beş algoritmanın performansı analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre %83,4 ile en yüksek doğruluk oranını ve 50,285 saniye ile en kısa eğitim süresinde veren yöntem destek vektör makineleri olmuştur.

159

Classification of Electrical Appliances Using by Machine Learning Methods

Keywords
 Machine learning, Classification, Electrical equipment, Support vector machines

Abstract: More efficient use of electrical energy is possible with the monitoring and analysis of power systems. In the case system components on the production and consumption side are defined correctly, the characteristic behavior and possible responses of the power systems can be determined. In addition, electrical devices should be classified according to load models for power control applications such as load shedding and load shifting. In this study, electrical devices on the consumption side are classified based on their active and reactive power consumption. Five electrical devices with different consumption characteristics, which are frequently used in homes and offices, have been selected for the experiments. For the classification of devices, support vector machines, ensemble learning and decision trees, which are among the machine learning algorithms used recently, were selected and compared, and the performance of the five algorithms that gave the best results from the structures of these classifiers were analyzed. According to the results, support vector machines were the method that gave the highest accuracy rate with 83.4% and the shortest training time with 50.285 seconds.

1. GİRİŞ

Ülkelerin kalkınma, refah ve gelişimlerini sağlamada birincil derecede önemli olan enerji, teknoloji ile birlikte hayatın birçok alanında temel ihtiyaç haline gelmiştir. Enerji tedarikinde yenilenebilir ve fosil ürünü kaynaklar kullanılmaktadır. Dünya genelinde enerjinin büyük bir kısmı fosil yakıtlara dayalı petrolden karşılanmaktadır. Petrol ürünleri çevreye zararlı, tükenbilir ve birçok ülke için pahalı enerji kaynaklarıdır. Petrol rezervlerinin azalmasıyla birlikte enerji maliyetleri daha da

yükselmeye başlamıştır [1]. Enerji tedarikinde diğer bir kaynak olan yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemli avantajları çevre dostu, her yerde bulunabilir ve tükenmez olmalarıdır. Ancak ilk yatırım maliyetinin fazla olması ve üretimlerinin kesintili olması nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı kısıtlı kalmaktadır. Yenilenebilir ve petrol türevi enerji kaynaklarının sahip olduğu bu olumsuzluklar ve artan enerji talebi göz önüne alındığında, enerjinin daha verimli kullanılması gerektiği görülmektedir.

Enerjinin daha etkin ve verimli kullanılması hususunda farklı çözüm önerileri sunulmaktadır. Bu önerilerden bir tanesi elektrikli cihazların, enerjinin ucuz olduğu saatlerde kullanılmasını sağlayana zaman tabanlı enerji yönetimidir [2]. Bu ve benzeri enerji yönetim sistemleri için elektrikli cihazların karakteristik özelliklerine göre sınıflandırılması gerekmektedir. Cihazların sınıflandırılmasındaki en önemli nokta tüketim esnasında akım, gerilim, güç ve güç faktörü gibi imza niteliğinde olan özelliklerin tanımlanmasıdır [3]. Referans [4] ve [5]'te hane halkının tercih edilen sıcaklığa göre, ortamın sıcaklığını otomatik olarak ayarlayan ısıtma/soğutma sistemlerinin enerji tüketimini azaltacağı gösterilmektedir. Enerji tasarrufu sağlamaya yönelik bir diğer çalışma, faaliyet tabanlı maliyet sistemidir. Bu sistemin amacı, işletme koşulları altında cihazların maliyetini ve enerji giderlerini belirlemektir [6]. Evleri bir bütün olarak düşünerek binaların enerji yönetim sistemine geliştirmeye yönelik çalışmalar da vardır. Örneğin enerji tasarruflu zincir yönetimi, binalar için enerji tasarrufu performansını en üst düzeye çıkarmayı hedefleyen etkili bir yöntem olmuştur [7]. Ayrıca yapılan araştırmalar evsel tesislerin enerji yönetiminde bilinçlendirme yardımları ile toplam olarak %20 enerji tasarrufu sağladığını göstermektedir [8].

Enerjinin verimli kullanılması ve üretiminde çevreye verdiği zararın önlenmesi her bir bireyin bu konuda bilinçlenmesi ve sorumluluk alması ile mümkündür. Bu kapsamda, enerji yönetiminin evden başlaması gerektiği düşünülerek konut enerji yönetim sistemi geliştirilmiştir [9]. İlgili çalışmada kontrol otomasyonu, optimize edilmiş insan benzeri kararlar önermek için yapay sinir ağları ve destek vektör makinesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kamu binalarında enerji verimliliği konusunu ele almak adına enerji tüketimini tahmin etmek için makine öğrenimi modelleri oluşturulmuştur [10]. Bu çalışmalarda, akıllı şehir kavramının bir parçası olarak kamu binaları için makine öğrenimi tabanlı enerji yönetimi mimarileri önerilmektedir. Solar güç sistemleri, artan enerji ihtiyacını karşılamak için güvenilir, ucuz ve çevre dostu bir alternatiftir. Solar santrallerin tesis ediliş yerinin seçimi için fizibilite çalışmalarının yapılması ve sistemlerin elde edilen analiz sonuçlarına göre tasarlanması, yapılacak yatırımların maliyet/fayda oranının belirlenmesi açısından önemli bir adım olmaktadır. Kurulması planlanan solar santrallerin üretim kapasitesini tahmin etmek makine öğrenmesi modelleri ile mümkündür [11]. Bu amaç doğrultusunda, solar sistemler için güneş ışınımı tahmin etmek için yapay sinir ağları, çoklu doğrusal regresyon ve en yakın komşu regresyon yöntemleri kullanılmış ve tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir.

Bu çalışmada, elektrikli aletler makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak sınıflandırmaktadır. Elektrikli alet olarak ofislerde ve evlerde sıklıkla kullanılan beş adet elektrikli cihaz seçilmiştir. Bu aletlerin aktif ve reaktif güç tüketim değerleri ile akım ve gerilim harmonikleri ölçülmüş ve öznelikleri çıkarılmıştır. Öznelik çıkarmak için bir boyutlu yerel ikili örüntü operatörü ile aritmetik ortalama, standart sapma ve ortanca değer fonksiyonları kullanılmıştır. Seçilen

cihazların sınıflandırılmasında makine öğrenmesi algoritmalarından destek vektör makinaları, karar ağaçları ve kolektif öğrenme yöntemleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre destek vektör makinalarının iki yapısı olan doğrusal destek vektör makineleri ve kuadratik destek vektör makineleri; sınıflandırıcı toplulukların yapılarından olan ağaç topluluğu ve altuzay diskriminant ve karar ağaçlarının yapılarından olan iyi ağaç yöntemleri en iyi sonuçları veren sınıflandırıcılar olmuştur.

2. MODEL GELİŞTİRME VE ÖZELLİK SEÇİMİ

2.1. Özellik Çıkarma ve Seçimi

Yirmi birinci yüzyıl, bilginin hızlı geliştiği bir çağdır. Bu çağda veri miktarında büyük artışlar olmuştur. Büyük hacimli verilerin içinden yararlı bilginin çıkarılması veri madenciliğinin görevidir [12]. Bu işlem, bir veri tabanındaki büyük miktarda veriden gizli, önceden bilinmeyen ve potansiyel olarak değerli bilgileri ortaya çıkarma sürecidir [13-15]. Veri madenciliğinde en önemli aşamalardan biri veri boyutunun küçültülmesidir. Veri boyutunun küçültülmesi ilgisiz verilerin çıkarılmasını ve işlem yükünün azalmasını sağlar [16]. Özellik seçimi, veri kapsamını küçültmek için kullanılan metotlardan biridir. Özellik seçimi gerçekleştirilmenin asıl amacı, sinyallerin alakalı veya eşsiz özelliklerini ortaya çıkarmaktır. Bu özellikler daha sonra ilgili verilerin en doğru şekilde sınıflandırılması için kullanılır. Başka bir deyişle, özellik seçimi, orijinal veri kümesini temsil edebilecek en iyi alt kümenin seçimi olarak tanımlanır veya tüm veri kümesini en doğru şekilde tanımlamak için gereken veri miktarını basitleştirir veya en aza indirir [17]. Bu çalışmada, beş adet cihazdan alınan veri setini sınıflandırmak için yapılan özellik çıkarımında; aritmetik ortalama, standart sapma, ortanca değer ve bir boyutlu yerel ikili örüntü tekniği kullanılmıştır.

Bilinmeyen bir örüntünün sınıflandırılması üç kategoriye dayanmaktadır. Bunlar, istatistiksel, deterministik ve bulanık küme teorisi ilkeleridir. İstatistiksel özellik metodu, verileri minimize etmek ve cihazlardan elde edilen anlık aktif ve reaktif güç verilerinden özellikler çıkarmak için kullanılır.

Sinyal; x_1, x_2, \dots ve x_n olan birçok veri içerdiğinden, veriler aşağıdaki istatistiksel özelliklerin üçüne indirgenir.

Özellik 1: Aritmetik ortalama, bir sayı dizisindeki sayıların toplamının dizideki eleman sayısına bölünmesi ile elde edilen değerdir.

$$\text{Aritmetik Ortalama} = X_a = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{N} \quad (1)$$

Özellik 2: Standart sapma, analiz edilen verilerin ortalamasını belirledikten sonra varyansın karekökü alınarak elde edilen değerler dizisidir. Standart sapma, her bir veri noktasının ortalamaya göre sapması belirlenerek varyansın karekökü olarak hesaplanır [11].

Elde edilen veriler ortalama değerden uzak ise sapma değeri yüksek çıkar. Diğer bir ifadeyle, veriler birbirinden ne kadar uzak ise standart sapma o kadar yüksek olur.

$$\text{Standart sapma (std)} = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2)$$

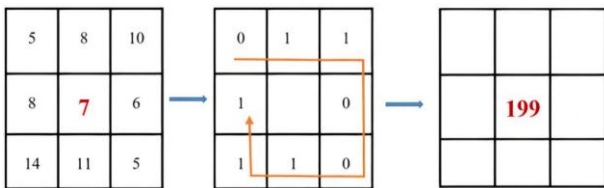
Özellik 3: Ortanca değer (Medyan), bir sayısal veri serisi sıralandığında ortada kalan sayıdır.

$$\text{Tek sayıda veri} = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9\} \quad (3)$$

$$\text{Çift sayıda veri} = \begin{cases} \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8\} \\ \downarrow \\ \frac{x_4 + x_5}{2} \end{cases} \quad (4)$$

2.2. Yerel İkili Örüntü

Görüntü işleme uygulamaları için etkili ve üretken yöntemlerden biri Yerel İkili Örüntü (YİÖ) yöntemidir. YİÖ kullanılarak, yerel olarak tekrar eden kalıplar ortaya çıkarılır. YİÖ genel olarak 3x3 piksel görüntülere uygulanır. YİÖ'de, 3x3 piksel görüntülerin merkez değeri, komşu sekiz piksele göre yeniden kodlanır. YİÖ yönteminin açıklayıcı bir görsel örneği Şekil 1'de gösterilmektedir [18]. YİÖ kodlaması yapıldığında, gri seviye değerleri dikkate alınır. Merkezi piksel değeri ilk piksel (sol üst) değerle karşılaştırılır. Merkezi piksel değeri ilk piksel değerinden büyükse, 1 olarak kodlanır, aksi takdirde 0 olarak kodlanır. Bu, diğer komşu pikseller için de gerçekleştirilir. İkili sayı, sol üstteki pikselden başlayarak kodlanır ve Şekil 1'de gösterilen yönde ilerledikten sonra 8 bitlik bir ikili sayı elde edilir. Orta pikselin yeni değeri, elde edilen 8-bit ikili sayının ondalık eşdeğeri [19].



Şekil 1. 3x3 Piksel görüntü için yerel ikili örüntü kodlaması

2.3. Bir Boyutlu Yerel İkili Örüntü

3x3 YİÖ'den bir boyutlu YİÖ dönüştürme işleminde, 3x3 piksel görüntü yerine dokuz örnek-uzunluklu pencere yapısı dikkate alınır. Bu pencere yapısı Şekil 2'de gösterilmektedir. P_i , penceredeki i . örneği temsil eder ve P_c , merkezi örnek olarak isimlendirilen beşinci örneği temsil eder. Bir boyutlu YİÖ yönteminin temel matematiksel ifadesi Eşitlik 5'te gösterildiği gibidir.

$$P_c = \sum_{i=1}^N f(x)2^{i-1} \quad (5)$$

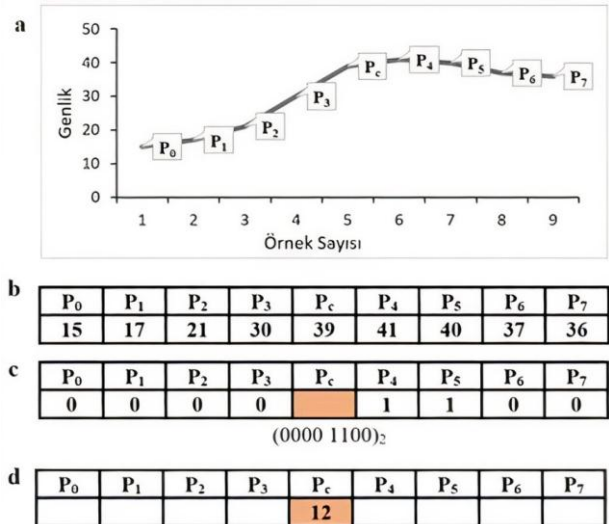
Burada $f(x)$ işaret fonksiyonu olup şu şekilde ifade edilir:

$$f(x) = \begin{cases} 0, & P_i < P_c \\ 1, & P_i \geq P_c \end{cases} \quad (6)$$

| | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| P_1 | P_2 | P_3 | P_4 | P_c | P_6 | P_7 | P_8 | P_9 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|

Şekil 2. Bir boyutlu yerel ikili örüntü pencere yapısı

Örnek bir uygulama olarak Şekil 3(a) ve (b)'de gösterilen x ($x = 15, 17, 21, 30, 39, 41, 40, 37, 36$) gibi bir sinyal ele alınmıştır. Bir boyutlu YİÖ'de, Şekil 3 (c) 'de gösterildiği gibi, en soldaki komşudan (P_1) başlayarak ve komşu dizileri merkezi örnekle karşılaştırarak 8 bitlik bir ikili dizi elde edilir. Merkezi numune değeri, 8-bit ikili sayının Eşitlik (4) kullanılarak ondalık sayıya dönüştürülmesiyle elde edilir (Şekil 3(d)). Bir boyutlu YİÖ işlemi, pencerenin tüm sinyal boyunca kaydırılmasıyla gerçekleştirilir [20].



Şekil 3. Örnek bir sinyal için bir boyutlu YİÖ kodlaması

3. SINIFLANDIRMA ALGORİTMALARI

Makina öğrenimi günümüzün en çok üzerinde durulan kavramlarından biridir. Bilgisayar algoritmalarının genel adı olan bu kavram, belirlenmiş bir problemi kendisine ait ortamdaki elde edilen verileri kullanarak modeller. Bu alanda oldukça fazla çalışmanın varlığından dolayı önerilen birçok yaklaşım ve algoritma mevcuttur. Probleme yaklaşımlarına göre farklılık gösterebilen makina öğrenimi yöntemleri, farklı problemlerde farklı başarılarla sahip olabilirler.

Sınıflandırmada hiç bilinmeyen bir örneğe mantıklı cevap verilmesi amaçlanır. Bunun için de sınıflandırıcılar önceden eğitilir. Veri sayısı sınırlı olur. Bu sınırlı verilerin bir kısmı eğitimde bir kısmı da sistemin başarısının test edilmesinde kullanılır. Bu ölçümün başarısının tarafsız bir şekilde olması gerekir.

Bunun için çapraz geçerlik ismiyle bilinen metotlar kullanılmaktadır. Çapraz geçerlilik ya da k-kat çapraz geçerlilik, veri kümesinin rastgele 'k' tane gruba bölünmesi işlemidir. Bu gruplardan biri test için kullanılırken kalanlar eğitim için kullanılır. Daha sonra başka bir grup eğitimde kalanlar testte kullanılır. Bu şekilde işlem tekrarlanır ve böylece her grup hem eğitilmiş hem de testte kullanılmış olacaktır. Her grubun eğitilmiş olması modelin doğruluğunu artırmaktadır. Örneğin, şekil 4'te hayali bir model için çapraz geçerlilik katı 5 olarak belirlenmiştir. Yani veri kümesi 5 gruba ayrılmış ve model 5 kez eğitilip test edilmiştir. Böylece her grup hem test seti hem de eğitim seti olarak kullanılmıştır.

| | | | | | |
|-------------|-------|-------|---------------|-------|-------|
| Bölme 1 | Kat 1 | Kat 2 | Kat 3 | Kat 4 | Kat 5 |
| Bölme 2 | Kat 1 | Kat 2 | Kat 3 | Kat 4 | Kat 5 |
| Bölme 3 | Kat 1 | Kat 2 | Kat 3 | Kat 4 | Kat 5 |
| Bölme 4 | Kat 1 | Kat 2 | Kat 3 | Kat 4 | Kat 5 |
| Bölme 5 | Kat 1 | Kat 2 | Kat 3 | Kat 4 | Kat 5 |
| Test Verisi | | | Eğitim Verisi | | |

Şekil 4. Çapraz geçerliliği 5 olarak alınan model

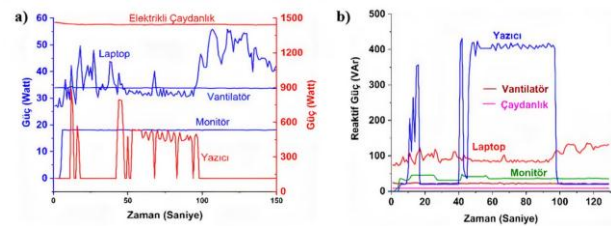
Makina öğrenimi alanında sınıflandırma problemlerini çözmeye yönelik çeşitli algoritmalar geliştirilmiştir. Bunlardan biri olan Destek Vektör Makineleri, örüntü tanıma ve sınıflandırma problemlerinin çözümü için Vapnik tarafından geliştirilmiştir [21]. Destek Vektör Makineleri (DVM) 1970'lerin sonlarında sunulmuş, istatistiksel öğrenme teorisine dayalı öğrenme algoritmalarıyla birlikte yaygın olarak kullanılan bir denetimli öğrenme modelidir [22]. Küçük örneklem, doğrusal olmayan ve yüksek boyutlu örüntü tanıma problemlerini çözmeye birçok benzersiz avantaj gösterir [23-24]. Ek olarak, sağlam bir teorik temele ve basit ve anlaşılır matematiksel modellere sahiptir. Bu nedenle DVM, yüz tanıma, zaman serisi tahmini ve örüntü tanıma gibi birçok problemde yaygın olarak kullanılmaktadır [25-27]. Son yıllarda, DVM giderek daha fazla ilgi görmüş; bilgisayar bilimi, yenilenebilir enerji alanı, istatistik ve veri madenciliğinde çok kullanılan bir yöntem olmuştur [28].

Doğrusal DVM, doğrusal bir destek vektör makinesi tasarlamak için bir kesme düzlemi algoritmasının özgün bir tescilli sürümünü uygulayan algoritmadır. Doğrusal DVM ultra büyük veri kümelerinden, çok sınıflı sınıflandırma problemlerini çözmek için en yeni ve son derece hızlı makine öğrenimi yöntemidir. Doğrusal DVM, doğrusal olarak ölçeklenebilir bir yordamdır, yani eğitim veri kümesinin boyutuyla doğrusal olarak ölçeklenen bir zamanda bir DVM modeli oluşturur.

Bilinen diğer DVM modelleriyle karşılaştırmalarımız, yüksek doğruluk gerektiğinde üstün performansını açıkça göstermektedir. Bu çalışmada, yapılan sınıflandırmada en yüksek oranı doğrusal DVM sınıflandırıcısı vermiştir.

4. ELEKTRİKLİ EV ALETLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

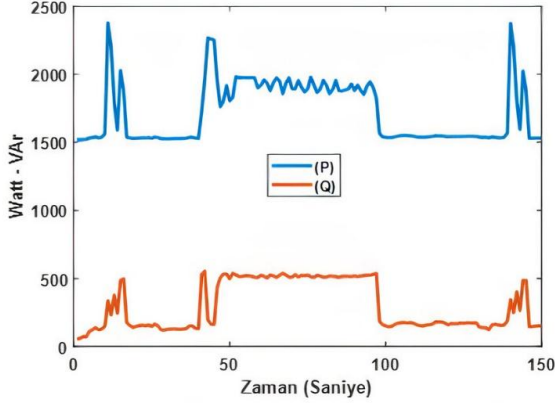
Bu çalışmada ofislerde sıkça kullanılan elektrikli aletlerin güç tüketimleri sınıflandırılmaktadır. Örnek cihaz olarak vantilatör, elektrikli çaydanlık, laptop, monitör ve yazıcı seçilmiştir. Deneylerde her bir cihazdan farklı sürelerde 15 adet ölçüm alınmıştır. Ölçüm aleti olarak Hioki PW3198 güç analizörü kullanılmıştır. Öznitelik çıkarımında 465 özellik bir boyutlu yerel ikili örüntü operatörü, 465 özellik standart sapma fonksiyonu, 465 özellik ortanca değer fonksiyonu ve 465 özellik aritmetik ortalama fonksiyonu kullanılarak toplam 1860 adet özellik sınıflandırmada kullanılmıştır. Özniteliklerin sınıflandırılmasına yönelik yapılan deneysel çalışmalarda çapraz geçerlilik yöntemi uygulanmıştır. Çapraz geçerlilik katmanı 10 olarak belirlenmiştir. Ölçüm alınan cihazların aktif güç tüketimleri Şekil 5(a)'da gösterilmektedir. Vantilatör tek kademedeki çalıştırıldığı için sabit güç çekmekte ve çektiği anlık güç yaklaşık olarak 34 Watt olmaktadır. Aynı şekilde monitör ve elektrikli çaydanlığın yükleri sabit olduğundan çektikleri aktif güçte sabit ve sırasıyla 18 W ve 1450 W olmaktadır. Yazıcının bekleme ve çalışma esnaslarında güç tüketimi farklıdır ve 0 W ile 900 W arasında değişmektedir. Benzer şekilde dizüstü bilgisayarın, kullanılan program ve donanıma bağlı olarak güç tüketimi 25 W ile 56W arasında değişmektedir. Şekil 5(b)'de aynı cihazların reaktif güç tüketimleri gösterilmektedir. Elektronik donanımı fazla olan cihazlarda reaktif güç tüketimi yüksek ve değişkendir. Bunun sebebi elektronik cihazlarda kullanılan yarı iletken anahtarlar elemanlarının harmonik üretmesi ve reaktif güç gereksinimidir. Manuel kontrole sahip elektrikli çaydanlık ve vantilatörde reaktif güç tüketimleri sabit ve azdır.



Şekil 5. Ölçümleri alınan cihazların, a) aktif ve b) reaktif güç tüketimleri

Veri seti oluşturmak amacıyla beş cihazın ayrı ayrı ve birlikte çalışma varyasyonları göz önünde bulundurularak toplam 465 ölçüm alınmıştır. Bu ölçümler, MATLAB programı veri çizme özelliği kullanılarak görselleştirilmiştir. Örnek olarak, Şekil 6'da aynı anda beş cihazın çalışması durumunda elde edilen aktif ve reaktif güç tüketimi gösterilmektedir. Yüz elli saniyelik güç tüketimini gösteren sinyaller anlık olarak değişkenlik göstermektedir. Bu değişkenliğin sebebi dizüstü bilgisayar ve yazıcının güç tüketimlerinin sabit

olmamasıdır. Her cihazın kendine özgü bir güç tüketme karakteristiği vardır. Örneğin yazıcıda aktif güç tüketiminde ani değişimler gözlenirken; ayaklı vantilatörde güç tüketimi sabittir. Bunun gibi ayırt edici karakteristik özellikler, elektrikli cihazlara ait 'güç imzası' ile kavramsallaştırılır. Güç imzalarından alınan bilgiler kullanılarak elektrikli cihazlar sınıflandırılmaktadır.

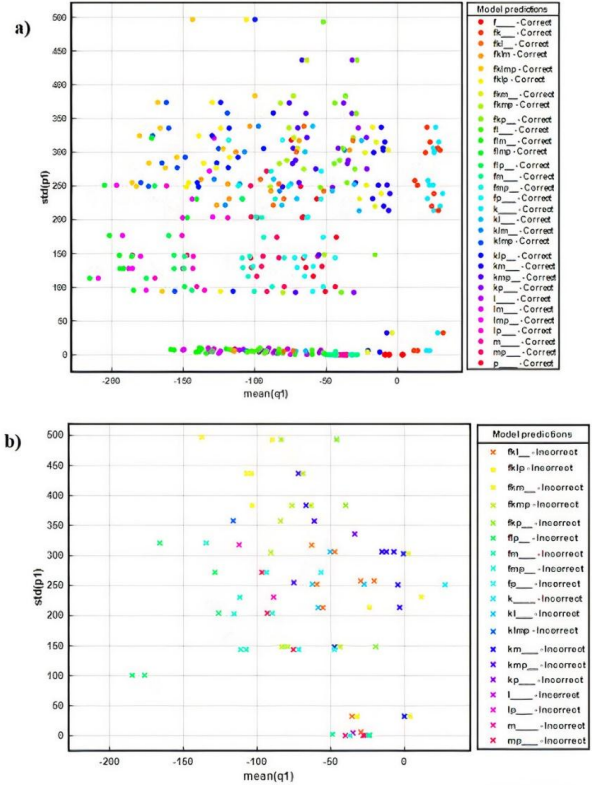


Şekil 6. Bütün cihazların aynı anda çalışması durumunda toplam aktif ve reaktif güç tüketimleri

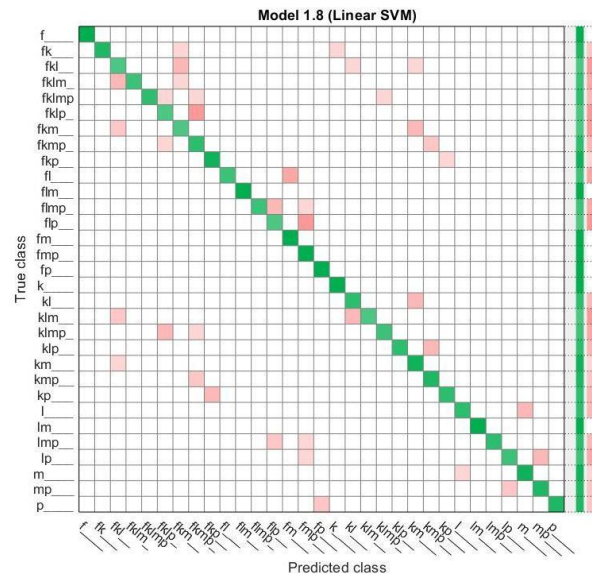
Elektrikli cihazlara ait öznitelikler standart sapma, ortanca değer ve aritmetik ortalama gibi fonksiyonlar ve bir boyutlu yerel ikili örüntü (1B-YİÖ) tekniği ile çıkarıldı. Bu özniteliklerden faydalanılarak MATLAB programında bulunan sınıflama ara yüzü (classification learner) kullanılarak cihazlar sınıflandırıldı. Sınıflama uygulaması, verileri sınıflandırmak için modelleri eğitir. Model eğitimi verilerin işlenmesi, özelliklerin belirlenmesi ve doğrulama şemalarının oluşturulması ile yapılır. MATLAB programında hazır ara yüz olarak 24 adet sınıflandırıcı bulunmaktadır. Karar ağaçları, ayırt edici analiz, destek vektör makineleri, lojistik regresyon, en yakın komşular, Naive Bayes ve topluluk sınıflandırması dahil olmak üzere en iyi sınıflandırma modeli türünü aramak için otomatik eğitimler gerçekleştirilebilmektedir.

Şekil 7(a)'da doğrusal Destek Vektör Makinası tekniğine dayalı tahmin modelinin doğru sonuçları gösterilmektedir. Dizüstü bilgisayar 'l', vantilatör 'f', elektrikli çaydanlık 'k', yazıcı 'p' ve monitör 'm' ile gösterilmektedir. Bunların ikili, üçlü, dörtlü ve beşli kombinasyonu, bu harflerin yan yana yazılması ile sembolize edilmiştir. Örneğin; 'fp' vantilatör ile yazıcının aynı anda çalışması durumunda oluşan sınıfı temsil etmektedir. Ayrıca her renk bir sınıfı temsil etmektedir. İlgili rengin ait olduğu sınıf şeklinde belirtilmiştir. Doğru tahmin edilen veriler dairelerle gösterilirken yanlış veriler çarpı işareti ile gösterilmektedir. Bu modelde 465 veriden 388 tanesi doğru 77 tanesi yanlış tahmin edilerek doğruluk oranı %83,4 olmuştur. 'p' 'f', 'fk' gibi bazı sınıflara ait veriler tam doğru tahmin edilmiştir. Diğer taraftan bazı sınıflara ait hem doğru hem de yanlış tahminler bulunmaktadır. Yapılan bütün yanlış tahminler Şekil 7 (b)'de gösterilmektedir. Yanlış tahminlere bakıldığında 19 sınıfa ait veriler görülmektedir. Şekil 8'de doğrusal destek vektör makinası sınıflandırıcısına ait karmaşıklık

matrisi verilmiştir. Karmaşıklık matrisinde, sinyallerin ait oldukları gerçek sınıflar ile doğrusal destek vektör makinası sınıflandırıcısına ait tahmin edilen sınıflar verilmiştir. 31 sınıfa ait sinyallerin ait oldukları sınıflarda ne oranda doğru veya yanlış tahmin edildiğini gösteren yeşil ve bej renkleridir. Yeşilin veya bejin tonları ise ilgili sınıfın ne oranda doğru veya yanlış tahmin edildiğini göstermektedir. Örneğin 'f' sınıfına ait sinyallerin tamamı doğru tahmin edildiği için ilgili bölme koyu yeşil olurken, 'fkm' sınıfına ait veriler en az doğru tahmin edilen sınıflardan biri olduğundan ilgili bölme açık yeşil olmuştur.



Şekil 7. Doğru ve yanlış tahmin edilen sınıflar



Şekil 8. Doğrusal DVM Sınıflandırmasına ait karmaşıklık matrisi

MATLAB programında yaygın bir şekilde kullanılan yöntemler ile yapılan sınıflandırmada en yüksek doğruluk oranına sahip 5 sınıflandırıcı Tablo 1'de verilmiştir. Tabloda sınıflandırıcıların doğruluk oranları, eğitim süreleri, tahmini hız değerleri verilmiştir. Tabloda; doğrusal DVM, Ağaç Topluluğu, Altuzay Diskiriminant, Kuadratik DVM ve İyi Ağaç sınıflandırıcılarına ait doğruluk oranları sırası ile %83,4, %82,8, %82,8, %82,2 ve %81,5 olarak ortaya çıkmıştır. Eğitim süresi, işlem yükünün azlığını ve programın etkinliğini gösteren parametre olduğundan kısa olması arzu edilir. Tabloya baktığımızda, doğruluk oranı en yüksek doğrusal DVM iken düşük İyi Ağaç olmuştur. Eğitim süreleri bakımından en hızlı olan 2,0946 saniyelik süre ile İyi Ağaç olmuştur. Altuzay Diskiriminant 186,81 saniyelik eğitim süresi ile en uzun süreye sahip olmuştur. En yüksek doğruluk oranına sahip olan Doğrusal DVM'de eğitim süresi 50,285 saniye olmuştur.

Çapraz doğrulama veya "k-kat çapraz doğrulama", veri kümesinin gelişigüzel "k" gruplarına ayrılması işlemidir. Bu gruplardan biri test seti olarak kullanılır ve geri kalanı eğitim seti olarak kullanılır. Böylece model her grup ile bu şekilde tekrarlı olarak eğitilir ve kalan diğer grup ile test edilir. Bu metotla tüm verileri kullanarak ilgili model eğitilmiş olacaktır. Bu eğitim, modelin tahmin başarısını belirlemede önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada, çapraz geçerlilik katı 10 olarak belirlenmiştir. Yani veriler 10 gruba ayrılmış ve modeller 10 defa eğitilip test edilmiştir. Tablo 2'de çapraz geçerlilik katının sabit ve sinyal sürelerinin farklı olması durumunda en yüksek doğruluk oranlarını veren sınıflandırıcılar gösterilmektedir. Sinyal süresi 20 saniye olması durumunda %69,2 doğruluk oranıyla en yüksek değeri Ağaç Topluluğu modeli vermiştir. Sinyal süresi 45 oluncaya kadar sınıflandırıcılarda doğru tahmin etme artmıştır. Örneğin, sinyal süresi 30 saniyelik iken oran %75,9 (Ağaç Topluluğu) ve sinyal süresi 40 saniye olduğunda oran %80,2 (İyi Ağaç) olmuştur. Sinyal süresi 45 olduğunda ise en yüksek oran olan %83,9 (Doğrusal DVM) elde edilmiştir. Sinyal süresinin 45 saniyenin üstüne çıkması durumunda sınıflandırıcıların doğru tahmin oranı nispeten azalmaktadır. 50 saniyelik sinyal süresinde en yüksek doğruluk oranı %82,6 ile Doğrusal DVM olmuştur. 60 ve 70 saniyelik sinyal sürelerinde ise en yüksek doğruluk oranları %79,6 (Ağaç Topluluğu) ve %78,1 (Ağaç Topluluğu) olarak gerçekleşmiştir. Bu sonuçlar sinyal süresine bağlı olarak sınıflandırıcı modellerinin doğruluk oranının değiştiğini ve en iyi doğruluk oranının 45 saniyede alındığını göstermektedir.

Tablo 1. En iyi sonucu veren beş sınıflandırıcıya ait sonuçlar

| Sınıflandırıcılar | Doğruluk (%) | Eğitim Süresi (san.) | Tahmin Hızı (1/san.) |
|-----------------------|--------------|----------------------|----------------------|
| Doğrusal DVM | 83,4 | 50,285 | 200 |
| Ağaç Topluluğu | 82,8 | 179,94 | 550 |
| Altuzay Diskiriminant | 82,8 | 186,81 | 430 |
| Kuadratik DVM | 82,2 | 93,625 | 100 |
| İyi Ağaç | 81,5 | 2,0946 | 6700 |

Tablo 2. En yüksek doğruluk oranını veren sınıflandırıcılar

| Sinyal Süresi (Saniye) | Çapraz Geçerlilik | Doğruluk (%) | Sınıflandırıcı |
|------------------------|-------------------|--------------|----------------|
| 20 | 10 | 69,2 | Ağaç Topluluğu |
| 30 | 10 | 75,9 | Ağaç Topluluğu |
| 40 | 10 | 80,2 | İyi Ağaç |
| 45 | 10 | 83,9 | Doğrusal DVM |
| 50 | 10 | 82,6 | Doğrusal DVM |
| 60 | 10 | 79,6 | Ağaç Topluluğu |
| 70 | 10 | 78,1 | Ağaç Topluluğu |

Sınıflandırma işleminin tam doğru olması için, verilerin net özelliklerle birbirlerinden ayrılması gerekir. Bu durum pek mümkün olmadığı için genellikle doğruluk oranı %100 çıkmaz. Bu çalışmada yanlış çıkan veri sayısı 77 olmuştur. Şekil 7(b)'de gösterilen bu veriler incelendiğinde, 'f' ve 'k' ile sembolize edilen vantilatör ve elektrikli çaydanlığın içinde bulunduğu veriler çoğunluktadır. Şekil 5(a) incelendiğinde, vantilatör ve laptop güç tüketim değerlerinin birbirlerine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Bu durum, bu iki sinyalden çıkarılan özneliklerin benzer çıkmasına ve yanlış sınıflandırmaya sebep olmaktadır. Şekil 5(b) incelendiğinde ise elektrikli çaydanlık, vantilatör ve monitör sinyalleri birbirlerine yakındır. Aynı şekilde bu durum da öznelik çıkarmada benzerliğe sebep olacağından, yanlış tahminlere neden olmaktadır.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, ofis aletlerini güç tüketimlerine göre sınıflandırmada sezgisel yöntemlerin performansları karşılaştırılmıştır. Örnek cihaz olarak elektrikli çaydanlık, vantilatör, yazıcı, dizüstü bilgisayar ve monitör kullanılmış ve bu cihazlarından farklı varyasyonlarda ölçümler alınmıştır. Ölçüm verileri MATLAB programında sıkça kullanılan başlıca yöntemler ile sınıflandırılmıştır. Sınıflandırmalarda belirleyici özellik olarak aktif ve reaktif güçler ile gerilim ve akım armonikleri kullanılmıştır. En yüksek doğruluk oranını elde etmek için beş farklı tip sınıflandırıcı karşılaştırılmıştır. Sınıflandırıcıların doğruluk oranları eğitim için kullanılan sinyallerin süresine bağlı olarak farklılık gösterdiği gözlemlenmiştir. En yüksek oranın %83,9 ile Doğrusal Destek Vektörü yöntemine ait olduğu belirlenmiştir. Bu oran, 465 adet ölçümden elde edilmiş olup 388'nin doğru olarak tahmin edildiği anlamına gelmektedir. Yanlış verilerin genellikle çoklu cihaz kullanımlarında meydana geldiği görülmüştür. Gelecek çalışmada, cihazların aktif güç tüketimlerine göre alt sınıflara ayrılması ve bu sayede başarı oranının artırılması hedeflenmektedir.

Teşekkür

Çalışmamızda yardımlarından dolayı Ömer Faruk ALÇİN ve Hüseyin ÜZEN'e teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] Aydın Ü, Peker H, Gönülalan UA. 7. Petrol Sektörü. In: Türkiye'nin Enerji Görünümü. 2000. p. 161–214.
- [2] Hung Y, Michailidis G. Modeling and Optimization of Time-of-Use Electricity Pricing Systems. *IEEE Transactions on Smart Grid*. 2019; 10(4): 4116-4127.
- [3] Weiss M, Staake T, Guinard D, Roediger W. eMeter: An interactive energy monitor. In: *UbiComp*. 2009. p. 3–4.
- [4] Neenan B, Robinson J, Boisvert RN. Residential electricity use feedback: a research synthesis and economic framework. *Electric Power Research Institute (EPRI)*, 2009.
- [5] Abeykoon V, Kankanamdurage N, Senevirathna A, Ranaweera PS, Udawapola R. Real Time Identification of Electrical Devices through Power Consumption Pattern Detection. 2016 First International Conference on Micro and Nano Technologies Modelling and Simulation, March 2016. Kuala Lumpur, Malaysia.p.1-3. doi:10.1109/MNTMSim.2016.13.
- [6] Kavrar Ö, Yılmaz B. Enerji Yönetiminde Faaliyet Tabanlı Maliyetleme Modeli: Bir Üretim İşletmesinde Uygulama. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*. 2019; (83): 85-110.
- [7] Jing-xiao Z, Hui L, Li B. Life cycle influence mechanism of energy-saving chain management on energy-saving building construction. 2010 International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering, Wuhan, 2010.p.1904-7. doi:10.1109/MACE.2010.5536595
- [8] D'Alessandro S, Tonello AM, Monacchi A, Elmenreich W. Home energy management systems: Design guidelines for the communication infrastructure. In: *ENERGYCON 2014 - IEEE International Energy Conference*. IEEE; 2014. p. 805–12.
- [9] Krishna Prakash N, Prasanna Vadana D. Machine Learning Based Residential Energy Management System. In: 2017 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research, ICCIC 2017. IEEE; 2018.
- [10] Zekić-Sušac M, Mitrović S, Has A. Machine learning based system for managing energy efficiency of public sector as an approach towards smart cities. *International Journal of Information Management* [Internet]. 2020;(March 2019):102074. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.10207>.
- [11] UĞUZ S, ÇAĞLAYAN N, ORAL O. PV Güç Santrallerinden Elde Edilecek Enerjinin Makine Öğrenmesi Metotları Kullanılarak Tahmin Edilmesi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Derg* [Internet]. 2019;11(3):769–79. Available from: <http://dx.doi.org/10.29137/umagd.514933>.
- [12] Wu X, Zhu X, Wu GQ, Ding W. Data mining with big data. *IEEE Transactions On Knowledge And Data Engineering*. 2014;26(1):97–107. doi: 10.1109/TKDE.2013.109.
- [13] Lin M, Wang H, Xu Z, Yao Z, Huang J. Clustering algorithms based on correlation coefficients for probabilistic linguistic term sets. *International Journal of Intelligent Systems*. 2018;33(12):2402–24.
- [14] Rygielski C, Wang JC, Yen DC. Data mining techniques for customer relationship management. *Technology in Society*.2002; 24(4):483–502.
- [15] Wang XZ, He Q, Chen DG, Yeung D. A genetic algorithm for solving the inverse problem of support vector machines. *Neurocomputing*. 2005;68(1–4):225–38.
- [16] BUDAK H. Özellik Seçim Yöntemleri ve Yeni Bir Yaklaşım. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilim Enstitüsü Derg*. 2018;22(Özel):21-31.
- [17] Ladha L, Deepa T. Feature Selection Methods And Algorithms. *Int J Comput Sci Eng*. 2011;3(5):1787–97.
- [18] Güner A, Alçin ÖF, Şengür A. Automatic digital modulation classification using extreme learning machine with local binary pattern histogram features. *Meas J Int Meas Confed*. 2019;145:214–25.
- [19] Huang D, Shan C, Ardabilian M, Wang Y, Chen L. Local binary patterns and its application to facial image analysis: A survey. *IEEE Trans Syst Man Cybern Part C Appl Rev*. 2011;41(6):765–81.
- [20] Huang D, Shan C, Ardabilian M, Wang Y, Chen L. Local binary patterns and its application to facial image analysis: A survey. *IEEE Trans Syst Man Cybern Part C Appl Rev*. 2011;41(6):765–81.
- [21] Cortes C, Vapnik V. Support-vector networks. *Mach Learn*. 1995;20:273–97. <https://doi.org/10.1007/BF00994018>.
- [22] Huang S, Aydın M, Lipo TA. TORUS concept machines: Pre-prototyping design assessment for two major topologies. *Conf Rec - IAS Annu Meet (IEEE Ind Appl Soc*. 2001;3(August):1619–25.
- [23] Yang L, Xu Z. Feature extraction by PCA and diagnosis of breast tumors using SVM with DE-based parameter tuning. *Int J Mach Learn Cybern*. 2019;10(3):591–601.
- [24] Zhang J, Hou Q, Zhen L, Jing L. Locality similarity and dissimilarity preserving support vector machine. *Int J Mach Learn Cybern*. 2018;9(10):1663–74.
- [25] Chen SG, Wu XJ. A new fuzzy twin support vector machine for pattern classification. *Int J Mach Learn Cybern*. 2018;9(9):1553–64.
- [26] Wang XZ, Lu SX, Zhai JH. Fast fuzzy multicategory SVM based on support vector domain description. *Int J Pattern Recognit Artif Intell*. 2008;22(01):109–20.
- [27] Üzen H, Hanbay K. Yaya Özellik Tanıma için LM Filtre Temelli Derin Evrimsel Sınır Ağı. *J Polytech*. 2019;0900(3):605–13.
- [28] Karabiber A, Alçin ÖF. Short Term PV Power Estimation by means of Extreme Learning Machine and Support Vector Machine. 7th International Istanbul Smart Grids and Cities Congress and Fair, ICSG 2019 - Proceedings. 2019. p. 41–4.



Üç *Scorzonera* L. Taksonunun Toprak Üstü ve Kök Kısımlarının Yağ Asidi Profillerinin Değerlendirilmesi

Güneş AK^{1*}, Gökhan ZENGİN¹

¹ Selçuk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Konya, Türkiye

Güneş AK ORCID No: 0000-0002-9539-0763

Gökhan ZENGİN ORCID No: 0000-0001-6548-7823

*Sorumlu yazar: akgunesalcuk@gmail.com

(Alınış: 30.12.2020, Kabul: 21.05.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Anahtar

Kelimeler

Scorzonera,
Yağ asidi
kompozisyonu,
Doymuş yağ
asitleri,
Esansiyel yağ
asitleri

Öz: *Scorzonera* cinsi (Teke Sakalı), çok sayıda doğal biyoaktif bileşiğin kaynağı olarak bilinir. Mevcut çalışmada, üç *Scorzonera* taksonunun (*S. hiericiifolia* Hayek., *S. hispanica* L. ve *S. tomentosa* L.) toprak üstü ve kök kısımlarından elde edilen yağların yağ asidi kompozisyonlarının gaz kromatografi cihazı kullanılarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Doymuş (SFA), tekli doymamış (MUFA) ve çoklu doymamış (PUFA) yağ asitlerinin seviyeleri sırasıyla % 42,99-80,40; % 4,05-30,51 ve % 15,43-32,68 olarak belirlenmiştir. En yüksek SFA içerikleri *S. tomentosa*'nın toprak üstü kısmı ile *S. hispanica*'nın kök kısımlarında tespit edilmiştir. MUFA bakımından en yüksek yüzde *S. tomentosa*'nın toprak üstü ve köklerinden elde edilen yağda belirlenmiştir. En yüksek PUFA seviyesi *S. hiericiifolia*'nın toprak üstü ile *S. tomentosa*'nın kökünde gözlenmiştir. Çalışılan türlerin SFA içerikleri MUFA ve PUFA içeriklerinden daha yüksektir. Türlerin yağ asidi içeriği açısından farklılıklarını belirlemek, bitkilerden farklılığa hangi yağ asitlerinin neden olduğunu belirlemek ve bitki kısımları arasındaki yağ asidi bileşimlerinin farklılıklarını belirlemek için elde edilen sonuçlar çok değişkenli istatistiksel yöntemlerle değerlendirilmiştir. Çalışmamızın sonuçları belirtilen *Scorzonera* türlerinin yağ asidi kompozisyonları üzerine yapılacak olan yeni çalışmalara bir başlangıç noktası oluşturacaktır.

Evaluation of The Fatty Acid Profiles of The Aerial and Root Parts of Three *Scorzonera* L. taxa

Keywords

Scorzonera,
Fatty acid
composition,
Saturated fatty
acids,
Essential fatty
acids

Abstract: The *Scorzonera* genus (Teke sakalı) is known as the source of numerous natural bioactive compounds. In the present study, it was aimed to determine the fatty acid compositions of oils obtained from the aerial parts and root parts of three *Scorzonera* taxa (*S. hiericiifolia* Hayek., *S. hispanica* L. ve *S. tomentosa* L.) by using gas chromatography technique. The levels of saturated fatty (SFA), monounsaturated fatty (MUFA) and polyunsaturated fatty acids (PUFA) were determined as 42.99-80.40 %, 4.05-30.51 % and 15.43-32.68 %, respectively. The highest SFA was detected in aerial parts of *S. tomentosa* and roots of *S. hispanica*. For MUFA, the highest percentage was observed in the aerial part and root part of the *S. tomentosa*. The highest PUFA level was found to be in *S. hiericiifolia* aerial part and the roots of *S. tomentosa*. It was observed that the SFA contents of the studied species were higher than MUFA and PUFA. In order to determine the differences of the species in terms of fatty acid content, to determine which fatty acids caused the differences from plants, and to determine the differences fatty acid compositions among the parts, obtained results were evaluated by multivariate statistical methods. Obtained results will be a starting point for new studies on on fatty acid compositions of the studied *Scorzonera* species.

1. GİRİŞ

Yağ asitleri insan diyetinin ayrılmaz bir parçası olup enerji metabolizması ile hücre membran bütünlüğünün

korunması noktasında ana bileşenler konumundadır. Yağ asitlerinin yapısı ve bünyesinde ihtiva ettikleri bağlar biyolojik etkinlikleri noktasında belirleyici parametrelerdir. Bitkiler bünyelerinde buldukları doymamış yağ asitleri ile sağlıklı yağlar olarak

nitelendirilmektedir (1). Bitkilerdeki toplam lipit ve yağ asidi bileşimlerinin içeriği, bitkisel yağın besinsel değerinin yorumlanması açısından önemli bir göstergedir (2). Esansiyel yağ asitleri insan sağlığı açısından önemlidir. İnsanlar tarafından sentezlenemeyen bu yağ asitleri diyet yoluyla alınmak zorunda olup başta beyin gelişimi ve normal fizyolojik fonksiyonların devamı için gereklidir. Çeşitli çalışmalar yağ asitleri ile çeşitli hastalıklar arasındaki ilişkiyi açıklamaktadır. Örneğin, tekli/çoklu doymamış yağ asitlerinin tüketimi kolesterolü ve dolayısıyla miyokardiyal hastalık riskini düşürmede faydalıdır (3). Ayrıca çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA'lar) otoimmün rahatsızlıklar, sinir hastalıkları, antiinflamatuvar, antitrombotik, ateroskleroz, hipolipidemik, antiaritmik, vazodilatör, diyabet gibi diğer birçok hastalıkların tedavisinde ve önlenmesinde ve lipid peroksidasyon sürecinin iyileştirilmesinde önemli rol oynar (4, 5). Bu nedenle son yıllarda yağ asitleri ve bunların sağlık üzerine olan özelliklerine olan ilgi artmaktadır. Ancak, artan nüfus ve besinsel ihtiyaçlar değerlendirildiğinde günümüzde sağlıklı yeni yağ kaynaklarına ihtiyaç vardır. Bu nedenle, yeni ve güvenilir yağ kaynaklarının belirlenmesi bilim dünyası için ilgi çekici bir konudur (6).

Asteraceae (Compositae) familyası, 1.900'den fazla cins ve 32,000'den fazla türe sahip, en büyük çiçekli bitki familyası olarak bilinmektedir. *Scorzonera* L. cinsi, dünyanın dört bir yanında yaygın olarak dağılım gösteren ve yaklaşık 160 türden oluşan Asteraceae ailesinin bir üyesidir. Türkiye bu cins için, 31'i endemik 54 tür ile, bir merkez olarak kabul edilmektedir (7). *Scorzonera* üyeleri ülkemizde yörelere göre farklılık göstermekle beraber genel olarak "teke sakalı" olarak bilinirler. Asteraceae familyasına ait üyeler, genellikle bitkisel çaylar, çeşitli baharatlar, tatlandırıcılar olarak çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır ve bu özellikleriyle familya, ekonomik açıdan oldukça önemli konuma sahiptir. Birçok *Scorzonera* türü baharat, sebze veya geleneksel tıpta kullanılmaktadır (8). *Scorzonera* türlerinin, birçok ülkede geleneksel olarak analjezik, antiromatizmal, antelmintik, idrar söktürücü, yara iyileştirici, kısırlık, gut, akciğer ödemi, ishal, mide ülseri, malign mide kanseri, hipertansiyon ve yılan ısırıklarının tedavisinde kullanıldığı çeşitli çalışmalar ile ortaya konulmuştur (7, 9, 10). Çalışma kapsamında kullanılan, *S. tomentosa* bitkisi Türkiye'ye özgü çok yıllık bir bitkidir ve halk arasında genellikle "Alabent veya Alman sakızı" isimleriyle bilinmektedir. Kök kısımlarında içerdiği lateks içeriği nedeniyle geleneksel tıpta yara iyileştirme, analjezik, antiromatizmal, antihelmintik olarak kullanılmaktadır (11-13). *S. hieracifolia* bitkisi, Türkiye'ye ait endemik bir türdür ve geleneksel tıpta, antiromatik, ishal, mide ülseri, hipertansiyon, gut gibi birçok tedavide kullanılan bitki, halk arasında "Yılan kökü" ismiyle bilinmektedir (7). *S. hispanica* bitkisi halk arasında genellikle "Kara salsifiye veya Sakız otu" isimleriyle bilinmektedir ve özellikle kök kısımları halk hekimliğinde sindirimin düzenlenmesi ve terlemeyi artırmak için diüretik ajan olarak kullanılmaktadır. Bunlara ek olarak, *S. hispanica*'nın kök kısımları Batı Avrupa'da sebze olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır (8, 14).

Bu çalışmada üç *Scorzonera* taksonunun (*S. hiericifolia*, *S. hispanica* ve *S. tomentosa*) toprak üstü ve kök kısımlarından elde edilen yağların yağ asidi kompozisyonlarının gaz kromatografi tekniği kullanılarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Ele geçen sonuçlar bu cins üzerine yeni bakış açılarının kazandırılmasına ve bu cinsin yeni yağ kaynakları olarak değerlendirilmesine bilimsel bir temel teşkil edecektir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Bitki Örneklerinin ve Bitkilerden Yağın Eldesi

Çalışmamızda kullanılan *Scorzonera* cinsine ait bitkiler, 2019 yılında Konya'da yapılan arazi çalışması sırasında toplanmıştır. Bitkisel materyallerin taksonomik olarak tanımlanması, Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoteknoloji Bölümü Öğretim Üyesi Prof. Dr. Evren Yıldıztuğay tarafından yapılmıştır. (Herbarium no:EY-3003 (*S. hieracifolia*), EY-3019 (*S. tomentosa*), EY-3031 (*S. hispanica*)).

Öğütülerek toz haline getirilmiş olan 10 g bitkisel materyal, Sokslet ekstraktörü kullanılarak 60 ° C'de 6-8 saat süreyle çözücü olarak kullanılan petrol eteri ile özütleme işlemi gerçekleştirildi. Ekstraksiyonu takiben petrol eteri evaporatör kullanılarak uzaklaştırıldı ve ele geçen yağ metil esterlerin elde edilmesinde kullanıldı

Metil esterlerinin elde edilmesi için yağ örneklerinden, 0,1-0,2 g balonlara aktarıldı ve üzerlerine 4 mL %2'lik NaOH çözeltisi eklendi ve sabunlaşmanın gerçekleştirilmesi için 10 dakika kaynatıldı. Sabunlaşma işleminin tamamlanmasının ardından 5 mL BF₃ eklendi ve 5 dakika kaynatıldı. Daha sonra karışım üzerine 2 mL n-heptan eklendi ve 1 dakika kaynatıldı. Bu işlemleri takiben son olarak 4 mL doymuş NaCl çözeltisinden eklendi ve balonlar iyice karıştırıldıktan sonra oluşan fazların ayrımı için karışım ayırma hunisine aktarıldı. Alt kısımda kalan sulu kısım atıldıktan sonra üst faz viallere aktarıldı ve analiz edilinceye kadar -20° C de saklandı.

2.2.Yağ Asitlerinin Gaz Kromatografi Cihazında Analizi

Gaz kromatografik analizler HP (Hewlett Packard) Agilent marka 6890 N model Flame Ionization Detector: Alev iyonlaştırma dedektörü) dedektörlü ve otomatik enjektörlü gaz kromatograf cihazı ile gerçekleştirildi ve analizlerde 100 metrelik HP-88 kapiller kolon kullanıldı. Kolona sıcaklık programı uygulandı ve kolon başlangıç sıcaklığı 60°C olarak ayarlandı. 60°C'de 1 dakika beklendikten sonra sıcaklık dakika 20 °C artırılarak 190 °C'ye ulaştı ve bu derece 60 dakika bekletildi. Daha sonra sıcaklık dakika 1 °C artırılarak 220 °C ulaştı ve bu sıcaklıkta 10 dk bekletildi. Böylece analizler 107 dakika'da tamamlandı. Enjektör bloğu ve dedektör sıcaklığı sırasıyla 250 °C ve 280 °C olarak ayarlandı. Enjeksiyon hacmi 1 µl olarak ayarlandı ve split oranı ise 40:1'dir. Yağ asitlerinin tanımlanması için Accu ve Alltech firmalarından alınan standard yağ asitlerinin alıkonma zamanları ile örneklerde gelen yağ asitlerinin karşılaştırılmıştır. Analizler üç tekrarlı olarak yapıldı ve

kromatogramlardaki piklerin yüzde alanların aritmetik ortalamaları ve standart sapmaları hesaplanarak verildi.

2.3. İstatistiksel Değerlendirme

Sonuçlar, üç tekrarın ortalama \pm standart sapmaları şeklinde verildi. Elde edilen yağ asitlerinin istatistiksel değerlendirilmesinde çoklu varyans analiz sistemi (ANOVA) kullanılmıştır. Türlerin yağ asidi içerikleri açısından değişkenliklerinin belirlenmesi için, temel bileşen analizi (PCA) kullanıldı, türlere ait kısımlar arasında birbirine yakın yağ asidi kompozisyonlarının belirlenmesi için kümeleme analizi (HCA) ve bitkilerden gelen farklılığın hangi yağ asitlerinden kaynaklandığını belirlemek için, kısmi en küçük kareler-ayrıt edici analizi (PLS-DA) yapıldı. Bu analizler, R- 3.6.2 yazılımında gerçekleştirildi.

3. BULGULAR

Çalışma kapsamında kullanılan üç *Scorzonera* türünün toprak üstü ve kök kısımlarına ait yağ asidi kompozisyonlarının analizleri sonucunda, içeriklerinde toplam 12 adet yağ asidi olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir. Analiz sonucu elde edilen yağ asitlerinin karbon sayılarının 12 ile 18 arasında değişmektedir. Araştırılan *Scorzonera* türlerinde majör yağ asidi genellikle C 16:0 (palmitik asit) olmakla birlikte bitkinin farklı kısımlarında, majör yağ asidinin C 14:0 (miristik asit) olduğu gözlenmiştir.

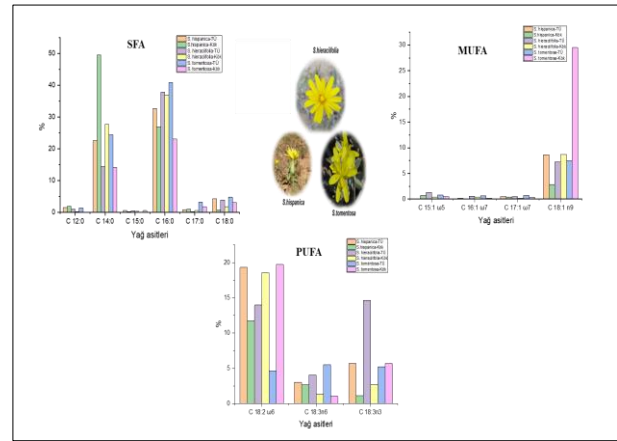
Tablo 1. *Scorzonera* türlerinin yağ asidi içerik sonuçları (%).

| YAĞ ASİTLERİ | <i>S. hieraciifolia</i> -toprak üstü | <i>S. hieraciifolia</i> -kök | <i>S. hispanica</i> -toprak üstü | <i>S. hispanica</i> -kök | <i>S. tomentosa</i> -toprak üstü | <i>S. tomentosa</i> -kök |
|-------------------|--------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| C 12:0 | 1,01 \pm 0,16 | 0,22 \pm 0,04 | 1,58 \pm 0,03 | 1,98 \pm 0,06 | 1,42 \pm 0,07 | 0,14 \pm 0,03 |
| C 14:0 | 14,39 \pm 0,05 | 27,73 \pm 0,07 | 22,64 \pm ,04 | 49,52 \pm 0,83 | 24,41 \pm 0,11 | 14,21 \pm 0,01 |
| C 15:0 | 0,44 \pm 0,04 | 0,40 \pm 0,01 | 0,57 \pm 0,01 | 0,24 \pm 0,01 | 0,07 \pm 0,01 | 0,56 \pm 0,036 |
| C 16:0 | 37,82 \pm 0,13 | 36,90 \pm 0,28 | 32,69 \pm 0,01 | 26,95 \pm 0,68 | 40,88 \pm 0,24 | 23,16 \pm 0,92 |
| C 17:0 | 0,21 \pm 0,01 | 0,60 \pm 0,03 | 0,84 \pm 0,01 | 0,98 \pm 0,02 | 3,26 \pm 0,06 | 1,79 \pm 0,11 |
| C 18:0 | 3,90 \pm 0,01 | 1,81 \pm 0,07 | 4,30 \pm 0,02 | 0,74 \pm 0,02 | 4,80 \pm 0,07 | 3,13 \pm 0,13 |
| ΣSFA* | 57,76\pm0,40 | 67,66\pm0,49 | 62,61\pm0,10 | 80,40\pm1,61 | 74,84\pm0,57 | 42,99\pm1,23 |
| C 15:1 ω 5 | 1,34 \pm 0,09 | 0,43 \pm 0,24 | 0,10 \pm 0,01 | 0,69 \pm 0,07 | 0,83 \pm 0,01 | 0,49 \pm 0,01 |
| C 16:1 ω 7 | 0,53 \pm 0,08 | 0,41 \pm 0,01 | 0,13 \pm 0,01 | 0,11 \pm 0,01 | 0,67 \pm 0,03 | 0,19 \pm 0,01 |
| C 17:1 ω 8 | 0,46 \pm 0,09 | 0,16 \pm 0,04 | 0,50 \pm 0,01 | 0,37 \pm 0,01 | 0,74 \pm 0,03 | 0,34 \pm 0,02 |
| C 18:1 ω 9 | 7,27 \pm 0,12 | 8,71 \pm 0,08 | 8,63 \pm 0,02 | 2,88 \pm 0,01 | 7,51 \pm 0,04 | 29,50 \pm 0,52 |
| ΣMUFA* | 9,59\pm0,39 | 9,70\pm0,12 | 9,35\pm0,02 | 4,05\pm0,08 | 9,75\pm0,04 | 30,51\pm0,55 |
| C 18:2 ω 6 | 13,98 \pm 0,13 | 18,55 \pm 0,19 | 19,31 \pm 0,20 | 11,75 \pm 0,01 | 4,62 \pm 0,04 | 19,72 \pm 0,80 |
| C 18:3 ω 6 | 4,05 \pm 0,04 | 1,39 \pm 0,09 | 3,05 \pm 0,25 | 2,69 \pm 0,05 | 5,55 \pm 0,61 | 1,07 \pm 0,07 |
| C 18:3 ω 3 | 14,65 \pm 0,17 | 2,73 \pm 0,12 | 5,71 \pm 0,03 | 1,12 \pm 0,10 | 5,26 \pm 0,01 | 5,70 \pm 0,07 |
| ΣPUFA* | 32,68\pm0,35 | 22,66\pm0,40 | 28,07\pm0,48 | 15,55\pm0,16 | 15,43\pm0,66 | 26,49\pm0,94 |
| ΣUFA* | 42,26\pm0,38 | 32,35\pm0,28 | 37,42\pm0,49 | 19,60\pm0,24 | 25,17\pm0,59 | 57,00\pm1,21 |
| ΣEFA* | 28,63\pm0,04 | 21,27\pm0,07 | 25,02\pm0,23 | 12,87\pm0,09 | 9,88\pm0,05 | 25,42\pm0,73 |

*SFA (Doymuş yağ asitleri), MUFA (Tekli doymamış yağ asitleri), PUFA (Çoklu doymamış yağ asitleri), UFA (Doymamış yağ asitleri), EFA (Esansiyel yağ asitleri)

Çalışmamızda kullanılan *Scorzonera* türlerine ait toprak üstü ve kök kısımlarının içerdiği toplam doymuş yağ asidi (SFA) miktarları değerlendirildiğinde *S.hieraciifolia* bitkisi için majör yağ asidi olarak, her iki kısım içinde palmitik asit olduğu tespit edilmiştir. Bu türe ait palmitik asit yüzdeleri, toprak üstü için %37,82 \pm 0,12 ve kök için %36,90 \pm 0,28 arasında olduğu

gözlenmiştir. SFA bakımından bu bitki için palmitik asitten sonra en yüksek yüzdeye sahip yağ asidi toprak üstü için %14,39 \pm 0,05 ve kök için %27,73 \pm 0,07 değerleriyle miristik asit olduğu görülmüştür. *S. hispanica* bitkisi için içerdiği SFA oranı incelendiği toprak üstü ve kökte oranların değiştiği görülmüş ve toprak üstü kısım için majör yağ asidi %32,69 \pm 0,01 değeriyle palmitik asit iken, kök için majör yağ asidi %49,52 \pm 0,08 değeri ile miristik asit olduğu gözlenmiştir. *S. tomentosa* için SFA değerleri incelendiğinde toprak üstü ve kök kısımları için bu değerler sırasıyla 74,84 \pm 0,57 ve 42,99 \pm 1,23 bulunmuştur ve majör doymuş yağ asidi olarak palmitik asit daha sonra da miristik asit geldiği gözlenmiştir (Şekil 1)



Şekil 1. *Scorzonera* türlerinin SFA, MUFA, PUFA içerik sonuçları.

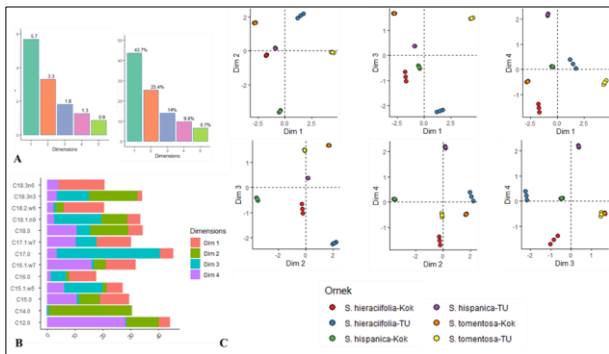
Tekli doymamış yağ asitleri (MUFA) içerikleri incelendiğinde her 3 bitkide de MUFA içeriğinin büyük bir kısmını oleik asidin oluşturduğu görülmüştür. MUFA içeriği için yüzde değerler %2,88 \pm 0,01 ile %29,50 \pm 0,52 arasında değişkenlik göstermiştir. Bu değerlerden en yüksek yüzdeye sahip bitki *S. tomentosa*'ya ait kök kısmı olurken en düşük yüzdeye sahip bitki *S. hispanica*'ya ait kök kısmı olduğu görülmüştür. MUFA değerleri içerisinde diğer bitkilerin kısımlarına ait yağ asit içerikleri düşük seviyelerde tespit edilmiştir (Şekil 1).

Araştırılan *Scorzonera* türlerine ait çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) içeriğinin büyük bir yüzdesini C 18:2 ω 6 linoleik asit oluşturmaktadır. Linoleik asit yüzdeleri türlerin farklı kısımlarında %4,62 \pm 0,04 -%19,72 \pm 0,80 değerleri arasında değişmektedir. Bitkilerden en yüksek linoleik asit içeriğine *S. tomentosa*'nın kök kısmında ve en düşük linoleik asit miktarı ise *S. tomentosa*'nın toprak üstü kısmında gözlenmiştir. Diğer bir doymamış yağ asidi olan linolenik asit için bu değerler %1,12 \pm 14,65 arasında değiştiği görülmüştür. Linolenik asit içeriği en yüksek oranda *S. hieraciifolia*'ya ait toprak üstü kısmından elde edilirken en düşük içeriğe sahip örnek ise *S. hispanica*'nın kökü olarak belirlenmiştir (Şekil 1).

Scorzonera türlerine ait yağ asidi bileşimlerinin incelenmesine dair literatür taraması yapıldığında yeterli düzeyde bilgi olmamakla birlikte *S. paradoxa* üzerine yapılan bir yağ asidi kompozisyonu çalışmasında, çalışmamızı destekler nitelikte doymuş yağ asidi miktarı

diğer yağ asitlerine oranla daha yüksek miktarda olduğu tespit edilmiştir (15).

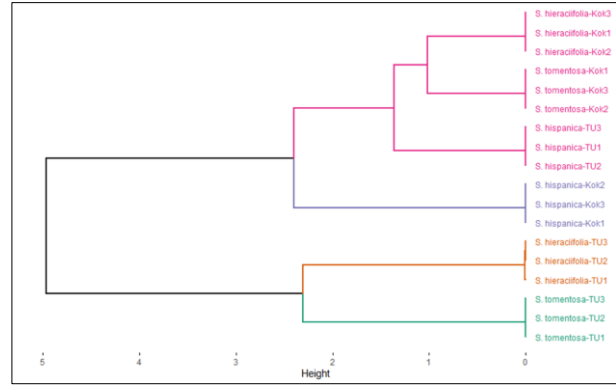
Çalışılan *Scorzonera* türlerine ait toprak üstü ve kök kısımlarının farklı yağ asidi kompozisyonlarına sahip olmaları sebebiyle, elde edilen verilerin daha kapsamlı yaklaşımların uygulanmasını gerektirmiştir. Bu noktadan hareketle yağ asidi sonuçları bitkiler ve kısımları için ileri istatistik testleriyle yorumlanmıştır. Bu testler öncelikle çalışılan *Scorzonera* türlerin toprak üstü ve kök kısımları arasında yağ asidi kompozisyonları bakımından farkı daha net görme imkanı sağlarken ilave olarak çalışılan türlerin ayırımında hangi yağ asitlerinin daha etkili olabileceğini yorumlamamıza imkan sağlamaktadır. Bu nedenle ilk olarak, *Scorzonera* türlerini ayırt etmek için temel bileşen analizi kullanılmıştır ve sonuçlar Şekil 2 'de verilmiştir. Sonuçlar, türler arasındaki maksimum değişkenliğe sahip boyutların belirlenmesi için bileşen sayısının seçilmesinde en yaygın kullanılan "Kaiser kuralı" na göre yorumlanmıştır. Bu kurala göre öz değeri 1'den büyük ve toplam değişkenlerin %80'inden fazlasına katkıda bulunan özdeğer değerlendirilebilir. Buna göre elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, dört boyutta dağılım gözlenmiştir ve bu dört boyut toplam değişkenlerin %93'ünü kapsamaktadır (Şekil 2). Boyutların ayırımına en fazla katkı sağlayan parametreler Şekil 2'de verilmiştir. Bu bağlamda, boyutlardaki farklılığa neden olan majör yağ asitleri PC1 için, C 18:3n6 ve C 18:2w6, PC2 için, C 14:0 ve C 18:3n3, PC3 için, C: 17:0 ve C 18:2n6 ve PC4 için, C 12:0 ve C 16:1w7 ile bağlantılı olduğu yorumlanmıştır. Bu sonuçlar açık bir şekilde boyutların dağılımında doymuş yağ asitlerinin daha etkili parametreler olduğunu göstermiştir. Boyutlar ve çalışılan türler ve kısımları ile birlikte değerlendirildiğinde türlerin ve kısımların farklı bir dağılım kompozisyonuna sahip olduğu görülmüştür (Şekil 2). Boyutlar içerisindeki dağılım, türler ve kısımlar için yeteri kadar net olmadığı için kümeleme analizi yapılmıştır ve bunun sonucunda birbirine yakın yağ asidi içeriğine sahip türler 4 grupta toplanmıştır (Şekil 3).



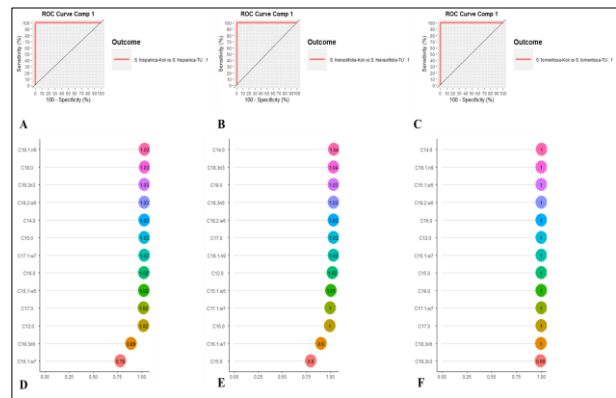
Şekil 2. *Scorzonera* türlerinin yağ kompozisyonlarının temel bileşen ve küme analizleri. C: PCA boyutlarının açıklanan varyans ve özdeğer yüzdesi. B: PCA'nın ilk dört boyutuna biyoaktivitelerin katkısı. C: Tüm örneklerin dağılım grafiği.

Bitkilere ait toprak üstü ve kök kısımlarındaki ayırımın hangi yağ asidi bileşeninden geldiğinin anlaşılması için PLS-DA analizi yapıldı ve elde edilen VIP puanları Şekil 4'de verilmiştir. Her bir bitkiye ait toprak üstü ve kök

kısımları kendi arasında değerlendirildi ve kısımlar arasındaki farklılığın 1 değerinden büyük olan yağ asitlerinden geldiği görülmüştür (Şekil 4).



Şekil 3. Türler için kısımların kümeleme analizi.



Şekil 4. Bitkilerin her birine ait toprak üstü ve kök kısımlarının PLS-DA sonuçları. A-C: parçalar arasındaki ayrımı gösteren ROC curve D-F. VIP puanlama sonuçları.

4. SONUÇ

Çalışmamız kapsamında tüm türlerin yağ asidi içerikleri incelendiğinde toplam SFA'ların, MUFA VE PUFA'lara göre daha yüksek seviyede oldukları belirlenmiştir. Ayrıca türler arasında toplam PUFA içeriğinin MUFA içeriklerinden fazla olduğu gözlenmiştir. Bu verilerden hareketle *Scorzonera* türlerinin yağ asidi kompozisyonlarının büyük bir kısmını doymuş yağ asitlerinin oluşturduğu belirlenmiştir. Çalışmamız ile üç *Scorzonera* türünün yağ asidi kompozisyonu ile literatüre yeni veriler sağlanacak ve bu türler üzerine yapılacak yeni çalışmalarda yeni fikirlerin doğmasına yol açacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Czumaj A, Śledziński T. Biological role of unsaturated fatty Acid desaturases in health and disease. *Nutrients*. 2020;12(2):356.
- [2] Xiao L, Mjøs SA, Haugsgjerd BO. Efficiencies of three common lipid extraction methods evaluated by calculating mass balances of the fatty acids. *J Food Comp Anal*. 2012;25(2):198-207.
- [3] Zyriax BC, Windler E. Dietary fat in the prevention of cardiovascular disease—a review. *Eur J Lipid Sci Technol*. 2000;102(5):355-65.

- [4] Anese M, Bot F, Panozzo A, Mirolo G, Lippe G. Effect of ultrasound treatment, oil addition and storage time on lycopene stability and in vitro bioaccessibility of tomato pulp. *Food Chem.* 2015;172:685-91.
- [5] Ramadan MF, Sharanabasappa G, Seetharam Y, Seshagiri M, Moersel J-T. Characterisation of fatty acids and bioactive compounds of kachnar (*Bauhinia purpurea* L.) seed oil. *Food Chem.* 2006;98(2):359-65.
- [6] Chow CK. Fatty acids in foods and their health implications: CRC press; 2007.
- [7] Sarı A, Şahin H, Özsoy N, Çelik BÖ. Phenolic compounds and in vitro antioxidant, anti-inflammatory, antimicrobial activities of *Scorzonera hieracifolia* Hayek roots. *South Afr J Bot.* 2019;125:116-9.
- [8] Erden Y, Kırbağ S, Yılmaz Ö. Phytochemical composition and antioxidant activity of some *Scorzonera* species. *Proc Natl Acad Sci India Sect B Biol Sc.* 2013;83(2):271-6.
- [9] Akkol EK, Šmejkal K, Kurtul E, İlhan M, Güragac FT, İşcan GS, et al. Inhibitory activity of *Scorzonera latifolia* and its components on enzymes connected with healing process. *J Ethnopharmacol.* 2019;245:112168.
- [10] Sarı A, Özbek B, Özgökçe F. Antimicrobial activities of two *Scorzonera* species growing in Turkey. *Asian J Chem.* 2009;21(6):4785-8.
- [11] Acikara O, Çitoğlu G, Çoban T. Phytochemical Screening and Antioxidant Activities of Selected *Scorzonera* Species. *Turk J Pharm Sci.* 2013;10(3):453-62.
- [12] Acikara Ö, Cıtoğlu GS, Gencler-Ozkan A. Qualitative and quantitative analysis of phenolic acids in *Scorzonera tomentosa* L. *Turk J Pharm Sci.* 2013;10(1):1-8.
- [13] Korkmaz M, Alpaslan Z. Ergan Dağı Erzincan-Türkiye'nin etnobotanik özellikleri. *Bağbahçe Bilim Dergisi.* 2015;1(3):1-31.
- [14] Granica S, Lohwasser U, Jöhrer K, Zidorn C. Qualitative and quantitative analyses of secondary metabolites in aerial and subaerial of *Scorzonera hispanica* L.(black salsify). *Food Chem.* 2015;173:321-31.
- [15] Nasserı MA, Bigy SS, Allahresani A, Malekaneh M. Assessment of antioxidant activity, chemical characterization and evaluation of fatty acid compositions of *Scorzonera paradoxa* Fisch and CA Mey. *Jundishapur J Nat Pharm Prod* 2015;10(4):e19781.



Effect of the Viscosity on Molecule Reception Ratio for Mobile Nano Systems

Esme İŞİK^{1*}, İbrahim İŞİK², M. Emin TAĞLUK²

¹ Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Optisyenlik Bölümü, Malatya, Türkiye

² İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye

Esme İŞİK ORCID No: 0000-0002-6179-5746

İbrahim İŞİK ORCID No: 0000-0003-1355-9420

M. Emin TAĞLUK ORCID No: 0000-0001-7789-6376

*Sorumlu yazar: esme.isik@ozal.edu.tr

(Alınış: 06.01.2021, Kabul: 05.03.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Keywords

Mobile nano systems, Viscosity, Molecule reception ratio

Abstract: Studies regarding communication of the nano-devices/machines are considered to highly contribute to the developments in the field of nano-technology. Therefore, in this study, software-based a new model using nano-machine that could potentially be used in nano-scale systems was developed and analyzed in terms of communication performance. The information about the carrier particles used in such communication systems consists of biological components such as DNA and protein components. MC model that can possibly be used in nano-scale systems is analyzed in terms of channel performance of communication model such as viscosity of the medium. The physical properties of the proposed channel model such as viscosity is analyzed with respect to the ratio of received molecules in the duration of first symbol slot and number of received molecules using the mobile point transmitter and spherical receiver. As a result, the probability of a molecule reception of the receiver and number of received molecules increase with decreasing viscosity.

Hareketli Nano Sistemler İçin Viskozitenin Molekül Alınma Olasılığına Etkisi

Anahtar

Kelimeler

Hareketli nano sistemler, Viskozite, Molekül alınma olasılığı

Öz: Nano cihazların/makinelerin iletişimine yönelik çalışmaların nano teknoloji alanındaki gelişmelere büyük katkı sağladığı düşünülmektedir. Bu nedenle önerilen çalışmada, nano ölçekli sistemlerde potansiyel olarak kullanılacak nano makine teknolojisi ile yazılım tabanlı yeni bir model geliştirilmiş ve bu model iletişim performansı açısından analiz edilmiştir. Bu tür iletişim sistemlerinde kullanılan taşıyıcı parçacıklar hakkındaki bilgiler, DNA ve protein bileşenleri gibi biyolojik bileşenlerden oluşur. Nano ölçekli sistemlerde kullanılacak model, ortamın viskozitesi gibi iletişim modelinin kanal performansı açısından incelenmiştir. Önerilen kanal modelinin viskozite gibi fiziksel özellikleri, hareketli noktasal verici ve küresel alıcı kullanılarak alınan moleküllerin ilk simge aralığı süresindeki oranı ve alınan moleküllerin sayısına göre analiz edilmiştir. Sonuç olarak, alıcının molekül alma olasılığı ve alınan molekül sayısının azalan viskozite ile arttığı görülmüştür.

1. INTRODUCTION

Many study have been carried out about communication of nano-devices in recent years [1]–[3]. The transmitter (Tx) and receiver (Rx) parts are investigated to analyze transmitted and received molecules in a fluid media. However, generally the Rx entity and the received signal are considered to analyze molecular communication (MC) systems. In [4], channel transfer function by using a fully absorbing spherical receiver and point transmitter for molecular communication via diffusion (MCvD) is

presented with analytic and simulation studies. In this study, in a 3-dimensional (3-D) environment, propagation delay and attenuation are studied for channel of MCvD model. Pulse amplitude and pulse peak time are investigated regarding distance between receiver and transmitter. Finally it is found that when the distance and pulse peak time increased then pulse amplitude decreased. Moreover molecular antenna models for MCvD are also studied in the literature.

In MC, chemical transceiver models can be used for the implementation subjects to send information from

receiver to transmitter. It is known that this models can be applied to many fields such as defense, environmental monitoring, bio-medical, industrial and dentistry purposes [1]–[6]. In these studies, because of their parallel structure to the digital antennas usually receptors have been considered as the molecular antenna. It is known that all biological cells have receptors which is placed at the surface of their receiver to receive nutrient, proteins or other substances. In [5], the hitting probability of MCvD system for a point transmitter and spherical receiver is analyzed by changing the parameters of density and size of these receptors. The absorption rate of receiver is also analyzed analytically by using hitting probability versus the number and the size of receptors. It is concluded from [5] that deployment of small receptors on the receiver instead of larger receptor, the hitting probability is obtained higher when the total receptor deployment area remains the same. The minimum sufficient surface area of receptor is also investigated in this study and finally it is found that displacement of the receptors on the receiver should be as little as 1% of the surface area of the receiver to have a comparable signal energy with a perfectly absorbing spherical receiver.

In [7], a receiver model with ligand receptors that contains holders for molecules to start signaling and interrupt inside the cell is proposed. The receiver of the system model is proposed to hold a great number of binding places and the molecular absorption over each of these places is considered using Markov Chain model in this study. The whole reception ratio of a receiver is estimated via calculating the mean of concentrations on all binding places [7]. The molecules are released by transmitter at either low or high absorptions to get “high” and “low” signal levels related to binary generators to test the system for realizing higher reception ratios. Finally, the facility of ligand receptors which increase with increasing number of receptors is obtained. As a result, it is concluded that percentage of absorptions are avoided at the transmitter side not reason of any ambiguity as neither “low” nor “high”. CNTs (carbon nanotubes) and GNRs (Graphene Nanoribbon) based molecular receptor antenna models using graphene and its derivatives are also analyzed due to their prominent sensing capabilities in nano sensor networks [3]. In another model [8], a molecular antenna model is proposed and some coding techniques are introduced for the proposed system. In [9], a new antenna model, which generally consists of a spherical receiver and reinforced with a completely reflective spherical or cylindrical shell concerned with on or nearby the receiver in Molecular communication, has been introduced to increase the ratio of reception. Different shape of a shell such as sphere and cylinder which is placed on the receiver is considered as antenna and numbers of absorbed molecules are increased with these shells.

In this study, a novel architecture of receiver model by using different channel environment parameters such as viscosity of the diffusion constant for MCvD is introduced. It is proposed that the use of different values of the viscosity in the environment increase the

communication quality of the proposed model instead of the same value of it used in the literature. Through Monte Carlo simulations it is obtained that the effect of viscosity on the reception ratio which suggests better channel parameter possibilities in terms of reception probability. The proposed system model is given in Fig. 1. As shown from the figure, molecules which carry information from transmitter to receiver, transmitter and receiver are mobile in a diffusion environment.

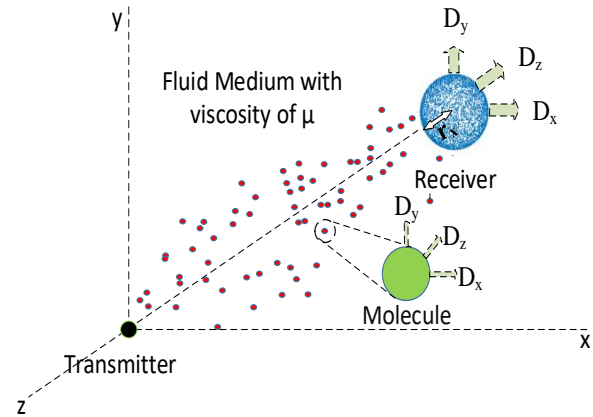


Figure 1. The proposed system model

2. MATERIAL AND METHODS

In this study, physical properties of the channel of nano-machine model are analyzed using a mobile point transmitter and spherical receiver by considering receptors on it. It is known that information transfer between transmitter and receiver occurs in the medium by carriers such as molecules. The physical properties of the carriers and density of medium is very important for information transfer.

The number of current density that can be an atom, hole, electron and molecule determine the current that is the rate of charge flow. The current flowing can also be calculated since it is known as the number of charge carriers. There are two current mechanisms which are drift and diffusion that cause the charges moving. Charge moves under the influence of an electric field since the applied field exerts a force [10],

$$F=qE, \quad (1)$$

on the charge carriers where E represents applied field and F represents force. This movement results a current which is known as drift current,

$$I_d=nqV_dA, \quad (2)$$

where I_d , V_d , A , n and q are drift current, drift velocity of charge carrier, area of the medium, number of charge carriers per unit volume, charge of electron respectively. Carrier mobility, μ decides how mobile the charge carriers and how certainly charge carriers transfer under the effect of an applied field [10],

$$V_d=\mu E \text{ or } \mu=V_d/E. \quad (3)$$

If the medium is at thermodynamic equilibrium (there is no applied field) the carrier have a thermal energy of $\frac{k_B T}{2}$ per degree of freedom and in 3D the thermal energy of electron,

$$E = \frac{3k_B T}{2} \text{ and } V_{th} = \sqrt{\frac{3k_B T}{m^*}}, \quad (4)$$

where V_{th} , k_B , m^* and T refer to thermal velocity of electron, Boltzman Constant ($1.38 * 10^{-23} J/K$), the effective mass and temperature of the medium (Kelvin), respectively. If there is no applied field, the movement of the molecules will be completely random and this randomness result no net current flow. Molecules move in the system due to its thermal energy or applied field but they collide each other. The average time taken between collisions is called as relaxation time or mean free time, τ . So we can define the mobility as,

$$\mu = \frac{q\tau}{m^*}. \quad (5)$$

Diffusion current is due to the movement of the carriers from high concentration region towards to low concentration region. As the carriers diffuse, a diffusion current flows. The force behind the diffusion current is the random thermal motion of carriers. A concentration gradient produces a pressure gradient which produces the force pressure gradient and the force on the molecules causing to move them [10]. According to electrical mobility equation, diffusion constant for charged particles is defined as follow,

$$D = \frac{\mu k_B T}{q}. \quad (6)$$

It is known that the transfer of information generally takes place in the form of free diffusion movement of molecules in the environment. The feature of transmission medium is determined with diffusion coefficient; D for diffusion of spherical uncharged particles through a liquid is given,

$$D = \frac{k_B T}{\zeta}, \quad (7)$$

where ζ drag coefficient and it is defined as follow,

$$\zeta = 6\pi\eta R_H, \quad (8)$$

where η and R_H refer to viscosity and the hydraulic radius of the information particle. The diffusion coefficient of some molecules in water obtained at 25°C are shown as in Table 1 [3], [11].

Table 1. Diffusion coefficient of some molecules in water

| Molecule | D ($\mu\text{m}^2/\text{s}$) |
|---------------------|--------------------------------|
| DNA | 0.81-53 |
| human serum albumin | 61 |
| Insulin | 150 |
| Sucrose | 520 |
| Glucose | 600 |
| Glycerol | 930 |
| Nitrate | 1700 |
| Water molecule | 2100 |

In the literature, it is clearly stated that the properties of the environment and the density difference between the regions directly affect the performance of molecular communication since molecules transport information between nano-devices (machines) using the free diffusion medium. Diffusion, also known as flux, is expressed as the movement of particles from a very dense medium to a less dense medium due to the difference in density between two regions. Considering that the molecules are released into the transmission channel with a certain emission rate from the transmitter nano-machine, the density $C(x, t)$ formed by these molecules at time t and at a distance x is expressed according to the certain boundary (boundary) and initial conditions of the following partial differential equation. This equation is derived based on the equation of $\frac{\partial C}{\partial t} = D_i \nabla^2 C_i$, which is known as Fick's second diffusion law in the literature. Here i denotes the substance type and C denotes the substance density. The change in the density in the x direction of the emitted molecule depending on time is expressed as in Eq. 9 [12].

$$\frac{\partial C(x,t)}{\partial t} = D_i \frac{\partial^2 C(x,t)}{\partial x^2} \quad (9)$$

The number of hitting molecules until time t , $N_{hit}^{3D}(t)$ is given below,

$$N_{hit}^{3D}(t) = \frac{r_x}{r_x + d} \text{erfc}\left(\frac{d}{\sqrt{4Dt}}\right) \quad (10)$$

where erfc , r_x , and d refer to error function, radius of receiver and distance between transmitter and receiver respectively. In an MC system, the number of received molecules in the first symbol duration to the number of transmitted molecules, in other words, the ratio of received molecules in the duration of first symbol slot is given as follow,

$$h_0 = \frac{N_{rx}(0)}{N_{tx}(0)}, \quad (11)$$

where $N_{rx}(0)$ and $N_{tx}(0)$ refer to total number of molecules received by the receiver and total number of molecules released from the transmitter during the first symbol duration. As given above formulas, the definition of the viscosity and mobility are briefly explained, and diffusion constant and viscosity are observed to be inversely proportional.

3. RESULTS

In this study, the proposed MC model is analyzed by changing the viscosity of the medium. System parameters of the proposed model are given in Table 1. Effect of viscosity on receiver models are analyzed by using the ratio of received molecules in the duration of first symbol slot which is h_0 metric. Shape of the transmitter is chosen as a point source and shape of the receiver is chosen as spherical with receptors on it. Firstly we analyze sphere receiver model for different viscosity values which are 67, 45, 34 and 27 nkg/ms to obtain the best result for the proposed model. As shown in Fig. 2 maximum number of molecules is obtained for

$\eta = 27 \text{ nkg/ms}$ and the maximum value of h_0 is also obtained for $\eta = 27 \text{ nkg/ms}$. It is concluded that, probability of received molecules in the receiver increases with decreasing viscosity of the fluid. Since an environment with a high diffusion constant or low viscosity would have little effect on the spreading rate of the molecules in the medium. Viscosity has also a reverse relationship with diffusion constant as given in Eq. 7. The proposed model is also analyzed for h_0 value in Fig. 3. As seen from the figure, when the viscosity increase, h_0 value also decrease as expected. Since value of the diffusion constant decreased, the spreading rate of the molecules in the medium decreased as shown in Eq. 7 and 8.

Table 2. System parameters

| | |
|--|--------------------|
| Radius of receiver, r_x | 3.1 μm |
| Distance between receiver and transmitter, d | 5 μm |
| Radius of receptor, r_s | 0.02 μm |
| Number of receptor | 5000 |
| Number of transmitted molecules | 20000 |
| Viscosity of the fluid, η | 67-27 nkg/ms |
| R_H | 2.86 nm |
| T | 298 K |
| Number of simulation | 100 |

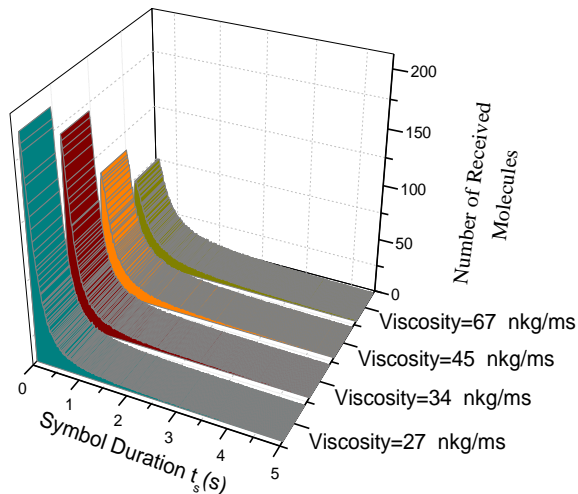


Figure 2. Number of received molecules versus symbol duration graph with changing of viscosity

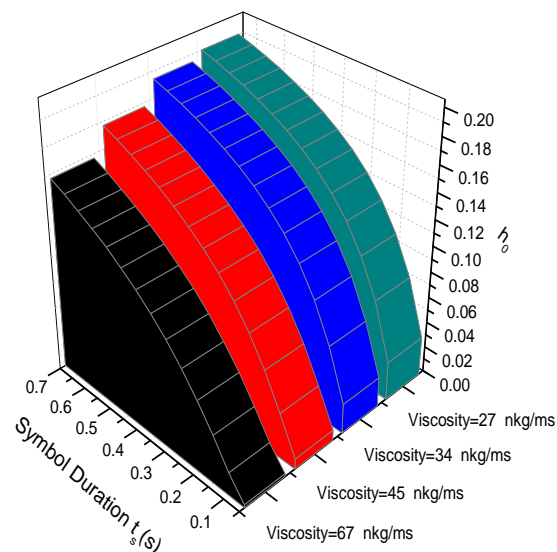


Figure 3. h_0 versus symbol duration graph with changing of viscosity

4. CONCLUSION

In this study, the number and reception ratio of the received molecules are analyzed by changing the viscosity of the environment. A software based model is developed with mobile point transmitter and spherical receiver. It was observed that when the viscosity of diffusion coefficient increase the number and probability of receiving molecule decrease. Due to the collision of molecules, carriers may be move slowly or lost their energy to move. Therefore when the symbol duration increased, the number of received molecules decreased. According to the Fig. 2 we observed that the relaxation time of molecules is about 1.5 s as shown from the Fig. 2. Because after 1 s, the number of received molecules decreased sharply. As a result, the viscosity of the medium can be changed in order to increase information transfer with lower error.

As a future work, we plan to find new antenna models to increase hitting probability and to decrease effect of environment on diffusion of molecules.

REFERENCES

- [1] Tadashi N, Eckford AW. Molecular Communication. Cambridge University Press, 2013.
- [2] Akyildiz IF, Brunetti F, and Blázquez C. Nanonetworks: A new communication paradigm, Comput. Networks, vol. 52, no. 12, pp. 2260–2279, 2008.
- [3] Farsad N, Yilmaz HB, A. Eckford, Chae CB, and Guo W. A Comprehensive Survey of Recent Advancements in Molecular Communication. 2014.
- [4] Yilmaz HB, Heren AC, and Tugcu T. 3-D Channel Characteristics for Molecular Communications with an Absorbing Receiver, IEEE Commun. Lett. 3-D, pp. 1–4, 2014.
- [5] Akkaya A, Yilmaz HB, Chae CB, and Tugcu T, Effect of receptor density and size on signal reception in molecular communication via diffusion with an absorbing receiver, IEEE Commun. Lett., vol. 19, no. 2, pp. 155–158, 2015.
- [6] Er MB and Aydilek IB, Music emotion recognition by using chroma spectrogram and deep visual features, Int. J. Comput. Intell. Syst., vol. 12, no. 2, pp. 1622–1634, 2019.
- [7] Einolghozati A, Sardari M, and Fekri F. Capacity of diffusion-based molecular communication with ligand receptors, IEEE Inf. Theory Work. ITW 2011, pp. 85–89, 2011.
- [8] Singh S, Singh HR. Molecular Receptor Antennas for Nano Communication: An Overview, vol. 9028, pp. 13–16, 2016.
- [9] Felicetti L, Femminella M, and Reali G. Directional receivers for diffusion-based molecular communications, IEEE Access, vol. PP, no. c, p. 1, 2018.
- [10] Walter H, Vreebur J. Fluid Sciences and Materials Science in Space - a European Perspective, vol. 50. 1989.
- [11] Search BioNumbers - The Database of Useful

Biological Numbers, 2011. [Online]. Available:
<https://bionumbers.hms.harvard.edu/search.aspx>.
[Accessed: 05-May-2015].

- [12] Schulten K, Kosztin I, and Street NM. Lectures in Theoretical Biophysics, 2000.



Evaluation of Monocrystalline and Polycrystalline Photovoltaic Panels in Sinop Province Conditions

Mehmet Onur KARAAGAC^{1*}, Hasan OGUL², Fatih BULUT³

¹ Sinop University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Energy Systems Engineering, Sinop, Turkey

² Sinop University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Nuclear Engineering, Sinop, Turkey

³ Sinop University, Scientific and Technological Research Applications and Research Center, Sinop, Turkey

Mehmet Onur KARAAGAC ORCID No: 0000-0003-1783-9702

Hasan OGUL ORCID No: 0000-0002-5121-2893

Fatih BULUT ORCID No: 0000-0001-5335-2307

*Sorumlu yazar: okaraagac@sinop.edu.tr

(Alınış: 07.01.2021, Kabul: 26.02.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Keywords

PV panel,
Monocrystalline
PV panel,
Polycrystalline
PV panel,
Renewable
energy

Abstract: Due to the increase in energy consumption and environmental pollution in recent years, countries have included renewable energy in their long-term energy policies by supporting researches to increase the usage diversity and performance of renewable energy sources. Solar energy, one of these renewable energy types, and its various applications are of great importance to increase the energy production diversity. In this context, evaluation of monocrystalline and polycrystalline photovoltaic panel performance was performed under Sinop's climate conditions. In the first stage, the most suitable panel tilt for Sinop province was found by recording the voltage and current values of the panels at different panel angles. According to the results obtained, the optimum angle value of the monocrystalline and polycrystalline panels was determined as 38 degrees. Then, in different days, the efficiencies of the panels were calculated using the determined optimum angle and compared with the literature. At the same angles, it was observed that the monocrystalline panel produced higher power than the polycrystalline panel and the monocrystalline panel was more efficient when examined from hourly measurements. Experimental panel yields were found to be 0.162 and 0.139 for monocrystalline and polycrystalline panels, respectively. Finally, the effect of temperature change on the panels was evaluated. With this study, the most suitable panel type is determined for Sinop province and its surrounding conditions, thus preventing unnecessary investments and efficiency losses.

Sinop İli Koşullarında Monokristal ve Polikristal Fotovoltaik Panellerin Değerlendirilmesi

Anahtar Kelimeler

PV panel,
Monokristal,
Polikristal,
Yenilenebilir
enerji

Öz: Son yıllarda enerji tüketimi ve çevresel kirlilikteki artıştan dolayı ülkeler yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım çeşitliliğini arttırmak üzere olan araştırmaları destekleyerek yenilenebilir enerjiyi uzun vadeli enerji politikalarına dâhil etmektedirler. Bu yenilenebilir enerji türlerinden olan güneş enerjisi ve onun çeşitli uygulamaları enerji üretim çeşitliliğini arttırmak için büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda, Sinop ili iklim koşulları altında monokristal ve polikristal fotovoltaik güneş panelleri kullanılarak fotovoltaik panellerin performans değerlendirilmesi yapılmıştır. İlk aşamada Sinop ili için en uygun panel açısı farklı pozisyonlarda gerilim ve akım değerleri kaydedilerek bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre monokristal ve polikristalin panellerin optimum açı değeri 38 derece olarak belirlenmiştir. Daha sonra belirlenen optimum açı kullanılarak farklı günlerde panellerin verimliliği hesaplanmış ve literatür ile karşılaştırılmıştır. Aynı açılarda, monokristal panelin polikristal panelden daha yüksek güç ürettiği ve saatlik ölçümlerden incelendiğinde monokristal panelin daha verimli olduğu görülmüştür. Deneysel panel verimi monokristal ve polikristalin paneller için sırasıyla 0.162 ve 0.139 olarak bulunmuştur. Son olarak sıcaklık değişiminin paneller üzerine etkisi değerlendirilmiştir. Bu çalışma ile Sinop ili ve çevresi koşullarında en uygun panel tipi belirlenerek gereksiz yatırımların ve verim kayıplarının önlenmesi sağlanmaktadır.

1. INTRODUCTION

Recently, energy is most important key parameter to become a developing or developed country and involves in each part of life; daily needs, hospitals, industry, transportation and etc. While satisfying this need of the countries, the energy production choice becomes crucial at this point since it might result in undesired conditions, such as dependency of other countries and environmental pollution, which threaten the countries' future. In this regard, renewable energy sources are mostly studied and investigated by many researchers since the sources offer clean and domestic power. One of the best options among the renewable energy sources for Middle Eastern countries is the solar energy due to the reasons that the considerably high solar radiation in the region, its low cost and being environment friendly technology.

Photovoltaic (PV) panels are simply used to harvest the solar energy and then convert it into electricity by exciting electrons in silicon cells. There are different types of solar cells, classified based on the production technology. The well-known types of PV panels are amorphous, polycrystalline (pc-Si) and monocrystalline (c-Si), where the energy conversion efficiencies are in the range of 6-7, 11-15 and 15-20, respectively [1]. Since higher the efficiency is better, polycrystalline and monocrystalline panels are favorites in the application of solar systems. In addition, the tendency towards solar energy source motivated the researchers to investigate the performance of solar panels and technologies, and it is mainly found that the performances of PV panels are affected by solar irradiance, ambient temperature, wind, humidity and the kind of technology used [2-4]. In this regard, investigation on different types of PV panels has been motivated and performed on different applications of solar systems [5-8]. Their usage in various areas were reported: solar power generation [9], cooking [10], water heating [11], water pumping [5], heating of buildings [12], solar distillation [13], etc. As listed above, besides its application area, the location also differs due to the fact that radiation irradiance and weather conditions are not the same everywhere. In this regard, many researches were reported for different locations such as the studies at Brazil [5], Jordan [14], France [15], Norway [16] and Italy [17]. In different regions of Turkey, similar studies have been performed and reported: Aegean region [18], Central Anatolian region [19], Mediterranean [20], Southeastern Anatolia [21] and Marmara [22]. There are not much detailed studies in Black Sea region, especially for the city of Sinop since low solar radiation is expected in its territory.

In addition, the performance of the solar energy depends on the incident insolation panel temperature and optimal tilt angle (inclination) of the solar panels. Therefore, they need careful attention and examination for the chosen application location before the establishment of the system. Since the position of the sun during the day affects the generated power, the optimum angle and orientation of the panels have to be determined. It is

mainly depending on the season and which part of the world the system is.

When we are talking about the performance of solar energy system, not only are location and panel type considered but also photovoltaic panel temperature is taken into account. In order to determine the impact of panel temperature on electricity efficiency, some studies have been already performed [1, 7, 23]. The temperature dependent electrical efficiency is defined as in Eq. 1.

$$\eta_{el,t} = \eta_r(1 - \beta(T_{pm} - T_r)) \quad (1)$$

Here, η_r , β , T_{pm} and T_r stand for reference efficiency of selected PV panel, temperature coefficient, temperature of the solar cells and reference temperature. These values could be found in Ref. [1].

In this paper, experimental evaluations of polycrystalline and monocrystalline PV panels were performed time dependently at out-of-door for City of Sinop in Turkey between March 20 and 23, 2019, where the geographical location is given as 42°.0280 N (latitude) and 35°.1517 E (longitude). On the first stage, the optimum angle for month of March was determined, and the considered measurements were carried out at the determined optimum angle. All measured results were compared and verified using theoretical expectations. On the final step, temperature dependency of PV panels was further examined.

2. MATERIALS AND METHODS

The experimental design includes solar panels, solar regulators, DC watt meters, temperature sensor and batteries, as illustrated in Fig. 1. Considered two different types of panels, with a power of 20 W and sizes of 0.43 m x 0.36 m (monocrystalline) and 0.419 m x 0.359 m (polycrystalline), were installed on the same stand-alone frame. Further details were given in Table 1. Besides, solar regulators are identical and work with a maximum current of 10 Ah and maximum voltage of 24 V. DC watt meters are identical and have working ranges of current and voltage as 0-100 A and 0-60 V, respectively. They were crosschecked with other panels to ensure that they are identical and do not have production deformations. Batteries, dry cell, are the same and characterized with 12 V and 7 A. All of the measurements presented here were conducted from March 20 to March 23, 2019, from 09:00 to 15:00 h. The setup was located far from the shades of any possible object.

In the first stage, the optimum angle for energy production of solar panels was determined by simultaneously increasing two degrees from 0 to 70 in Sinop Province in March. After the determination of the optimum inclination of the panels, the efficiency measurements were made at the obtained optimum angle.

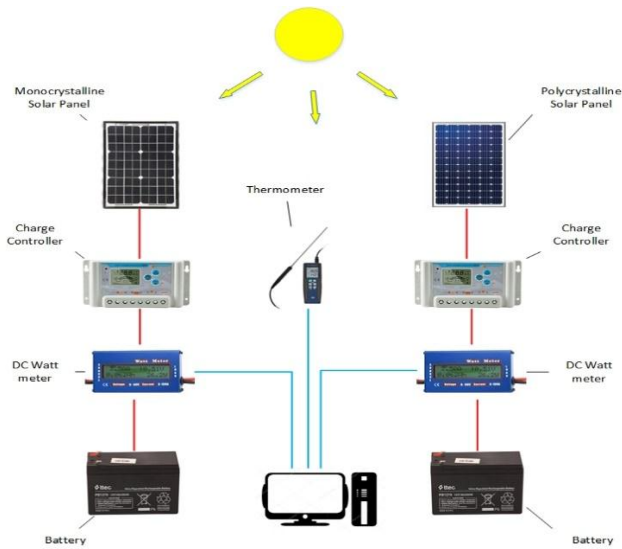


Figure 1. Experimental design

Table 1. The used PV panel specifications

| Solar Module Type | Monocrystalline Solar Panel | Polycrystalline Solar Panel |
|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Material | Crystalline silicon | Crystalline silicon |
| Maximum power P_{mp} | 20 W | 20 W |
| Max. power voltage V_{mp} | 17.38 V | 17.38 V |
| Max. power current I_{mp} | 1.15 A | 1.15 A |
| Open circuit voltage V_{oc} | 21.60 V | 21.46 V |
| Short circuit current I_{sc} | 1.21 A | 1.21 A |
| Size(mm) | 430 x 360 x 22 | 419 x 359 x 22 |

Using the proposed experimental design, the power outputs of polycrystalline and monocrystalline photovoltaic panels were measured simultaneously in the city of Sinop in Turkey between March 21 and 23, 2016. Fig. 2 shows the 3D diagrams of the experimental setup and a picture of measurement system. Measurements were performed at out-of-door conditions to ensure providing a recommendation to determine a suitable panel for the environmental characteristics in the region of Sinop. With the help of obtained power outputs of each solar cell, the efficiencies were obtained using Eq. 2:

$$\eta_{sc} = \frac{FF I_{sc} V_{oc}}{AE}$$

(2)

where FF, A and E define fill factor, area of the collector and global solar irradiation. Here, daily global solar irradiation for the Sinop city were obtained using pyranometer. Afterwards, a reference efficiency was compared to the results of Eq. 1.

3. RESULTS AND DISCUSSION

On the first step of the measurements, optimum photovoltaic panel angle of Sinop city was determined by scanning a wide range of PV panel angle starting

from 0 to 70°. The angle of the panels was changed simultaneously to ensure the same solar irradiation and environmental conditions. The measurement was carried out with the proposed experiment design at the determined optimum angle between 11:30 – 12:05 am on March 20, 2019. The results of the measurements were analyzed and graphed as a function of PV panel angle and given in Fig. 3. Maximum powers of monocrystalline and polycrystalline photovoltaic panels were measured at the same angle and they were found to be as 13.3 W and 12.89 W, respectively. The figure shows that monocrystalline solar panel produced more power than polycrystalline panel for each chosen angle under the same environmental conditions.

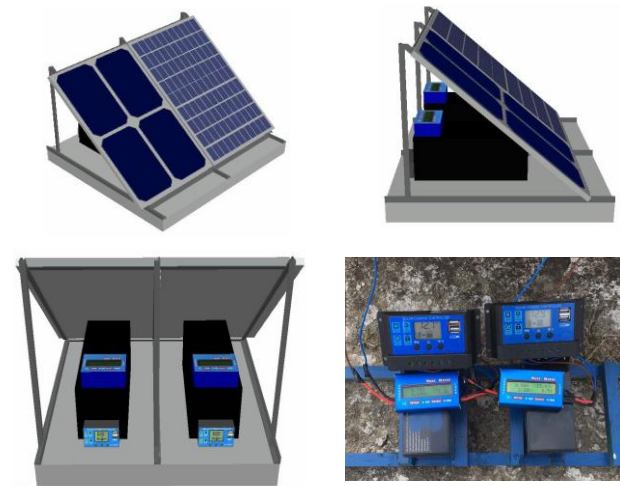


Figure 2. 3D diagrams of the experimental setup and a picture of measurement system

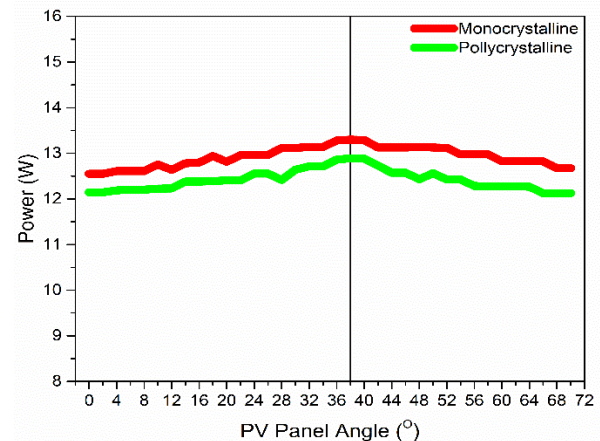


Figure 3. PV panel angle-dependent power output of different PV panels

As mentioned in the section of materials and methods, the efficiency measurements of solar panels were performed on March 21, 2019 at the determined optimum angle, and the obtained efficiencies are given in Table 2. The given efficiencies were calculated using Eq. 2. The temperature of the solar panels during the measurements were varied from 9.73 to 12.13 °C so that it was not expected significant temperature dependence hourly. Monocrystalline solar panel efficiency was found to be significantly higher than the one obtained for polycrystalline. This remarkable efficiency difference

leads greater production differences at larger scales. For example, if we compare the power production per 100 m² by taking 12:00 am as the reference, monocrystalline choice produces 8509 W while 8166 W would be obtained from the choice of polycrystalline. This reveals the advantage of monocrystalline for bigger solar panel application area.

Table 2. The efficiencies of solar cells (21.03.2019)

| Hour | E (W/m ²) [14] | Polycrystalline | | | Monocrystalline | | |
|-------|----------------------------|-----------------|-------|-------------|-----------------|-------|-------------|
| | | I (A) | V (V) | η_{sc} | I (A) | V (V) | η_{sc} |
| 09:00 | 469.41 | 0.72 | 13.1 | 0.120 | 0.74 | 14.1 | 0.144 |
| 10:00 | 550.26 | 0.88 | 13.9 | 0.133 | 0.9 | 14.7 | 0.155 |
| 11:00 | 555.31 | 0.90 | 14.1 | 0.137 | 0.91 | 15.2 | 0.161 |
| 12:00 | 525.08 | 0.89 | 13.8 | 0.140 | 0.89 | 14.8 | 0.162 |
| 13:00 | 429.43 | 0.78 | 12.5 | 0.136 | 0.81 | 13.7 | 0.167 |
| 14:00 | 306.21 | 0.47 | 11.6 | 0.107 | 0.5 | 12.3 | 0.130 |
| 15:00 | 172.4 | 0.22 | 10.5 | 0.081 | 0.22 | 11.6 | 0.095 |

Besides, it is worth to compare the obtained electrical efficiencies with the theoretical expectations that could be calculated using Eq. 1 and the values from Ref. [1]. Fig. 3 presents the outcomes of Eq. 1 for polycrystalline and monocrystalline panels, separately. The electrical efficiency expectation bands were drawn based on these values. On the day of March 21, 2019 at 12:00 am, the solar panel temperature was measured as 11.58 °C, and the obtained efficiencies of polycrystalline and monocrystalline panels were 0.162 and 0.139, respectively. It is clearly seen that the measured results agree well with the efficiency bands drawn on Fig. 4.

The obtained efficiency of monocrystalline panel is close to lower band of expectation from the literature. The electrical efficiencies of both the panels are expected to decrease by the increase of the solar panel’s temperature. Based on the comparison graph, it is seen that there is small intersection of mono and polycrystalline panels starting from about 25 °C. In other words, the slope of monocrystalline band is slightly deeper than the one expected for polycrystalline. Additionally, based on the judgment of Fig. 4, the possibility of finding polycrystalline efficiency is higher than monocrystalline efficiency was found to be very small.

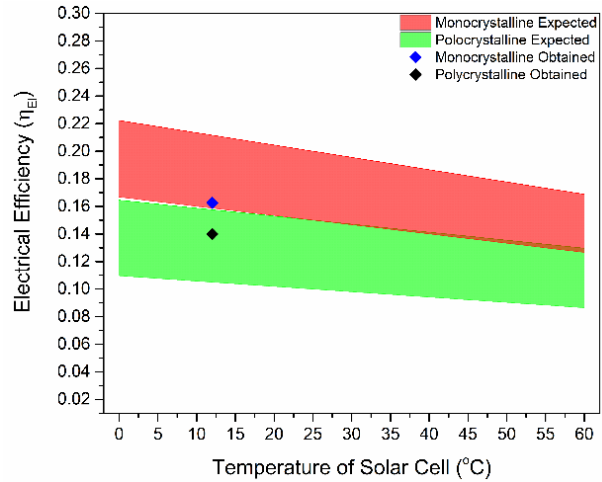


Figure 4. The temperature–dependent electrical efficiency of different PV panels.

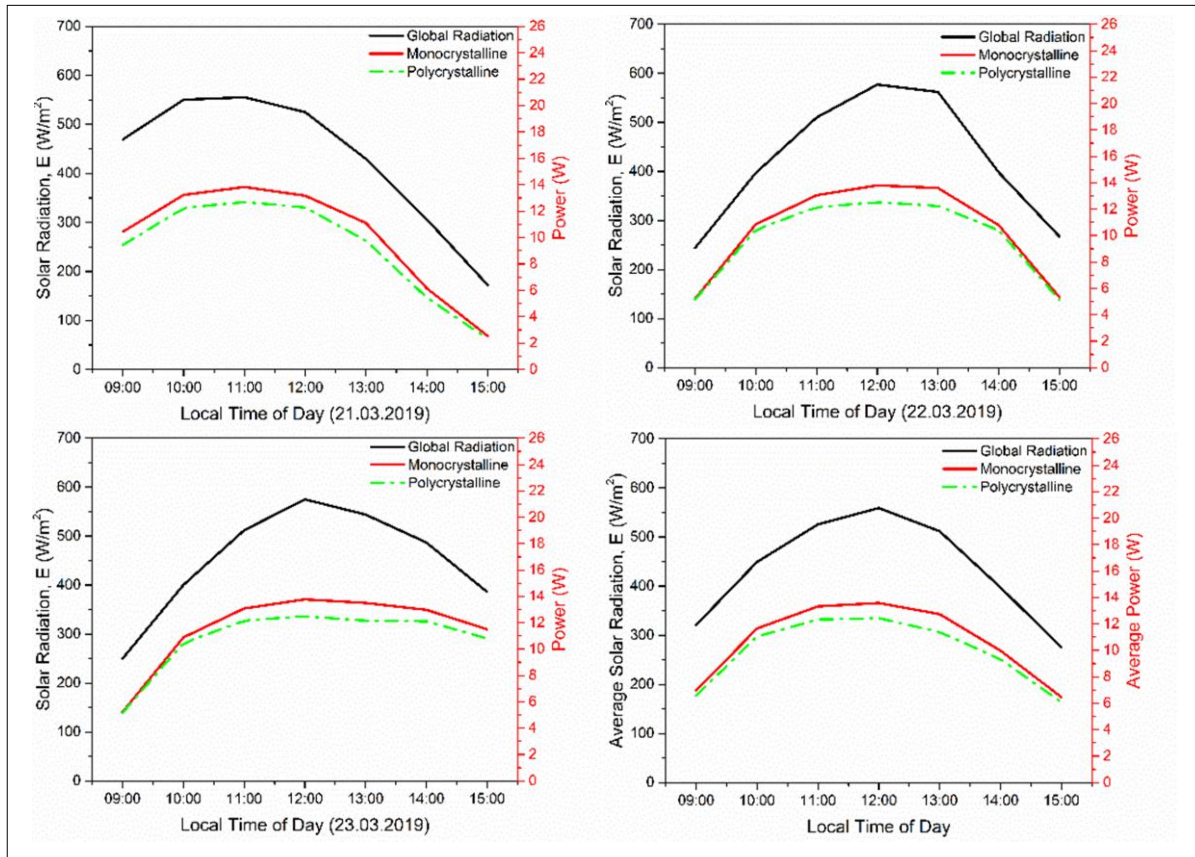


Figure 5. Daily and average results

Within the scope of this study, time dependent solar cell performances and power values of the chosen solar panels were also evaluated. The measurement performed on March 21, 2019 was hourly repeated on March 22 and 23, 2019. Fig. 5 presents daily and hourly panel power productions and the measured global solar radiations. All results indicate that monocrystalline panel had always higher efficiency than polycrystalline panel. Especially, significant differences were observed between 10:00 am and 14:00 pm. Average global solar radiation and the generated powers of the chosen three days were also shown in Fig. 5.

Here, it should be also given that Sinop's (Turkey's) average daily sun exposure time and solar radiation intensity are about 5.21 (7.2) hours and 5 (3.6) kWh /m², respectively [24-26]. The results should be evaluated and compared with other regions of the country in the light of this information. In studies conducted for Balıkesir [27], Tekirdağ [28], Manisa [29], Şanlıurfa [30], and Batman [31] provinces, the approximate electrical efficiency of PV panels was 12%, 15%, 13.5%, 6.5-7% and 13.65%, respectively while the yields of monocrystalline and polycrystalline panels, in this study conducted in Sinop, were found to be as 16.2% and 13.9%, respectively.

4. CONCLUSION

This study aims to optimize the use of photovoltaic panels in Sinop province in terms of panel angle and panel type. In the evaluation made according to the power obtained, the optimum angle value of the monocrystalline and polycrystalline panels was determined as 38 degrees. At the same angles, the monocrystalline panel has been found to produce higher power than the polycrystalline panel. In order to see the power distribution obtained during the day and to examine panel efficiencies according to the hours, current and voltage values per hour were taken from two panels placed at an angle of 38 degrees. When the data obtained from hourly measurements are examined, the monocrystalline panel is found to be more efficient. Experimental panel efficiency was determined as 0.162 and 0.139 for the monocrystalline and polycrystalline panels, respectively. This study will contribute the real users to using panels at most effective way in Sinop and provide resources for researchers.

REFERENCES

- [1] Vaishak S, Purnanand V B. Photovoltaic/thermal-solar assisted heat pump system: current status and future prospects. *Solar Energy*. 2019;189:268-284.
- [2] Daniela D, Gina B, Björn M, Reise Christian R. On the impact of solar spectral irradiance on the yield of different PV technologies. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. 2015;132:431-442.
- [3] Makrides G, Zinsser B, Phinikarides A, Schubert M, Georgiou G. Temperature and thermal annealing effects on different photovoltaic technologies. *Renewable Energy*. 2012;43: 407-417.
- [4] Rahman M M, Hasanuzzaman M, Rahim N A. Effects of various parameters on PV-module power and efficiency. *Energy Conversion and Management*. 2015;103:348-358.
- [5] Camargo Nogueiro C E, Bedin J, Krauss Niedzialkoski R, Melegari de Souza S N, Munhoz das Neves J C. Performance of monocrystalline and polycrystalline solar panels in a water pumping system in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015;51:1610-1616.
- [6] Tascioglu A, Taskin O, Vardar A. A power case study for monocrystalline and polycrystalline solar panels in Bursa city, Turkey. *International Journal of Photoenergy*. 2016;732:4138.
- [7] Zagorska V, Ziemelis I, Ancevic L, Putans H. Experimental investigation of photovoltaic thermal hybrid solar collector. *Agronomy Research Biosystem Engineering*. 2012;1: 227-234.
- [8] Mirzaei M, Mohiabadi M Z. A comparative analysis of long-term field test of monocrystalline and polycrystalline PV power generation in semi-arid climate conditions. *Energy for Sustainable Development*. 2017;38:93-101.
- [9] Singh G K. Solar power generation by PV (photovoltaic) technology: A Review. *Energy*. 2013;53:1-13.
- [10] Telkes M. Solar cooking ovens. *Solar Energy*. 1959;3(1):1-11.
- [11] Shukla R, Sumathy K, Erickson P, Gong J. Recent advances in the solar water heating systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013;19:173-190.
- [12] Li B, Chen X, Cheng X, Zhai X, Zhao X. Solar systems for urban building applications: heating, cooling, hot water, and power supply. *Advanced Energy Efficiency Technologies for Solar Heating, Cooling and Power Generation*. 2019;11: 373-416.
- [13] Kumar D, Pandey A, Prakash O, Kumar A, DevRoy A. Simulation, modeling, and experimental studies of solar distillation systems. *Solar Desalination Technology*. 2019;1:149-166.
- [14] Abdelkader M R, Al-Salaymeh A, Al-Hamamre Z, Sharaf F. A comparative analysis of the performance of monocrystalline and multicrystalline PV cells in semi-arid climate conditions: the case of Jordan. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*. 2010;4:543-552.
- [15] Jacques S, Calderia A, Ren Z Schellmanns A, Batut N. The impact of the cell temperature on the energy efficiency of a single glass PV module: thermal modeling in steady state and validation by experimental data. *International Conference on Renewable Energies and Power Quality*. 2013. Spain. v. 11.
- [16] Mitdgard O M, Saetre T O, Yordanov G, Imenes A G, Nge C L. A qualitative examination of performance and energy yield of photovoltaic modules in southern Norway. *Renewable Energy*. 2010;35:1266-1274.
- [17] Congedo P M, Malvoni M, Mele M, De Giorgi M G. Performance measurements of monocrystalline

- silicon PV modules in south-eastern Italy. *Energy Conversion and Management*. 2013;68:1-10.
- [18] Engin M, Çolak M. Güneş-rüzgar hibrid enerji üretim sisteminin incelenmesi. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*. 2005;11(2):230-225.
- [19] Devlet Planlama Teşkilatı. Güneş ve rüzgâr enerjisi kullanılarak şebeke ile paralel çalışabilen hibrit enerji santrali tasarımı ve uygulaması. Devlet Planlama Teşkilatı. 2006. Türkiye. Ankara. 2921.
- [20] Yanıktepe B, Özalp C, Savrun M, Köroğlu T, Cebeci Ç. Rüzgâr-güneş hibrid güç sistemi: osmaniye korkut ata üniversitesi uygulama örneği. 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11). 2011. Elazığ: Turkey. p.16-18.
- [21] Aktacir M A, Yeşilata B, Işıker Y. Fotovoltaik-rüzgâr hibrid güç sistemi uygulaması. *Yenilenebilir Enerji Teknolojileri*. 2016;3:56-62.
- [22] Akyüz E, Bayraktar M, Oktay Z. Hibrid yenilenebilir enerji sistemlerinin endüstriyel tavukçuluk sektörü için ekonomik açıdan değerlendirilmesi: Bir uygulama. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 2009;11(2): 54-44.
- [23] Skoplaki E, Palyvos J A. On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: a review of efficiency/power correlations. *Solar Energy*. 2009;83: 614-624.
- [24] Karaağaç, M. O., Oğul, H., and Bardak, S. Kanatlı hayvan çiftliği için güneş enerji sisteminin tasarımı ve maliyet hesabı. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*. 2020;8(1): 711–722.
- [25] ETKB. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. [Internet]. Güneş; 2021 [cited 2021 Feb 20]. Available from: <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes>
- [26] Meteoroloji Genel Müdürlüğü, [Internet]. Veri: 2021 [cited 2021 Feb 21]. Available from: <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=SINOP>.
- [27] Gül, M. and Akyüz, E. Fotovoltaik-termal (PV/T) bir sistemin deneysel performansının incelenmesi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 2019;21(1): 444–458.
- [28] Arslan, İ. Tekirdağ koşullarında polikristal ve monokristal tip pv güneş panellerinin verimlilik karşılaştırılması [dissertation]. Tekirdağ: Namık Kemal University; 2018.
- [29] Koç, İ. and Başaran, K. PV/T tabanlı bir sistemde matlab/simulink kullanılarak yapılan performans analizi. *Journal Of Polytechnic*, 2019;22(1):229-236.
- [30] Yeşilata, B., Aydın, M., and Işıker, Y. Küçük ölçekli bir pv su pompalama sisteminin deneysel analizi. 2006;47(553):31-38.
- [31] Şen, İ. E. Fotovoltaik panellerde faz değiştiren madde kullanımının verim üzerine etkisinin deneysel olarak araştırılması [dissertation]. Batman: Batman University; 2019.



Toplum Ruh Sağlığı Merkezlerindeki Terapi Bahçelerinde Kullanılan Bitkiler Üzerine Etnobotanik Bir Çalışma

Fatih SATIL^{1*}, Emine AKTAŞ²

¹Balıkesir Üniversitesi, *Botanik Bahçesi* ve Herbarium Araştırma ve Uygulama Merkezi, Balıkesir, Türkiye

²Salihli (Manisa) Devlet Hastanesi, Manisa, Türkiye

Fatih SATIL ORCID No: 0000-0002-4938-1161

Emine Aktaş ORCID No: 0000-0003-1624-2285

*Sorumlu yazar: fsatil@gmail.com

(Alınış: 23.01.2021, Kabul: 29.04.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Anahtar

Kelimeler

Toplum ruh sağlığı merkezleri, Etnobotanik, İyileştirme bahçeleri, Ruh sağlığı, Terapi bahçeleri

Öz: Toplum Ruh Sağlığı Merkezleri (TRSM), ağır ruhsal rahatsızlığı bulunan hastaların yaşadıkları ortamda takiplerinin ve tedavilerinin yapıldığı hastanelere entegre olan birimlerdir. Bu birimlerde görevli ergoterapistlerce tedavi sürecinde hastaların ihtiyaç, istek ve becerilerine uygun olarak uygulanan aktivitelerden biri de bitki terapi bahçeleridir. Bu araştırma, Türkiye'deki farklı bölgelerden seçilen 54 TRSM'de gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla TRSM'lerin bitki terapi bahçelerinde terapi amaçlı kullanılan bitki taksonları tespit edilmiştir. Ayrıca, özel gereksinimli bireylerin fiziksel ve bilişsel yetileri doğrultusunda terapi bahçelerindeki bu bitkilerden ne amaçla yararlanıldıkları belirlenmiştir. Çalışmada, bilgilendirici fikir birliği faktörü (FIC/IFC) ve bitki kullanım değeri (UV) hesaplanmış, ayrıca kullanılan taksonlar arasındaki farkı bulmak için Değişim Aralığı (DA) formülü kullanılmıştır. Sonuçta, çalışma yapılan TRSM merkezlerinde toplam 42 taksonun terapi amaçlı kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu bitkilerin yerel ve bilimsel isimleri, kullanım amaçları, kullanılan kısımları ve kullanım sıklıkları belirlenmiştir. Kullanımı belirlenen bu taksonlardan 14'ü otsu/soğans, 14'ü meyve/sebze, 14'ü de çalı ve ağaç grubu bitkilerdendir. Terapi bahçelerinde en çok otsu/soğans taksonlar kullanılmaktadır. Bitkilerin en fazla çiçek kısımlarından (%40) görsel ve koku amaçlı yararlanılmaktadır. Kullanım amaçlarına göre bitkilerin; %47'sinin görsellik/sevir, %32'sinin gıda ve %21'inin de koku amaçlı değerlendirildiği tespit edilmiştir. Çalışmanın FIC değeri 0,22'dir. UV değeri; en fazla (0,96) *Rosa x damascena* (gül), en düşük (0,01) *Tilia tomentosa* (ıhlamur) ve *Abies nordmanniana* (köknar)'da tespit edilmiştir. DA ise 0,95'tir.

An Etnobotanic Study on Plants Used in Therapy Gardens in Community Mental Health Centers

Keywords

Community mental health centers, Ethnobotany, Healing gardens, Mental health, Therapy gardens

Abstract: Community Mental Health Centers (CMHC) are units where patients with severe mental illness are followed up and treated in the environment where they live. Plant therapy gardens are one of the activities implemented by occupational therapists in these units in accordance with the needs, desires and skills of the patients during the treatment process. This study was conducted in 54 CMHC selected from different regions in Turkey. For this purpose, plant species used for therapy purposes in the plant therapy gardens of CMHCs were determined. In addition, the purpose of using these plants in therapy gardens was determined in accordance with the physical and cognitive abilities of the individuals with special needs. In the study, informant consensus factor (FIC/ICF) and plant use value (UV) were calculated, In addition, the Interval Range (DA) formula was used to find the difference between the plants species used. As a result, it was determined that total 42 plant taxa were used for therapy purposes in CMHC where the study was conducted. Local and scientific names of the plants used, usage purposes, used part and usage frequency are determined. In the therapy gardens; 14 (33%) taxa in the herbaceous/bulbous group, 14 (33%) taxa in the fruit/vegetable group, 14 (33%) taxa in the bush and tree group are used. The herbaceous/bulbous taxa are mostly used in therapy gardens. Flower parts of the plants are mostly used (40%) for visual and fragrance purposes. In addition, these plants are used for 47% visual, 32% food and 21% fragrance. The FIC value of the study was calculated as 0,22. UV is highest (0,96) in *Rosa x damascena* (rose), lowest (0,01) in *Tilia tomentosa* (linden) and *Abies nordmanniana* (fir). DA is 0,95.

1. GİRİŞ

Doğuştan ya da sonradan meydana gelen ve insanın yaşam kalitesini etkileyen ruhsal çöküntüler, hastalık ya da kaza nedeni ile oluşan sakatlıklar vb. problemlerin tedavisinde bitki ve doğal elemanların kullanılması bilinen en eski yöntemlerden birisidir.

Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinde bazı Darüşşifalarda terapi bahçeleri tarzı peyzaj düzenlemelerinin olduğu, özel bitki tarhlarının bulunduğu ve ilaç yapımı için buralarda özel bitki ve çiçeklerin yetiştirildiği bilinmektedir [1].

Avrupa’da özellikle ikinci dünya savaşından sonra ruhsal ve fiziksel sorunlarla evlerine dönen askerlerin tedavisi için rehabilitasyon merkezlerine 1950’lerden sonra talep artmış ve rehabilitasyon merkezlerinde doğal elemanlar (bitki, su vb.) terapi aracı olarak, tedavi programlarında yoğun olarak kullanılmaya başlanmıştır. İngiltere’de 1960’larda engelli bireylerin erişebileceği “iyileştirici bahçe tasarımı” tanımlanarak, hastane bahçeleri özellikle engellilerin eğitimi ve tedavilerinde kullanılmıştır. Benzer şekilde son yıllarda Amerika ve Avrupa’daki ülkelerde, engelliler ve hastalar için terapi bahçelerinin uygulandığı birçok tedavi merkezi yapılmıştır [2].

Özellikle hastane bahçelerinde yer alan doğal alanların hastane ortamındaki kişiler üzerinde ağrı ve semptomları, ilaç kullanımını, gerginlik ve stresi azaltıcı etkilerinin varlığı yapılan çalışmalarla kanıtlanırken; zihinsel sağlık tedavisi alan hastalarda ise rahatlatma, sosyalleşme ve kendine güven verici etkilerinin olduğu anlaşılmıştır [3].

Doğal çevrenin ve bitkilerin insan sağlığı üzerine olan etkileri ile ilgili yapılan çalışmalardan sonra insan sağlığı ve doğal çevre arasındaki ilişkiyi tanımlayan araştırmalar yapılmıştır [4]. Sonraki dönemlerde ise doğal çevrenin ve peyzajın insan psikoloji üzerindeki etkileri ve stres yönetimi, farklı çiçek renklerinin insanda oluşturduğu fiziksel ve psikolojik etkileri üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir [5, 6].

Türkiye’de ise ruh sağlığı ve tedavisinde terapi bahçelerini kullanımı oldukça yeni sayılır. Sağlık Bakanlığı tarafından 2006 yılında yayımlanan Türkiye Cumhuriyeti Ruh Sağlığı Politikası metni ile toplum temelli ruh sağlığı hizmetleri modeli gündeme gelmiştir. Daha sonra 2011 yılında ‘Ulusal Ruh Sağlığı Eylem Planı’ hazırlanmış ve bu amaçla yeni bir örgütlenme ve hizmet modeli geliştirilmiştir. Toplum Ruh Sağlığı Merkezleri (TRSM) Yönergesi ile ülkenin planlanan bölgelerinde ağır ruhsal rahatsızlığı olan hastaların (özellikle bipolar, şizofreni ve kronik psikoz hastaların) tedavilerini yapmak amacıyla TRSM’ler açılmaya başlanmıştır. Terapi Bahçeleri de ülkemizde ilk defa 2008’de Bolu’da kurulan Toplum Ruh Sağlığı Merkezleri ile gündeme gelebilmiştir [7]. Sağlık bakanlığının resmi verilerine göre bugün TRSM’lerin sayıları ülke genelinde 176’ya ulaşmıştır. Bu merkezlerde; psikiyatri uzmanları, hemşireler, sosyal hizmet uzmanları, psikologlar ve ergoterapistler

görevlendirilmektedir. Ergoterapistler; hastaların yaşam becerilerinde ihtiyaç, istek ve iyileşme rollerine yönelik bireysel ya da grup aktiviteleri planlaması yapmaktadır. Bu aktiviteler gezi, bitki, müzik, mutfak terapisi, spor ve el sanatlarından oluşmaktadır. Bu sayede hastaların toplumun dışına atılmadan ve dışlanmadan toplumla birlikte yaşamaları sağlanarak; yaşam kalitesini artırılması hedeflenmektedir.

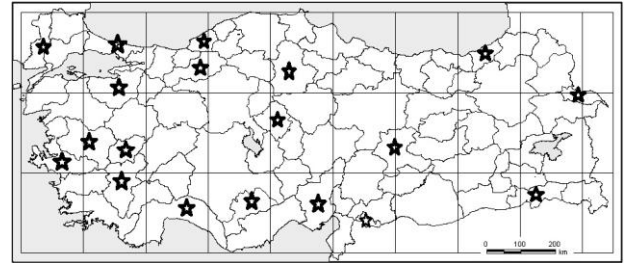
Yapılan literatür çalışmalarında, terapi bahçelerinin daha çok insan psikolojisi ve sağlığı üzerindeki etkilerine yönelik yapılan araştırmalara rastlanmıştır [2-6]. Ancak hastane bahçelerinde ya da TRSM’lerdeki terapi bahçelerinde yapılmış bir etnobotanik araştırmaya rastlanmamıştır. Bununla birlikte psikolojik rahatsızlıkların tedavisinde kullanılan tıbbi bitkiler üzerinde yapılmış bazı etnobotanik araştırmalara rastlanmaktadır [8-10].

Ülkemizde 78 ilde 176 TRSM aktif olarak hizmet vermektedir. Bu merkezlerde hastaların yaşam becerilerinde ihtiyaç, istek ve iyileşme rollerine yönelik olarak gezi, bitki, müzik, mutfak terapisi, spor ve el sanatları aktiviteleri düzenlenmektedir. Bu aktivitelerden birisi olan bitki terapi bahçelerinde hastaların bilişsel ve fiziksel yetileri doğrultusunda çeşitli bitkilerin yetiştirilmesi, bakımı ve ürünlerin hasadı gibi uğraşlar yapılmaktadır.

Bu araştırmada ülkemizdeki Toplum Ruh Sağlığı Merkezlerinin bitki terapi bahçelerinde kullanılan bitkilerin yerel ve bilimsel isimleri, kullanım amaçları, kullanılan kısımları ve kullanım sıklıkları tespit edilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Bu araştırma; 2020-2021 yılları arasında gerçekleştirilmiştir. Türkiye’de aktif olarak bulunan 176 TRSM araştırmamızın evrenini, bölgelere göre dağılımına dikkat edilerek seçilen ve terapi bahçesine sahip 54 TRSM de çalışmanın örneklemini oluşturmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Araştırma yapılan TRSM’lerin bulunduğu iller.

2.1. İncelenen TRSM’lerin Bölgelere Göre Dağılımı

Çalışmanın yapıldığı TRSM’lerin bölgelere göre dağılımı ve sayıları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Araştırma yapılan TRSM'lerin bölgelere göre dağılımı

| TRSM'nin yer aldığı bölge | İl | Seçilen TRSM sayısı |
|----------------------------|-----------|---------------------|
| Marmara Bölgesi | İstanbul | 6 |
| | Bursa | 6 |
| | Edirne | 3 |
| Ege Bölgesi | İzmir | 8 |
| | Manisa | 4 |
| | Uşak | 1 |
| | Denizli | 1 |
| İç Anadolu Bölgesi | Karaman | 2 |
| | Kırşehir | 1 |
| | Çorum | 1 |
| Akdeniz Bölgesi | Antalya | 5 |
| | Adana | 4 |
| Karadeniz Bölgesi | Bolu | 3 |
| | Zonguldak | 2 |
| | Rize | 1 |
| Doğu Anadolu Bölgesi | Malatya | 2 |
| | Iğdır | 1 |
| Güneydoğu Anadolu Bölgesi: | Kilis | 2 |
| | Şırnak | 1 |

2.2. Araştırma Verilerinin Elde Edilmesi

Çalışma verileri, seçilen TRSM'lerde yapılan gözlemler ve bu birimlerde çalışan görevlilerden elde edilmiştir (Şekil 2). Bitki terapi bahçelerinde kullanılan bitkilerin yerel isimleri, kullanılan kısımları, kullanım amaçları ve kullanım sıklıkları TRSM'lerde görevli ergoterapistler görüşülerek belirlenmiştir. Çalışmanın kaynak kişileri bu merkezlerde çalışan ergoterapistlerdir.



Şekil 2. TRSM'lerdeki terapi bahçelerinde bitki yetiştirme, bakım ve hasat aktiviteleri.

2.3. Bitki Örneklerinin Teşhisi

TRSM'lerde tespit edilen yerli bitkilerin teşhislerinde Türkiye Florası adlı eserden [11, 12]'den, egzotik türlerin teşhislerinde ise ülkemizin süs ve egzotik bitkileri üzerinde yapılmış çeşitli kitaplardan yararlanılmıştır [13-15]. Teşhis edilen bitkilerin güncel taksonomik durumları ise The Plant List'ten (<http://www.theplantlist.org/>) kontrol edilmiştir. Bitkilerin Türkçe isimleri hem TRSM'de çalışan ergoterapistlerden hem de yukarıda verilen kaynaklardan yararlanılarak belirlenmiştir.

2.4. Veri Analizi

Çalışmada, bilgilendirici fikir birliği faktörü (**FIC/IFC**) ile bitkilerin etkinliği belirlenmiştir [16]. Ayrıca bitkilere yapılan atıf sayısı ile de bitki kullanım değeri (**UV**) hesaplanmıştır [17]. FIC seviyelenmesi Kayani ve ark. [18]'na göre yapılmıştır. Buna göre FIC değeri 0 ile 1 arasında değişmektedir. Yüksek bir değer (1'e yakın) az sayıda taksonun büyük bir bilgi kaynağı tarafından kullanıldığını, düşük bir değer (0'a yakın) bilgi verenlerin bir kategoride taksonlara göre çok fazla çeşitlilik olduğunu göstermektedir.

FIC=Nur-Nt/Nur-1

(**Nur**: Belirli bir bitki kullanım kategorisi için bilgi verenlerden gelen kullanım raporlarının sayısı. **Nt**: Bitkilerin kullanım kategorisiyle ilişkili taksonların sayısı)

UV=U/N

(**U**: Bir türün aldığı atıf sayısı, **N**: Bitkiyi kullanan toplam kişi sayısı) Kullanılan taksonlar arasındaki farkı bulmak için Değişim Aralığı (**DA**) formülü kullanılmıştır [19].

Değişim Aralığı (DA): Maksimum değer-minimum değer (Maksimum değer türün aldığı en yüksek UV değeri iken minimum değer taksonun aldığı en düşük UV değerini göstermektedir).

Yüzdeler hesaplamalarında ise SPSS 24 paket programı kullanılmıştır.

3. BULGULAR

Çalışma yapılan TRSM'lerdeki terapi bahçelerinde, toplam 42 taksonun terapi amaçlı kullanıldığı tespit edilmiştir. Kullanılan bitkilerin yerel ve bilimsel isimleri, kullanım amaçları, kullanılan kısımları ve kullanım sıklıkları Tablo 2-4'te verilmiştir.

Elde edilen veriler çerçevesinde TRSM'lerdeki terapi bahçelerinde kullanılan bitkiler hayat formlarına göre; otsu/soğans (14 takson), meyve/sebze (14 takson), çalı ve ağaç grubu (14 takson) şeklinde kategorilere ayrılmıştır (Tablo 2-4).

Otsu/soğans bitkilerde FIC değeri 0,75'le orta seviyededir. UV açısından en yüksek değer *Viola × wittrockiana* (menekşe)'de 0,88'dir. En düşük UV ise 0,03 olup *Primula vulgaris* (çuha çiçeği)'te görülmüştür. DA değerinin (0,85) yüksek olması bazı bitkilerin diğerlerine oranla daha çok kullanıldığının bir göstergesidir (Tablo 2)

Meyve/sebze grubu bitkilerin FIC değeri 0,75'tir. UV değeri; en yüksek (0,68) *Petroselinum crispum* (maydanoz)'da, en düşük (0,05) ise *Anethum graveolens* (dereotu)'te belirlenmiştir. Meyve/sebze grubu bitkilerin DA değeri 0,63 olarak bulunmuş ve farkın orta seviyeye yakın olduğu görülmüştür (Tablo 3).

Tablo 2. TRSM bahçelerindeki otsu/soğansu bitkilerin kullanım amacı ve kullanılan kısımları

| KATEGORİLER | | | | | | |
|-----------------------|---|-----------------|-------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|------------|
| Bitkinin Türkçe adı | Bilimsel Adı | Kullanım amacı | Kullanılan kısmı | Kullanım sayısı | Toplam kullanım sayısı oranı% | UV |
| Menekşe | <i>Viola x wittrockiana</i> Gams | Görsellik | Çiçek | 48 | 19.5 | 0,88 |
| Zambak | <i>Lilium candidum</i> L. | Koku, Görsellik | Tüm bitki, çiçek | 41 | 16.6 | 0,75 |
| Fesleğen | <i>Ocimum basilicum</i> L. | Koku, Görsellik | Yaprak | 39 | 15.8 | 0,72 |
| Lale | <i>Tulipa</i> sp. | Görsellik | Tüm bitki, çiçek | 32 | 13 | 0,59 |
| Karanfil | <i>Dianthus caryophyllus</i> L. | Koku, Görsellik | Tüm bitki, çiçek | 21 | 8.5 | 0,38 |
| Kasım patı | <i>Chrysanthemum indicum</i> L. | Görsellik | Çiçek | 13 | 5.2 | 0,24 |
| Sardunya | <i>Geranium sanguineum</i> L. | Görsellik | Tüm bitki | 13 | 5.2 | 0,24 |
| Begonya | <i>Begonia semperflorens</i> Link&Otto | Görsellik | Tüm bitki, çiçek | 9 | 3.6 | 0,16 |
| Nane | <i>Mentha x piperita</i> L. | Koku, Gıda | Yaprak | 9 | 3.6 | 0,16 |
| Ayçiçeği | <i>Helianthus annuus</i> L. | Görsellik, Gıda | Tüm bitki, tohum, çiçek | 6 | 2.4 | 0,11 |
| Sümbül | <i>Hyacinthus orientalis</i> L. | Koku, Görsellik | Tüm bitki, çiçek | 6 | 2.4 | 0,11 |
| Ateş çiçeği | <i>Salvia splendens</i> Sellow ex Schult. | Görsellik | Tüm bitki, çiçek | 4 | 1.6 | 0,07 |
| Kadife çiçeği | <i>Tagetes patula</i> L. | Görsellik, Koku | Tüm bitki, çiçek | 3 | 1.2 | 0,05 |
| Çuha çiçeği | <i>Primula vulgaris</i> Huds. | Görsellik | Tüm bitki, çiçek | 2 | 0.8 | 0,03 |
| Toplam:14(%33) | | | | 246 | 100 | 4.5 |
| FIC=0,75 | | Nur=54 | Nt=14 | Değişim Aralığı (DA): 0,85 | | |

Tablo 3. TRSM bahçelerindeki meyve/sebze grubu bitkilerin kullanım amacı ve kullanılan kısımları

| KATEGORİLER | | | | | | |
|------------------------|---|----------------|------------------|-----------------------------------|--------------------------------|-------------|
| Bitkinin Türkçe adı | Bilimsel Adı | Kullanım amacı | Kullanılan kısmı | Kullanım sayısı | Toplam kullanım sayısı oranı % | UV |
| Maydanoz | <i>Petroselinum crispum</i> (Mill.) Fuss | Gıda | Yaprak | 37 | 25 | 0,68 |
| Biber | <i>Capsicum annuum</i> L. | Gıda | Meyve | 21 | 14 | 0,38 |
| Domates | <i>Solanum lycopersicum</i> L. | Gıda | Meyve | 19 | 13 | 0,35 |
| Marul | <i>Lactuca sativa</i> L. | Gıda | Yaprak | 17 | 12 | 0,31 |
| Salatalık | <i>Cucumis sativus</i> L. | Gıda | Meyve | 17 | 12 | 0,31 |
| Patlıcan | <i>Solanum melongena</i> L. | Gıda | Meyve | 16 | 11 | 0,29 |
| Roka | <i>Eruca vesicaria</i> (L.) Cav. | Gıda | Yaprak | 12 | 8 | 0,22 |
| Fasulye | <i>Phaseolus vulgaris</i> L. | Gıda | Meyve | 7 | 5 | 0,12 |
| Semiz otu | <i>Portulaca oleracea</i> L. | Gıda | Yaprak | 7 | 5 | 0,12 |
| Karpuz | <i>Citrullus lanatus</i> (Thunb.) Matsum. & Nakai | Gıda | Meyve | 6 | 4 | 0,11 |
| Tere | <i>Lepidium sativum</i> L. | Gıda | Yaprak | 6 | 4 | 0,11 |
| Soğan | <i>Allium cepa</i> L. | Gıda | Yaprak | 4 | 3 | 0,07 |
| Mısır | <i>Zea mays</i> L. | Gıda | Meyve | 4 | 3 | 0,07 |
| Dere otu | <i>Anethum graveolens</i> L. | Gıda | Yaprak | 3 | 2 | 0,05 |
| Toplam:14 (%33) | | | | 176 | 100 | 3,25 |
| FIC=0,75 | | Nur=54 | Nt=14 | Değişim Aralığı (DA): 0,63 | | |

Çalı ve ağaç grubu bitkilerinin verileri incelendiğinde FIC değerinin 0,75 olduğu görülmüştür. UV değeri; en yüksek (0,96) *Rosa x damascena* (gül)'da, en düşük (0,01) *Tilia tomentosa* (ihlamur) ve *Abies nordmanniana* (köknar)'da tespit edilmiştir. Çalı ve ağaç grubu bitkilerin DA değeri ise 0,95'tir (Tablo 4).

Kullanım amaçları ile ilgili veriler değerlendirildiğinde; bitkilerin %47'si görsellik, %32'si gıda ve %21'i koku amaçlı kullanıldığı görülmüştür. Kullanım amaçlarına

göre en yüksek FIC değerini (0,81) koku amaçlı kullanım, en düşük değeri de (0,54) görsellik oluşturmuştur (Tablo 5).

Terapi bahçelerindeki bitkilerin gövde, meyve, yaprak ve çiçek kısımlarından yararlanılmaktadır. Kullanılan kısımların UV değeri sırasıyla; çiçek (0,33), yaprak (0,20), gövde ve meyve (0,14) şeklindedir. FIC değeri ise en yüksek (0,86) gövde ve meyvesinden yararlanılan bitkilerde görülmüştür (Tablo 6).

Tablo 4. TRSM bahçelerindeki çalı ve ağaç grubu bitkilerin kullanım amacı ve kullanılan kısımları

| KATEGORİLER | | | | | | |
|-----------------------|--|-----------------------|------------------|-----------------------------------|--------------------------------|------|
| Bitkinin adı | Bilimsel Adı | Kullanım amacı | Kullanılan kısım | Kullanım sayısı | Toplam kullanım sayısı oranı % | UV |
| Gül | <i>Rosa × damascena</i> Herrm. | Görsellik | Çiçek | 52 | 28,8 | 0,96 |
| Ortanca | <i>Hydrangea macrophylla</i> (Thunb.) Ser. | Görsellik | Tüm bitki, çiçek | 37 | 20,5 | 0,68 |
| Lavanta | <i>Lavandula angustifolia</i> Mill. | Koku, Görsellik | Çiçek | 22 | 12,2 | 0,40 |
| Biberiye | <i>Rosmarinus officinalis</i> L. | Gıda, Koku, Görsellik | Yaprak | 21 | 11,6 | 0,38 |
| Hanmeli | <i>Lonicera etrusca</i> Santi | Görsellik, Koku | Tüm bitki, çiçek | 13 | 7,2 | 0,24 |
| Leylak | <i>Syringa vulgaris</i> L. | Koku, Görsellik | Tüm bitki, çiçek | 8 | 4,4 | 0,14 |
| Zakkum | <i>Nerium oleander</i> L. | Görsellik | Tüm bitki, çiçek | 7 | 3,8 | 0,13 |
| Zeytin | <i>Olea europaea</i> L. | Gıda | Yaprak, meyve | 6 | 3,3 | 0,11 |
| Japon çamı | <i>Cryptomeria japonica</i> (Thunb. ex L.f.) D.Don | Görsellik | Tüm bitki | 4 | 2,2 | 0,07 |
| Guara çalısı | <i>Guara lindheimeri</i> Engelm. & A.Gray. | Görsellik | Tüm bitki, çiçek | 3 | 1,6 | 0,05 |
| Limon servi | <i>Cupressus macrocarpa</i> Hartw. | Görsellik | Tüm bitki | 3 | 1,6 | 0,05 |
| Palmiye | <i>Chamaerops humilis</i> L. | Görsellik | Tüm bitki | 2 | 1,1 | 0,03 |
| Ihlamur | <i>Tilia tomentosa</i> Moench | Gıda | Tüm bitki, çiçek | 1 | 0,5 | 0,01 |
| Kökknar | <i>Abies nordmanniana</i> (Steven) Spach | Görsellik | Tüm bitki | 1 | 0,5 | 0,01 |
| Toplam:14(%33) | | | | 180 | 100 | 3,33 |
| FIC=0,75 | | Nur=54 | Nt=14 | Değişim Aralığı (DA): 0,95 | | |

Tablo 5. TRSM bahçelerindeki bitkilerin kullanım amaçlarının değerlendirilmesi

| KATEGORİLER | | | | | | |
|------------------|-----------------|--------------------------------|------|----|-----|------|
| | Kullanım sayısı | Toplam kullanım sayısı oranı % | UV | Nt | Nur | FIC |
| Görsellik | 25 | 47 | 0,46 | 25 | 54 | 0,54 |
| Gıda | 17 | 32 | 0,31 | 17 | 54 | 0,69 |
| Koku | 11 | 21 | 0,20 | 11 | 54 | 0,81 |

Tablo 6. TRSM bahçelerindeki bitkilerin kullanılan kısımlarının değerlendirilmesi

| KATEGORİLER | | | | | | |
|---------------|-----------------|--------------------------------|------|-----|----|------|
| | Kullanım sayısı | Toplam kullanım sayısı oranı % | UV | Nur | Nt | FIC |
| Çiçek | 18 | 40 | 0,33 | 54 | 18 | 0,67 |
| Yaprak | 11 | 24 | 0,20 | 54 | 17 | 0,69 |
| Gövde | 8 | 18 | 0,14 | 54 | 8 | 0,86 |
| Meyve | 8 | 18 | 0,14 | 54 | 8 | 0,86 |

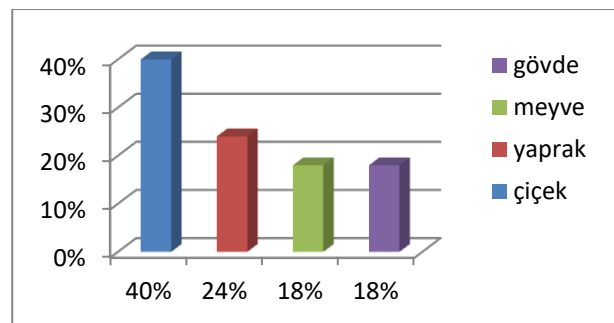
4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Türkiye genelinde farklı bölgelerden seçilen 54 TRSM'deki terapi bahçelerinde yapılan etnobotanik çalışma sonucunda toplam 42 taksonun tedavi amaçlı kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu taksonlardan 14'ü otsu/soğansı, 14'ü meyve/sebze, 14'ü de çalı ve ağaç grubu bitkilerdendir.

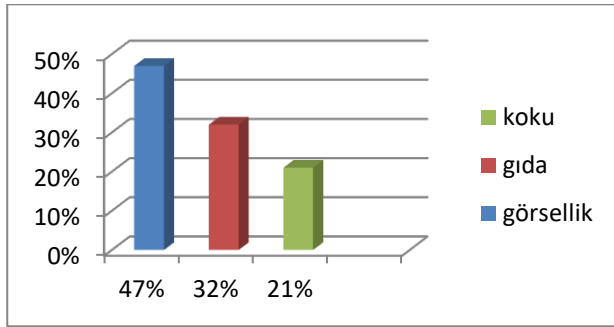
Terapi amaçlı değerlendirilen bitkilerin en fazla çiçek kısımlarından (%40) yararlanılmaktadır, bunu sırasıyla yaprak (%24), gövde ve meyve kısımları (%18) takip etmektedir (Şekil 3).

TRSM'ler sınırları belirli açık alan terapi mekanlarıdır. Benzer şekilde az çok çalışma alanımız gibi sınırları belirli açık alan olan Tayfur Sökmen Kampüsü ve çevresinde (Antakya/Hatay) bulunan bitkiler üzerine yapılan etnobotanik bir çalışma yapılmıştır [20]. Altay

ve Karahan (2012) tarafından yapılan bu çalışmada, alanda tespit edilen 43 bitki taksonu kullanılan kısımlarına göre değerlendirildiğinde; yaprakların %37,50; meyvelerin %17,86 ve çiçeklerin ise %16,07 oranında kullanımının olduğu görülmüştür [20].

**Şekil 3.** TRSM'lerdeki bitkilerin kullanılan kısımları

Bizim çalışma alanımızdaki terapi bahçelerinde kullanılan bitkiler kullanım amaçlarına göre; gıda, görsellik ve koku şeklinde gruplandırılmıştır. Buna göre, bitkilerin %47'si görsellik, %32'si gıda ve %21'i koku amaçlı değerlendirilmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. TRSM'lerdeki bitkilerin kullanım amaçları

Terapi bahçelerinde kullanılan bitkilerin UV ve FIC değerleri aşağıda değerlendirilmiştir.

Bitki gruplarının UV değeri; otsu/soğans bitkilerde 4,5, ağaç ve çalı grubu bitkilerde 3,33 ve meyve/sebze grubu bitkilerde de 3,25'tir. Buradan anlaşılıyor ki; otsu/soğans bitkiler daha fazla kullanılmakta, bunu ikinci sırada ağaç ve çalı grubu bitkiler izlemektedir. En az kullanımı belirlenen bitki grubu ise meyve sebze grubu bitkilerdir.

Kullanımı tespit edilen tüm taksonlar içerisinde UV değerinin en yüksek (0,96) *R. × damascena* (gül)'da, en düşük değerin ise (0,01) *T. tomentosa* (ıhlamur) ve *A. nordmanniana* (köknar)'da olduğu görülmektedir. Sonuçta UV değerinde maksimum ve minimum seviye arasında göze çarpan anlamlı bir fark (DA: 0,95) olduğu bulunmuştur. Buradan anlaşılıyor ki, terapi bahçelerinde terapi amaçlı olarak otsu/soğans taksonlardan menekşe, zambak, fesleğen ve lale; meyve/sebze grubundan maydanoz; çalı ve ağaç grubundan da gül, ortanca ve lavanta daha fazla kullanılırken diğer taksonlar daha az seviyede kullanılmaktadır.

Kullanımı tespit edilen 42 taksona ve 54 kaynak kişi sayısına göre çalışmanın genel FIC değeri 0,22 bulunmuş olup, düşük seviyede (FIC=0-1) bir fikir birliğinin olduğu söylenebilir. FIC değerinin düşük olmasının nedeni, TRSM'lerin farklı coğrafik bölgelerde yer alması ve her ilde çok farklı çeşitte bitki türlerinin kullanılıyor olması ile açıklanabilir.

Çalışmamızda kullanımı tespit edilen tüm bitki gruplarının FIC değeri eşit (0,75) bulunmuştur. Kullanım amaçlarına göre en yüksek FIC değerini 0,81 ile koku amaçlı kullanılan bitkiler oluştururken, en düşük FIC değerini 0,54 ile görsellik oluşturmaktadır. Bu da TRSM'lerde hastaların bilişsel ve fiziksel yetileri doğrultusunda bitkilerden yararlandığını göstermektedir. Terapi bahçelerinde kullanılan meyve/sebze grubu bitkiler hastalar için gıda olarak tüketilen bir ürün olarak görülmekten ziyade daha çok iş- uğraş etkinliği olarak değerlendirilmiştir. Benzer şekilde meyve/sebze grubu bitkilerin yetiştirilmesi ve onlardan

yemek yapılması faaliyeti hastaların ruh sağlığı üzerinde olumlu etki yaptığına dair çalışmalar mevcuttur [21, 22].

TRSM'ler dışında, ruhsal hastalıklar üzerinde yurtiçi ve yurt dışında yapılmış birçok etnobotanik çalışma bulunmaktadır. Nepal'de Parkinson hastalığına yönelik yapılan bir çalışmada 56 katılımcı ile görüşüp, 35 çeşit bitki türü tespit edilmiş ve FIC değeri 0,38 hesaplanmıştır [23]. Kuzeydoğu Brezilya Pernambuco eyaletinde, Savana bölgelerinde tedavi edici kaynak olarak bitki türleri üzerine yapılan bir çalışmada ise psikolojik hastalıklarda kullanılan bitki türlerinin FIC değerinin 0,74 olduğu görülmüştür [9]. Sinir ve psikosomatik sorunlar için Çin'de Mulam halkı tarafından kullanılan şifalı bitkiler üzerine yapılan bir etnobotanik çalışmada ise FIC=0,90 olduğu saptanmıştır [10]. Bangladeş'in Bandarban bölgesindeki yerli topluluklar tarafından kullanılan şifalı bitkilerin etnobotanik araştırmasında, nörolojik ve psikolojik hastalıkların fikir birliği faktörü FIC=0,50 olarak rapor edilmiştir [24]. Benzer şekilde Malatya yöresinde yapılan şifalı bitkiler çalışmasında [8] nörolojik hastalıkların FIC değeri 0,27; Giresun Espiye yöresinde nörolojik hastalıklar üzerine yapılan şifalı bitkiler çalışmasında ise FIC değeri 0,42 bulunmuştur [25].

Bu çalışmanın FIC değeri ile yurt dışı ve gerekse yurtiçinde yapılmış olan ruhsal hastalıklarla ilgili çalışmaların FIC değerleri karşılaştırıldığında yurt dışı çalışmalarda daha yüksek bir FIC değeri olduğu görülmektedir [8-10, 21-25].

Bu çalışmamızda incelenen TRSM'lerdeki terapi bahçeleri uygulamalarında; kişinin fiziksel, zihinsel ve kişisel gelişimi için canlı malzeme olarak kullanılan bitkiler değerlendirilme amaçları; doğanın zihinde canlandırılması (seyri), bahçecilik faaliyetleri (bitki yetiştirme, meyve toplama vb.) ve yetiştirilen bitkilerin tedavi amaçlı kullanımı şeklinde gruplandırılmıştır.

Terapide kullanılan sebze, meyve ya da süs bitkisi üretim aktivitelerinin, fiziksel ya da zihinsel engelli insanlarda başarıya, üretme duygusunu vererek psikolojik tatmin veya kendine güven duygularını desteklemektedir [21, 22].

Son araştırmalara göre, doğa ile iletişim halinde olmak hastalıklara sebep olan stres/depresyon gibi birçok ruhsal sorunları engelleyerek hastalıklardan korunurken, bir yandan da hastalıkların iyileştirilmesinde önemli rol oynamaktadır [26]. Tabiatın ve bitkilerin insan üzerindeki tedavi edici özelliğine dair yapılmış birçok bilimsel çalışma vardır. Bitkilerin, bireyler üzerinde sakinleştirici ve ağrı kesici etkisi de bilimsel araştırmalarla ispatlanmıştır [2]. Araştırma sonuçlarına göre, bahçede ve doğada zaman geçirmek çoğu zaman ameliyatların, enfeksiyonların ve diğer bazı rahatsızlıkların iyileşme sürecini hızlandırıyor [4]. Benzer şekilde, çocuk ya da yetişkin fiziksel veya zihinsel engelliler ile herhangi bir nedenle hastanede tedavi gören her yaş gurubu bireylerin iyi olma halini desteklediğine dair çalışmalar da mevcuttur [21].

Bazı uzmanlara, tabiatın bu tedavi edici yönünü yeşil rengine bağlıyor. Zira renklerin insan psikolojisinde farklı etki oluşturduğu biliniyor [3]. Hatta yeşilin insanda güven ve rahatlama duygusu verdiği düşünülüyor. Terapi bahçelerine tasavvufi açıdan bakıldığında tabiat, Allah'ın isim ve sıfatlarının tecelli ettiği, insan fitratına uygun yaratılmış bir kitap niteliğinde görülür. İnsan tabiata baktıkça Rabbinin isimlerinin tecellilerini görüyor. Bu yüzden tabiatla baş başa kalan insan huzur bulur [27].

Sonuç olarak, TRSM'lerde bitki terapi bahçelerinin kullanımı ile hastaların toplumun dışına atılmadan ve dışlanmadan toplumla birlikte yaşamaları sağlanarak; yaşam kalitesini artırma ve bağımsızlığını kendi potansiyelinde en üst düzeye çıkarılmasına katkıda bulunacaktır. Bununla birlikte hem hastane yükü hafifleyecek dolayısıyla ülke maliyetleri azalacak hem de bu insanların topluma kazandırılması sağlanmış olacaktır. Bitki terapi bahçelerinin TRSM'lerde olduğu gibi, hastanelerde, yaşlı bakım evlerinde, özel eğitim ve rehabilitasyon merkezleri gibi bilhassa özel gereksinimi olan bireylerin bulunduğu mekanlarda terapi amaçlı kullanılması, ayrıca terapi bahçeleri ile ilgili yapılacak projelerin devlet tarafından öncelikli alan olarak desteklenmesi önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Bozkurt SG Selçuklu ve Osmanlı Döneminde Darüşşifaların Avlu Özellikleri ve Avlularda Kullanılan Peyzaj Elemanları. Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi. 2020; 13(1):32-41.
- [2] Söderback I, Söderström M, Schälände E. Horticultural Therapy: THA Healing garden and Gardening in Rehabilitation Measures at Danderyd Hospital rehabilitation Clinic, Sweden. *Pediatr Rehabil.* 2004; 7(4):245-260.
- [3] Yılmaz E. Hastanelerde Terapi Bahçelerinin İyi Olma Haline Etkilerinin Araştırılması. Yüksek lisans tezi. Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü; 2017.
- [4] Ulrich RS, Simons RF, Losito DB, Fiorito E, Miles MA, Zelson M. Stress Recovery During Exposure to Natural and Urban Environments. *J Environ Psychol.* 1991; 11(3):201-230.
- [5] Nicholson D. Green Cities-And Why We Need Them, New Economics Foundation Pocketbooks, United Kingdom; 2003.
- [6] Chang CY. The Effects of Flowers on Respondents Physical and Psychological Responses. Interaction by Design: Bringing People and Plants Together for Health and WellBeing: An International Symposium (edited by Elizabeth R. Messer Diehl) Blackwell Publishing; 2002.
- [7] Bilge A, Mermer G, Çam MO, Çetinkaya A, Erdoğan E, Üçkuyu N. Türkiye'deki Toplum Ruh Sağlığı Merkezlerinin 2013-2015 Yıllarının Profili. *Kocaeli Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi.* 2016; 2(2): 1-5.
- [8] Tetik F, Civelek S, Cakilcioglu U. 2013. Traditional uses of some medicinal plants in Malatya (Turkey). *J Ethnopharmacol.* 2012; 146, 331-346.
- [9] Saravia M, Ulisses A, Riberio D. Plant species as therapeutic resource in Savanna regionspernambuco state, northeastern Brazil. *J Ethnopharmacol.* 2015; 171:141-153.
- [10] Hu R, Lin C, Xu W, Liu Y, Long C. Ethnobotanical study on medicinal plants used by Mulam people in Guangxi, China. *J Ethnobiol Ethnomed.* 2020; 2:16(1):40.
- [11] Davis PH. Flora of Turkey and the East Aegean Islands. Edinburgh; Edinburgh Univ. Press; 1965-1985; Vol. 1-9, p.724.
- [12] Davis PH, Mill RR, Tan K. Flora of Turkey and the East Aegean Islands (Supplement). Edinburgh; Edinburgh Univ. Press; 1988; Vol.10, p.590.
- [13] Akkemik Ü. Türkiye'nin doğal-egzotik ağaç ve çalıları I, Gymnospermler-Angiospermler (A-G). Orman Genel Müdürlüğü Yayınları. Ankara, 2014a.
- [14] Akkemik Ü. Türkiye'nin doğal-egzotik ağaç ve çalıları II, Angiospermler (H-Z). Orman Genel Müdürlüğü Yayınları. Ankara, 2014b.
- [15] Yaltrık F, Efe A, Uzun A. İstanbul Adalarının Doğal ve Ekzotik Bitkileri. İst. Adaları İmar ve Kültür Vakfı; 1993. s.229.
- [16] Trotter R, Logan M. Informant consensus: a new approach for identifying potentially effective medicinal plants.in plants in indigenous Medicine and Diet: Biobehavioral Approaches, ed. Nina L. Etkin, Redgrave publishers, Bedford Hills, NY; 1986. pp.91-112.
- [17] Wang YH, Wang C. Common Ethnobotany Research Methods. Hangzhou: Zhejiang Education Publishing House; 2017.
- [18] Kayani S, Ahmad M, Zafar M, Sultana S, Khan MPZ, Ashraf MA, Hussain J, Yaseen G. Ethnobotanical use of medicinal plants for respiratory disorders among those living in Gallies-Abbottabad, northern Pakistan. *J Ethnopharmacol.* 2014; 156: 47-60.
- [19] Karasar N. Bilimsel Araştırma Yöntemi. Ankara: Nobel Yayınevi; 2005.
- [20] Altay V, Karahan F. Tayfur Sökmen Kampüsü (Antakya-Hatay) ve Çevresinde Bulunan Bitkiler Üzerine Etnobotanik Bir Araştırma, KFBD. 2012; 2(7):13-28.
- [21] Uslu A, Shakouri N. Zihinsel ve Fiziksel Engelliler İçin Hortikültürel Terapi. Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi. 2012; 12 (1): 134-143
- [22] Setenay Yar Z. Zihinsel ve Ruhsal Engelli Bireylere Yönelik Hortikültürel Terapi Bahçeleri: İzmir-Seferihisar Kumrular Konakları Özel Bakım Merkezi Örneği. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı; 2019.
- [23] Jacquet A, Suresh R, Ghimire K, Rochet J. Nepalese traditional medicine and symptoms related to Parkinson's disease and other disorders: Patterns of the usage of plant resources along the Himalayan altitudinal range. *J Ethnopharmacol.* 2014; 153(1):178-89.
- [24] Faruque MO, Uddin SB, Barlow JW, Hu S, Dong S, Cai Q, Li X and Hu XQ. Quantitative Ethnobotany of Medicinal Plants Used by Indigenous Communities in the Bandarban District of Bangladesh, Uantitative Ethnobotany of Medicinal Plants Used by Indigenous Communities in the Bandarban District of Bangladesh. *Front. J Pharmacol.* 2018; 9:40.

- [25] Polat R, Cakilcioglu U, Kaltalioglu K., Ulsan MD, An Z. Ethnobotanical Study on Medicinal Plants in Eskiye and its Surrounding (Giresun-Turkey) Türkmen. J Ethnopharmacol. 2015; 163, 1-11.
- [26] Mimarlar H. Şifa bahçelerinin terapik faydaları ve tasarım ilkelerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü; 2020.
- [27] Okcu A. Kur'an'da Renkler. Atatürk Üniversitesi İlahiyat Fakültesi Dergisi. 2007; 28: 127-163.



Şırnak İli Koşullarında Soya Bitkisinin II. Ürün Olarak Yetiştirilebilme Olanaklarının Araştırılması

Ferhat ÖZTÜRK^{1*}, Ferhat KIZILGEÇİ^{2*}, Ahmet Konuralp ELİÇİN³

¹ Şırnak Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Şırnak, Türkiye

² Mardin Artuklu Üniversitesi, Kızıltepe Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Mardin, Türkiye

³ Dicle Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye

Ferhat ÖZTÜRK ORCID No: 0000-0002-2743-4285

Ferhat KIZILGEÇİ ORCID No: 0000-0002-7884-5463

Ahmet Konuralp ELİÇİN ORCID No:0000-0003-3240-4567

*Sorumlu yazar: ferhat_kizilgeci@hotmail.com

(Alınış: 31.01.2021, Kabul: 19.04.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Anahtar Kelimeler
Çeşit,
Yağ asidi,
Kalite,
Soya fasulyesi

Öz: Soya bünyesinde ihtiva ettiği besinler nedeniyle, insan ve hayvan beslenmesinde oldukça önemli bir besin maddesidir. Bu çalışma, Şırnak ilinin ikinci ürün soya yetiştiriciliğine uygunluğunun belirlenmesi amacıyla yürütülmüştür. Araştırmada farklı olgunlaşma grubunda yer alan 13 soya çeşidi tesadüf blokları deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak 2019 yılında İdil ilçesinde kurulmuştur. Çalışmada bitki boyu, ilk meyve yüksekliği, boğum sayısı, meyve sayısı, tohum sayısı, 100 tohum ağırlığı, protein oranı, tohum verimi, yağ oranı ve yağ asit içerikleri incelenmiştir. Çalışmanın varyans analizi sonuçlarına göre incelenen tüm özellikler yönünden çeşitler arası farklılıkların önemli düzeyde olduğu belirlenmiştir. Gapsoy 16, Planet ve Lider tane veriminde ön plana çıkan çeşitler olmuştur. Blaze ve Gapsoy 16 çeşitleri yüksek protein ihtiva ederken, Atakişi çeşidi en yüksek yağ oranına sahip olmuştur. Oleik asit içeriğinin Bravo çeşidinde, linoleik asit içeriği ise Lider çeşitlerinde en yüksek değere sahip olduğu belirlenmiştir. Araştırma sonucunda, yetiştirme periyodu ve incelenen özellikler bakımından Şırnak ili koşullarında ikinci ürün soya yetiştiriciliğinin başarıyla yapılabileceği ve Lider, Gapsoy 16, Planet çeşitlerinin ise en uygun çeşitler olduğu kanısına varılmıştır.

190

Investigation of Possibilities of Cultivating Soybean as Second Crop in Sırnak Conditions

Keywords
Cultivar,
Fatty acid,
Quality,
Soybean

Abstract: Soybean is a nutrient that has an important place in human and animal nutrition due to the nutrients it contains. This study was carried out to determine the suitability of Şırnak province for second crop soybean cultivation. In the study, 13 soybean varieties in different maturation groups were established with three replications according to randomized complete blocks design in Idil district in 2019. Plant height, first pod height, node number, pod number, seed number, 100 seed weight, seed yield, oil ratio, protein ratio and fatty acids were examined in the study. According to the results of the variance analysis of the obtained values, significant differences were determined among the genotypes in terms of all traits examined. In the present research, Gapsoy16, Planet and Lider were the prominent varieties in terms of grain yield. While Blaze and Gapsoy16 varieties contain high protein, Atakişi variety has the highest fat content. Oleic acid content is from Bravo variety, and linoleic acid content has the highest value in Lider varieties. As a result of the research, it was concluded that the second crop soybean cultivation can be successfully carried out in Şırnak province in terms of the growing period and the characteristics examined, and Lider, Gapsoy 16 and Planet varieties are the most suitable varieties.

1. GİRİŞ

Soya bünyesinde ihtiva ettiği besinler nedeniyle, insan ve hayvan beslenmesinde oldukça önemli bir besin maddesidir. Soya yağı bazı önemli yağ asitlerini

içerdiğinden, gıda maddesi olarak insan sağlığı için oldukça önemlidir. Soya aynı zamanda sanayi sektörüne de hammadde kaynağı sağlamaktadır. 2018 yılında, Dünya bitkisel yağlı tohum üretimi 569.4 milyon ton olup, üretimin % 61.2'ü soyadan, % 9.1'u ayçiçeğinden, % 2.9'u çığitten, % 33.2'si palm, % 15.4'ü kolzadan ve

% 11.8'i de diğer yağlı tohumlu bitkilerden karşılanmıştır [1]. Yağlı tohum üretiminde Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ilk sırada yer almaktadır. ABD'yi Brezilya, Arjantin, Çin ve Hindistan takip etmektedir. Ülkemizde yağlı tohum üretimi 2018 yılı verilerine göre yaklaşık 4 milyon ton olmuştur [2]. Türkiye'nin yıllık soya ihtiyacı ise 2 milyon tonun üzerindedir. Yağlı tohum üretimi içerisinde soya üretimi 2020 yılında, 352.950 dekar alanda 150.000 ton soya fasulyesi üretilerek dekara 425 kg/da verim elde edilmiştir. Türkiye'nin soyadaki kendine yeterlilik oranı % 4.7'dir. Ülkemizde toplam ham yağ üretimi 3 mil. ton olup, bunun %72.7'si (2 mil. ton) yurt dışından ithal edilen yağlı tohumlardan karşılanırken, % 27.3'ü (760 bin ton) ise yerli tohumlardan ve ham yağlardan karşılanmıştır. Bu durum, diğer bir ifadeyle soya üretimi yönüyle % 93'lük bir açığımız olduğu anlamına gelmektedir ve bu açığı kapatmak için yaptığımız ithalatın ülkemize maliyeti yaklaşık yıllık 3.45 milyar dolardır (petrolden sonra en fazla). Şırnak ili yağ bitkileri tarımı için elverişli koşullara sahip olmasına karşın, 2017 verilerine göre yağ bitkileri üretim alanı 5000 da ve üretim miktarı 2.2 bin ton ile sınırlı kalmıştır [2]. Geniş bir arazi potansiyeli ve yağ bitkileri üretimi bakımından uygun ekolojik koşullara sahip olan Şırnak ilinde, yağ bitkileri üretimi oldukça düşüktür. Soya üretimi ile ilgili Şırnak ilinde son yıllarda herhangi bir üretim faaliyeti görülmemektedir. Bundan dolayı,

yüksek verim ile birlikte kaliteli çeşitlerin saptanması ve ıslahı ülkemiz ve bölgemiz için önemlidir. Bölgemizde yetiştirilebilen çeşit yağ içeriği ve yağ asit içeriği de, özellikle sanayi sektörü açısından da önem arz etmektedir. Soya yüksek verime sahip önemli bir bitki olup, uygun çeşit seçimi ve tohum kalitesi özellikle verim ve diğer verim öğelerini etkileyen en önemli faktörlerdir. Bu nedenle ekim zamanına uyumlu çeşit seçimi ve yüksek çimlenme kabiliyetine sahip tohumlar kullanılmalıdır. Aksi takdirde uygulama yöntemlerinin en uygun olması durumunda dahi, en yüksek verimi elde etmek mümkün olmamaktadır. Bu araştırmanın amacı; Güneydoğu Anadolu Bölgesinde artan sulama olanaklarından dolayı, Şırnak ilinde soya bitkisinin ikinci ürün olarak yetiştiriciliğine uygunluğu ve çeşit tespitinin belirlenmesi amacıyla yürütülmüştür.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Araştırmada Kullanılan Materyaller

Mevcut çalışmada, farklı olgunlaşma grubunda yer alan 13 soya çeşidi (Bravo, Arısoy, Atakişi, Gapsoy, Nova, Planet, Lider, Blaze, Asya, Anp2018, Nazlıcan, Türksoy, Adasoy) materyal olarak kullanılmıştır. Araştırmada kullanılan soya çeşitlerine ait bilgiler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Araştırmada kullanılan çeşitlere ait özellikler

| Çeşit adı | Olgunlaşma Grubu | Çiçek Rengi | Hilum Rengi | Yetiştirici Kuruluş |
|-----------|------------------|-------------|-----------------|---|
| Bravo | III | Mor | Koyu kahverengi | ProGen |
| Arısoy | III | Beyaz | Kızıl | Atlas Tohumculuk |
| Atakişi | III | Beyaz | Koyu kahverengi | Atlas Tohumculuk |
| Gapsoy16 | III | Beyaz | Sarı | GAP Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü |
| Nova | III | Beyaz | Kahverengi | May Tohum |
| Planet | III | Mor | Siyah | Agrova Tohum |
| Lider | III | Beyaz | Kahverengi | ProGen |
| Blaze | IV | Mor | Siyah | May Tohum |
| Asya | III | Mor | Kahverengi | ProGen |
| Anp2018 | III | Menekşe | Sarı | Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü |
| Nazlıcan | IV | Mor | Sarı | Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü |
| Türksoy | IV | Mor | Kahverengi | Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü |
| Adasoy | IV | Beyaz | Kahverengi | Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü |

III: Orta-Erkenci, IV:Orta-Geçici

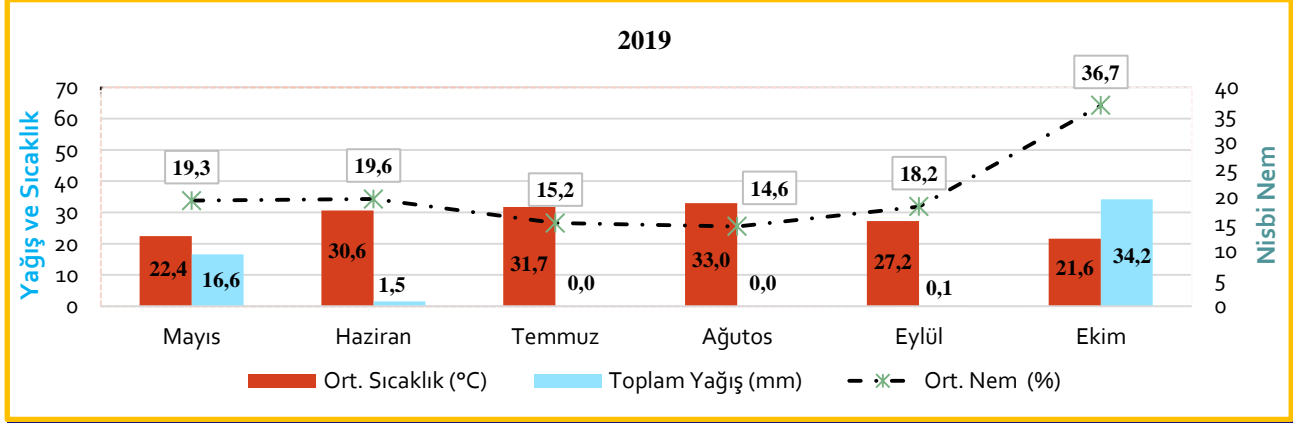
2.2. Deneme Yeri ve Özelliği

Çalışma, Şırnak ili İdil ilçesinde ikinci ürün koşullarında tesadüf blokları deneme desenine göre üç tekrürlü olarak 2019 yılında yürütülmüştür. Araştırma alanında ön bitki olan buğdayın hasadından sonra deneme alanı pullukla sürülüp diskaro çekilmiştir. Diskarodan sonra arazi sulanıp tava getirildikten sonra araştırma alanı tohum yatağı ekime hazır hale getirilmesi için kültivatörle toprak işleme yapılmıştır. Ekim öncesinde dekara 20 kg DAP (18-46) gübresi ve ilk sulamadan önce de 20 kg da⁻¹ amonyum

nitrat (%26) gübresi uygulanmıştır. Deneme parselleri 6.0 m x 4.2 m = 25.2 m², her parsel 6 sırada oluşturulacak şekilde ve ekim sıklığı 70 cm x 5 cm olarak tesis edilmiştir. Ekim işlemi 19 Haziran 2019 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Yetiştirme periyodunda tüm gerek duyulan bakımlar zamanında ve tekniğine uygun olarak yapılmıştır. Bitkinin ihtiyacına göre çiçeklenme dönemine kadar yağmurlama ve karık usulü olmak üzere toplamda 7 sulama uygulanmıştır. Hasat, çeşitlerin olgunlaşma ve nem durumlarına göre Ekim ayının 2. haftasında elle yapılmıştır.

Deneme süresince aylık ortalama sıcaklık; 21.6-33.0 °C arasında değişim göstermiştir. En yüksek hava sıcaklığı 33.0 °C ile Ağustos ayında görülmüştür. Yağış verilerine göre, araştırma süresince yağış miktarları 0.0-34.2 mm arasında gerçekleşmiştir (Şekil 1). Yağışın yetersiz olmasından dolayı ihtiyaç duyulan su sulamayla karşılanmıştır.

Deneme alanının toprak özelliği; killi- tınlı yapıda olup, pH'ı 8.12, tuzluluk sorunu bulunmayan, kireç içeriği %10.8 ile orta kireçli, organik madde içeriği %0.71, fosfor miktarı 2.75 kg da⁻¹ ve potasyum içeriği yönünden oldukça yüksek olduğu saptanmıştır.



Şekil 1. Çalışmanın yürütüldüğü döneme ait iklim verileri

2.3. İncelenen Özellikler:

2.3.1. Bitki boyu (cm): Her parselin orta iki sırasından rastgele seçilen hasat olgunluğuna gelmiş 10 bitkinin, en tepedeki noktası ile toprak yüzeyi arasındaki mesafe ölçülüp ortalamaları alındı.

2.3.2. İlk meyve yüksekliği (cm): Rastgele seçilen hasat olgunluğuna gelmiş 10 bitkide, toprak yüzeyine en yakın olan meyvenin, toprak yüzeyinden yüksekliği ölçülüp ortalamaları alındı.

2.3.3. Boğum sayısı (adet/bitki): Rastgele seçilen hasat olgunluğuna gelmiş 10 bitkide, boğumlar sayılarak ve ortalamaları alındı.

2.3.4. Meyve sayısı (adet/bitki): Rastgele seçilen hasat olgunluğuna gelmiş 10 bitkide, bitki üzerinde bulunan tüm meyveler sayılıp ortalamaları alındı.

2.3.5. Tohum sayısı (adet/bitki): Rastgele seçilen hasat olgunluğuna gelmiş 10 bitkide, bitki üzerinde bulunan tüm tohumlar sayılıp ortalamaları alınmıştır.

2.3.6. 100 tohum ağırlığı (g): Her parselden tesadüfen alınan tohumlar, tohum sayma makinasından geçirilerek elde edilen 4x100 adet tohum tartılıp, ortalama sonucunda 100 tane ağırlığı belirlenmiştir.

2.3.7. Tane verimi (kg da⁻¹): Uygulama parsellerinin orta iki sırası hasat edilip, bitkiler harman edilerek temizlenen tohumlar tartım sonucu parsel verimi ve parsel veriminden yararlanarak dekar başına (kg da⁻¹) tane verimi hesaplanmıştır.

2.3.8. Yağ oranı (%): Her parselden elde edilen tohumlar öğütme işlemine tabi tutulduktan sonra elde edilen örneklerden 5 g alınarak, Bilim ve Teknoloji

Uygulama ve Araştırma Merkezi laboratuvarında, UV-VIS-NIR Spektrofotometre cihazıyla analizler yapılmıştır.

2.3.9. Protein oranı (%): Her parselden alınan öğütülmüş tohum örneklerinden 5 g alınarak, Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi laboratuvarında, UV-VIS-NIR Spektrofotometre cihazıyla analiz edilmiştir.

2.3.10. Yağ asitleri içeriği (%): Her parselden alınan öğütülmüş tohum örneklerinden 5 g alınarak, Şırnak Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı, GC-MS cihazıyla analizler yapıldı.

2.3.11. İstatistiksel analiz: Araştırmada elde edilen verilerin varyans analizi ve korelasyon analizi JMP 10 istatistik analiz programında yapıldı. Ortalamalar arası farklılıklar LSD %5 çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır.

3. BULGULAR

3.1. Bitki Boyu (cm)

Araştırma sonucunda, bitki boyu bakımından çeşitler arasında istatistiksel olarak P<0.01 düzeyinde önemli farklılıklar belirlenmiştir (Tablo 2). Soya çeşitleri arasında, en yüksek bitki boyu Planet (112.51 cm) ve Gapsoy16 (108.42 cm) çeşitlerinden, en düşük bitki boyu ise Bravo (64.55 cm) çeşidinde belirlenmiştir (Tablo 2). [3], tohum verimi ile bitki boyu arasında pozitif ve önemli bir ilişki olduğunu bildirilmiştir. Bitki boyu soya için önemli bir verim unsurudur. Çeşitler arasında görülen bitki boyu farklılığının, çeşitlerin genetik yapılarındaki farklılık ve farklı olgunlaşma gruplarından olmasından ileri geldiği düşünülmektedir. [4], ikinci ürün çalışmasında bitki boyu değerlerinin

42.0-73.6 cm arasında olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca soya bir kısa gün bitkisi olması nedeniyle, Haziran ayından itibaren günlerin kısalmasına başlamasından dolayı, Haziran ayının son haftasında yapılan geç ekimlerde özellikle kısa gün koşullarının etkili olması nedeniyle vejetatif büyüme gerilemekte ve bunun sonucunda bitki boyunda kısalma söz konusu olmaktadır. [5], ekim zamanı geciktikçe bitki boyunda kısalma olduğunu belirtmişlerdir.

3.2. İlk Meyve Yüksekliği (cm)

Soya çeşitleri arasında, ilk meyve yüksekliği bakımından istatistiki olarak önemli derecede farklılıklar oluşmuştur (Tablo 2). Araştırmada, en yüksek ilk meyve yüksekliği 24.60 cm ile Adasoy çeşidinden elde edilirken, en düşük ilk meyve yüksekliği Blaze (12.0 cm), Asya (12.46 cm) ile Nova (12.73 cm) çeşitlerinden elde edilmiştir (Tablo 2). Soya yetiştiriciliğinde, baklaların toprak yüzeyine yakın olması soya tarımını olumsuz yönde

etkilemektedir. Birçok araştırmacı çalışmalarında soyanın hasat edilirken toprak yüzeyine yakın olan meyvelerin hasat edilememesinden dolayı önemli miktarda hasatta verim kaybına neden olduğunu rapor etmişlerdir [5-8]. Bu nedenle ilk baklaların toprak yüzeyinden yüksek olması istenilen bir özelliktir. [9], soyada ekim zamanının kalite ve agronomik özellikleri belirlemek üzerine yapmış oldukları çalışmada, ekim zamanı geciktikçe ilk bakla yüksekliklerinde azalma olduğunu ve ana ürün koşullarında ilk meyve yüksekliği 19.3 cm iken, II. ürün şartlarında ise ortalama 17.9 cm olarak belirlenmiş ve ana ürün (erken ekim) soyada uzun gün koşulları özellikle vejetatif gelişmeyi etkilerken, ikinci ürün soya ekiminde ise kısa gün koşullarının etkili olduğu belirtilmiştir. İkinci ürün olarak 21 Hazirandan sonra yapılan geç ekimlerde ise kısa gün koşullarının etkili olması ile birlikte artan sıcaklık ortalamalarından dolayı, çiçeklenme erken başlamakta ve bundan dolayı da ilk meyveler toprağa yüzeyine yakın olarak oluşmaktadır [10]. [11], ilk meyve yüksekliğinin 7.40-11 cm arasında değiştiğini belirtmiştir.

Tablo 2. Çalışmada incelenen soya çeşitlerine ait verim ve verim unsurlarına ait ortalama değerleri ve varyans analizi sonuçları

| Genotip | Bitki Boyu (cm) | İlk Meyve Yüksekliği (cm) | Boğum Sayısı (adet/bitki) | Meyve Sayısı (adet/bitki) | Tohum sayısı (adet/bitki) | 100 Tohum Ağırlığı (g) | Tane Verimi (kg da ⁻¹) |
|----------|-----------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------------------|
| Adasoy | 91.88bc | 24.60a | 18.16a | 57.93ab | 149.16ab | 16.48b-e | 386.12cd |
| Anp2018 | 82.27de | 18.86b | 17.16abc | 44.63cde | 105.90def | 15.82de | 332.48g |
| Arısoy | 80.82e | 17.83b | 16.40abc | 42.26def | 93.53fg | 15.88de | 387.90cd |
| Asya | 82.76de | 12.46c | 14.66cd | 52.60bcd | 121.70cde | 16.30cde | 358.49ef |
| Atakişi | 88.57cd | 18.55b | 14.93cd | 55.20abc | 158.64a | 16.15cde | 375.59de |
| Blaze | 91.79bc | 12.40c | 13.43d | 67.30a | 168.30a | 16.48b-e | 331.15g |
| Bravo | 64.55 f | 13.80bc | 10.80e | 29.90f | 72.23g | 16.63bcd | 273.81h |
| Gapsoy16 | 108.42a | 17.93b | 17.76ab | 66.03a | 159.63a | 17.71a | 417.45a |
| Lider | 79.86e | 13.86bc | 15.30bcd | 34.40ef | 96.07efg | 15.84de | 394.83bc |
| Nazlıcan | 94.46bc | 17.26bc | 15.50bcd | 48.19bcd | 125.52bcd | 16.14cde | 345.35fg |
| Nova | 94.26bc | 12.73c | 15.36bcd | 43.86cde | 127.40bcd | 15.64e | 390.49cd |
| Planet | 112.51a | 18.86b | 15.40bcd | 55.90abc | 144.32abc | 17.30ab | 410.03ab |
| Türksoy | 98.15b | 15.46bc | 16.90abc | 46.63b-e | 110.66 def | 16.97abc | 333.79g |
| Ortalama | 90.02 | 16.51 | 15.52 | 49.60 | 125.62 | 16.41 | 371.97 |
| Varyans | | | | | | | |
| Genotip | ** | ** | ** | ** | ** | * | ** |
| CV (%) | 4.4 | 17.7 | 9.7 | 15.2 | 12.4 | 3.3 | 3.1 |

* % 5 ve ** % 1 seviyesinde önemlidir.

3.3. Boğum Sayısı (Adet/Bitki)

Boğum sayısı bakımından çeşitler arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemli görülmüştür (Tablo 2). Boğum sayısı 10.80-18.16 adet arasında değişim göstermiştir. En fazla boğum sayısı Adasoy (18.16 adet) genotipinde belirlenirken, en az Boğum sayısı ise 10.80 adet ile Bravo genotipinde belirlenmiştir (Tablo 2). Boğum sayısı bakımından görülen farklılığın, kullanılan çeşidin erkenci ya da geçici olmasına bağlı olduğu belirtilmiştir [12].

3.4. Meyve Sayısı (Adet/Bitki)

Meyve sayısı bakımından çeşitler arasında istatistiksel olarak önemli farklılık görülmüştür (Tablo 2). Araştırmada en yüksek meyve sayısı Gapsoy16 (66.03

adet/bitki) ile Blaze (67.30 adet/bitki) çeşitlerinden belirlenirken, en düşük meyve sayısı ise Bravo (29.90 adet/bitki) çeşidinde belirlenmiştir (Tablo 2). Soyada meyve sayısı verimle önemli ve yakın ilişkili olup, bu nedenle yüksek meyve sayısı istenen bir parametredir. Meyve sayısı, çeşitlerin genetik yapılarındaki farklılıktan ve ekim zamanından (erken-geç) dolayı değişim gösterebilmektedir [13]. Bu çalışmamız sonucunda elde edilen veriler, diğer araştırmacıların bulgularıyla karşılaştırıldığında, [14] daha yüksek, [15] 'ın bulguları ile benzerlik göstermiştir.

3.5. Tohum Sayısı (Adet/Bitki)

Bitkide tohum sayısı bakımından çeşitler arasında istatistiksel olarak önemli farklılık görülmüştür (Tablo 2). En fazla tohum sayısına sahip genotipler Blaze

(168.30 adet/bitki), Gapsoy (159.63 adet/bitki) ile Atakişi (158.64 adet/bitki) çeşitlerinden elde edilirken, en düşük tohum sayısı ise Bravo (72.23 adet/bitki) çeşidinde belirlenmiştir (Tablo 2). Tohum sayısı verimle olumlu bir ilişkiye sahip olan bir özelliktir. [16], ekim zamanının gecikmesiyle beraber tohum sayısında azalma olduğunu belirtmiştir.

3.6. 100 Tohum Ağırlığı (g)

100 tohum ağırlığı, tohum tane büyüklüğünün önemli bir göstergesidir. Araştırmada istatistiksel olarak soya çeşitleri arasında önemli farklılıkların olduğu belirlenmiştir (Tablo 2). En yüksek değer Gapsoy (17.71 g) çeşidinde elde edilirken, en düşük tohum ağırlığı 15.64 g ile Nova çeşidinde tespit edilmiştir (Tablo 2). 100 tane ağırlığı bakımından çeşitler arasındaki görülen farklılığın, farklı genetik yapılaraya sahip oluşu ve ekolojik şartlarda farklı şekilde etkilenmelerinden kaynaklı olduğu söylenebilir. [15], bin tane tohum ağırlıklarının 176.0-194.0 g arasında değişim gösterdiğini belirtmiştir. [17], 1000 tane ağırlığını 124.0-153.0 g arasında belirlemiştir. Ayrıca bazı araştırmacılar tarafından önceki yıllarda yapılan çalışmalarında elde ettikleri sonuçlar, çalışmamızda elde edilen sonuçlardan daha yüksek olduğu görülmüştür [18-20].

3.7. Tane Verimi (kg da⁻¹)

Tane verimine ait varyans analizi sonuçlarına göre; genotipler arasında istatistiksel olarak $P \leq 0.01$ düzeyinde önemli farklılıklar görülmüştür (Tablo 2). Araştırmamız sonucunda en yüksek verim Gapsoy16 (417.45 kg da⁻¹) genotipinde elde edilirken, en düşük verim ise Bravo (273.81 kg da⁻¹) genotipinde elde edilmiştir (Tablo 2). Soya tohum verimi; çeşide ve uygulanan kültürel yöntemlere göre farklılık göstermektedir. Soyada tohum verimi; Günlük üretim (Fotosentez-Solunum) × Üretim yapılan gün sayısı ile belirtilmektedir [5]. Bu durumda erken ekimlerde gün uzunluğunun fazla olmasından dolayı, bitki daha fazla fotosentez yapmasından ötürü günlük verim de artmaktadır. Verim üzerine bitki kalıntılarının etkisi, ürün kalıntısının çeşidine, miktarına ve oranına göre değişmektedir [21]. Ayrıca [22], geç yapılan ekimden elde edilen tohum veriminin erken ekime göre % 14.5 daha yüksek olduğunu belirlemiş olmakla birlikte, [23] ve [24], ekimin gecikmesi durumunda tohum veriminde azalma meydana geldiğini belirtmektedirler. Geç ekim nedeniyle tohum veriminde meydana gelen azalışın nedeninin geç ekimlerde meyve sayısı ve tohum sayısının düşmesine neden olan vejetatif ve generatif gelişme safhalarının ve özellikle tohum dolum süresinin daha kısa olmasından kaynaklandığı ileri sürülmektedir [25].

3.8. Yağ Oranı (%)

Yağ oranına ait verilere ilişkin elde edilen varyans analiz sonuçlarına göre (Tablo 3), genotipler arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar görülmüştür. Araştırmamızda en yüksek yağ oranı Atakişi (%24.81)

genotipinde belirlenmiştir. En düşük yağ oranı ise Blaze (%18.91) genotipinde belirlenmiştir (Tablo 3). En yüksek yağ içeriği %23.83–22.86 ile Arısoy ve Blaze çeşitlerinde görülürken, diğer çeşitlerde ise yağ oranı %20.16-20.66 değerleri arasında değişim göstermiştir. [26], [27] ve [28] soya yağ oranı çeşitlere göre farklılık gösterebileceğini belirtmişlerdir. Ekim zamanının soyanın büyüme ve gelişmesini etkileyerek, tohumdaki protein, yağ, karbonhidrat ve diğer kimyasal bileşiklerin içeriğini etkilemektedir [29-31]. Geç ekim ile karşılaştırıldığında erken ekimde yağ oranında yaklaşık %16 kadar artış sağlandığı, ekim zamanının gecikmesi ile yağ oranı azalmaktadır [30,32]. [31], farklı ekim zamanlarında yağ oranında meydana gelen farklılığın tohum dolum dönemindeki sıcaklık farkından kaynaklandığını bildirilmişlerdir. Protein oranı ile yağ oranı arasında zıt bir ilişki olduğu göz önüne alındığında [25], geç yapılan ekimlerde R5-R7 safhasındaki düşük sıcaklıklar protein oranının az da olsa düşmesine, yağ oranının ise daha yüksek olmasına neden olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte, R5-R6 safhasında meydana gelen yüksek sıcaklıkların genellikle tohum yağ içeriğini düşürdüğü bilinmektedir. Daha önce yapılan birçok çalışmada, ekimin gecikmesi ile yağ oranının arttığı belirtilmesine rağmen, [33], yağ içeriği üzerine ekim zamanlarının etkisinin önemli olmadığını, [22] ise, ekimin gecikmesi ile tohum olgunlaşma dönemine denk gelen daha düşük sıcaklıklar yağ oranının erken ekime göre daha yüksek olmasına neden olduğunu belirtmişlerdir. [11], çeşitler arasında yağ oranı bakımından önemli bir farklılığın olmadığını belirtmiştir.

3.9. Protein Oranı (%)

Protein oranı bakımından Tablo 3 incelendiğinde, çeşitler arasında istatistiksel olarak önemli farklılık olduğu görülmüştür. En yüksek protein oranı Blaze (%38.46) çeşidinden elde edilirken, en düşük protein oranı ise Anp2018 (%32.74) genotipinde belirlenmiştir (Tablo 3). Çeşitler arasında protein oranı bakımından görülen farklılık çeşitlerin farklı genetik yapıda olmalarından kaynaklanmaktadır. [33], protein içeriği üzerine ekim zamanlarının etkisinin önemli olmadığı, [34], [31] ise, ekim zamanının gecikmesi ile protein oranında bir artış meydana geldiği, [32] ise soya ekiminin Mayıs ortasından Haziran ortasına geciktirilmesi ile protein oranında herhangi bir farklılık görülmediğini belirtmektedirler. Bununla birlikte, ışık kullanım etkinliğinin ekimin gecikmesi ile azaldığı [35], generatif safhada ışık alım miktarının bitki yapraklarındaki azot miktarını etkilediği, vejetatif organlarda biriken azotun önemli bir kısmının meyveye taşındığı, yaprak ve saplardan meyveye azot taşınımının ışık kullanım etkinliği yüksek olan bitkilerde daha fazla olduğu ileri sürülmekte [36] ve bu etkenler nedeniyle farklı ekim zamanına göre protein oranında farklılık görülmesine neden olacaktır. [11], çeşitler arasında protein oranı bakımından farklılık olduğunu ve bu farklılığın genetik yapılarından ve çevresel faktörlerden kaynaklı olabileceğini belirtmiştir.

Tablo 3. Çalışmada incelenen soya çeşitlerinin protein, yağ ve yağ asidi içeriklerinin ortalama değerleri ve varyans analizi sonuçları

| Genotip | Yağ Oranı (%) | Protein (%) | Oleik (%) | Linoleik (%) | Linolenik (%) | Palmitik (%) | Stearik (%) |
|----------|---------------|-------------|-----------|--------------|---------------|--------------|-------------|
| Adasoy | 21.79d | 34.85h | 27.09f | 39.70e | 10.54c | 11.44h | 8.10ab |
| Anp2018 | 21.48e | 32.74j | 27.65e | 39.98d | 10.23f | 12.54a | 7.34ef |
| Arısoy | 19.21h | 35.10g | 27.52e | 39.50f | 10.64b | 12.44b | 7.59d |
| Asya | 23.08b | 36.78c | 27.09f | 40.01d | 10.18g | 12.54a | 7.48de |
| Atakişi | 24.81a | 34.82h | 26.31g | 40.02d | 10.42d | 12.11d | 8.02b |
| Blaze | 18.29ı | 38.46a | 27.88d | 40.11d | 10.11h | 11.87e | 7.56d |
| Bravo | 19.06h | 36.73c | 29.58a | 38.79hı | 9.55k | 12.07d | 7.38ef |
| Gapsoy16 | 19.51g | 37.12b | 27.66e | 40.63a | 11.25a | 11.60g | 8.25a |
| Lider | 20.80f | 35.21f | 28.23c | 38.66ı | 9.68j | 11.86e | 7.23f |
| Nazlıcan | 22.44c | 34.14ı | 28.49b | 39.02g | 10.10h | 12.31c | 7.78c |
| Nova | 20.55f | 35.89f | 27.09f | 40.45b | 10.28e | 12.31c | 7.56d |
| Planet | 21.44e | 36.24d | 28.13c | 40.27c | 9.88ı | 10.88ı | 8.18a |
| Türksoy | 21.42e | 34.82h | 28.25c | 38.94gh | 10.31e | 11.70f | 8.19a |
| Ortalama | 21.07 | 35.61 | 27.77 | 39.70 | 10.24 | 11.97 | 7.74 |
| Varyans | | | | | | | |
| Genotip | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** |
| CV (%) | 0.8 | 0.8 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.4 | 1.2 |

** , $P \leq 0,01$ seviyesinde önemlidir.

3.10. Yağ Asitleri (Oleik, Linoleik, Linolenik, Palmitik ve Stearik asit)

Yağ asitleri bakımından çeşitler arasında istatistiksel olarak önemli farklılık olduğu, araştırmaya alınan soya çeşitlerinin oleik asit oranı %26.31-29.58 arasında olduğunu belirtmişlerdir. En yüksek oleik asit oranı Bravo çeşidinde elde edilirken, en düşük ise Atakişi (%26.31) çeşidinde saptanmıştır. Linoleik asit oranı %30.66-40.63 arasında değişim göstermiştir. Linoleik asit oranı en yüksek Gapsoy 16 (%40.63) çeşidinde, en düşük ise Lider (%30.66) çeşidinde saptanmıştır. Linolenik asit oranı %9.55-11.25 arasında değişim göstermiştir. En yüksek Gapsoy 16 (%11.25) çeşidinde, en düşük ise Bravo (%9.55) çeşidinde saptanmıştır. Palmitik asit oranı %10.88-12.54 arasında belirlenmiştir. Palmitik yağ asidi oranı en yüksek Asya ve Anp 2018 (%12.54) çeşidinde, en düşük ise Planet (%10.88) çeşidinde saptanmıştır. Stearik asit oranı %7.23-8.25 arasında değişim göstermiştir. Stearik yağ asidi oranı en yüksek Gapsoy 16, Türksoy ve Planet genotiplerinde (sırasıyla, %8.25, %8.19 ve %8.18), en düşük ise Lider (%7.23) genotipinde saptanmıştır.

Soyada büyüme dönemleri ilerledikçe özellikle oleik ve palmitik asit oranlarında azalma olurken, linoleik asit içeriğinde ise artış meydana gelmektedir [38]. [39], özellikle sıcaklık artışlarının enzimler üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu ve oleayl-PC desaturaz ve linoleayl-PC desaturaz gibi oleik asitten linoleik ve linolenik asidin sentezlenmesini katalize eden enzimlerin aktivitesinde azalma meydana geldiği bu nedenle artan sıcaklık artışı özellikle bitkilerde linoleik ve linolenik asit sentezi üzerine etkisi olumsuz, oleik asit sentezi üzerine ise etkisinin olumlu olduğunu bildirmişlerdir. [40], tohum oluşum ve gelişmesi dönemlerinde gece ve gündüz sıcaklık farklılığından dolayı, yağ, protein oranı ile yağ asidi ve amino asit bileşimi üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yapmış

olduğu araştırmada, yağ asitleri bileşimi sıcaklıktan önemli derecede etkilendiğini, linolenik ve linoleik asit oranları sıcaklık arttıkça önemli derece azalırken, oleik asit miktarında artış, palmitik ve stearik ait miktarlarında ise bir değişimin olmadığını belirtmişlerdir. [41], soyada enlem derecesindeki farklılığın özellikle linoleik ve linoleik asit içeriği üzerinde etkili olduğunu ve enlem derecesi yükseldikçe arttığını fakat oleik asit içeriğinin ise azaldığı tespit edilmiştir. [42], ABD'nin güneyinde soya çeşitlerinde linolenik asit oranının düşük, kuzeyinde ise soya çeşitlerinde oleik asit oranının daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Uzun olgunlaşma grubunda yer alan soya çeşitlerinde oleik asit oranı azalırken, linoleik asit ve linolenik asit oranlarının arttığı belirlenmiştir [41]. [5], soya yağ ve yağ asitleri içeriğinin çeşitlere göre farklılık gösterdiğini, soya tohumları % 18-24 oranında yağ, % 44-62 Linoleik asit, %19-30 Oleik asit, %7-14 Palmitik asit , % 4-11 Linolenik asit, ve % 1.4-5.5 Stearik asit gibi önemli yağ asitlerini ihtiva ettiğini bildirmektedir. [42], soya yağındaki oleik asit oranının %15-33, linoleik asit oranının %43-56, linolenik asit oranının % 5-11 ve doymuş yağ asitleri oranının ise %11-26 arasında değişim gösterdiğini bildirmişlerdir. [43], soya yağının bileşiminde; %36.1-61.9 linoleik asit, %16.6-47.8 oleik asit, %3.6-4.5 stearik asit, % 9.2-13.1 palmitik asit ve % 3.0-7.7 linolenik asit olduğunu belirtmişlerdir.

3.11. Korelasyon analizi

Bitki boyu özelliği bitki sayısı, meyve sayısı ve tane verimi arasında olumlu ve önemli ilişki olduğu görülmüştür. Tane verimi ile linolenik arasında olumlu ve önemli ilişki belirlenirken oleik ve palmitik arasında ise olumsuz ilişki olduğu belirlenmiştir. Palmitik asit ile tohum sayısı, 100 tane ağırlığı ve tane verimi arasında olumsuz ve önemli bir korelasyon olduğu belirlenmiştir (Tablo 4).

Tablo 4. İncelenen özellikler arası korelasyon analizi

| | BB | İMY | BS | MS | TS | 100 TA | TV | Yağ | Protein | Oleik | Linoleik | Linolenik | Palmitik |
|-----------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|----------|
| BB | 1.00 | | | | | | | | | | | | |
| İMY | 0.27 | 1.00 | | | | | | | | | | | |
| BS | 0.43** | 0.37* | 1.00 | | | | | | | | | | |
| MS | 0.47** | 0.19 | 0.17 | 1.00 | | | | | | | | | |
| TS | 0.64 | 0.25 | 0.22 | 0.86 | 1.00 | | | | | | | | |
| 100 TA | -0.01 | -0.12 | -0.19 | -0.14 | -0.22 | 1.00 | | | | | | | |
| TV | 0.50** | 0.27 | 0.46** | 0.15 | 0.29 | 0.11 | 1.00 | | | | | | |
| Yağ oranı | 0.11 | 0.26 | 0.19 | 0.26 | 0.18 | 0.01 | 0.19 | 1.00 | | | | | |
| Protein | 0.09 | -0.46 | -0.42 | 0.23 | 0.29 | 0.11 | -0.07 | -0.46 | 1.00 | | | | |
| Oleik | -0.24 | -0.25 | -0.40* | -0.54** | -0.52** | 0.36 | -0.51** | -0.51** | 0.12 | 1.00 | | | |
| Linoleik | 0.00 | -0.13 | -0.02 | 0.15 | 0.15 | 0.17 | 0.48 | 0.21 | 0.02 | -0.45 | 1.00 | | |
| Linolenik | 0.45 | 0.36 | 0.58 | 0.38 | 0.45 | -0.51 | 0.34** | 0.00 | -0.06 | -0.56** | -0.34* | 1.00 | |
| Palmitik | -0.60 | -0.32* | -0.14 | -0.27 | -0.38* | -0.47** | -0.33* | 0.10 | -0.25 | -0.16 | 0.01 | -0.01 | 1.00 |
| Stearik | 0.74 | 0.46** | 0.39* | 0.46** | 0.51 | 0.03 | 0.27 | 0.24 | 0.01 | -0.22 | -0.38* | 0.55** | -0.64 |

* % 5 ve ** % 1 seviyesinde önemlidir. BB: bitki boyu, İMY:ilk meyve yüksekliği, BS:boğum sayısı, MS:meyve sayısı, TS:tohum sayısı, 100 TA:100 tohum ağırlığı, TV: tane verimi

4. SONUÇ

Şırnak ilinde sulanabilir tarım alanlarında soya bitkisinin ikinci ürün olarak yetiştiriciliğine uygunluğu ve çeşit tespitinin belirlenmesi amacıyla yürütülen çalışmada; tane verimi yönünden Gapsoy 16, Planet ve Lider çeşitleri ön plana çıkmıştır. Blaze ve Gapsoy16 çeşitleri yüksek protein ihtiva ederken, Atakişi çeşidi en yüksek yağ oranına sahip olmuştur. Oleik asit içeriği Bravo çeşidinden, linoleik asit içeriği ise Lider çeşitlerinde belirlenmiştir. Dünya soya verim ortalaması 249 kg da⁻¹ olduğu dikkate alınır, verim bakımından yaklaşık olarak dünya ortalamasının iki katına ulaşabilen soya çeşitlerine sahip oluşumuzdan dolayı, soya tarımının Şırnak ilinde yapılabileceğinin bir göstergesidir. Bu nedenle araştırmada kullanılan soya çeşitlerin, yetiştirme süresi ve verim değerleri bakımından Şırnak ili koşullarında ikinci ürün olarak başarılı bir şekilde yetiştiriciliğinin yapılabileceği ve Lider, Gapsoy 16 ve Planet çeşitlerinin ise en uygun çeşit olduğu kanısına varılmıştır.

Teşekkür

Ekonomik desteklerinden dolayı T.C Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Güneydoğu Anadolu Projesi Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı ve Şırnak Üniversitesi Rektörlüğüne teşekkürler.

KAYNAKLAR

- [1] FAO, Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü. [Internet] FAOSTAT. 2020 [Erişim tarihi:10.02.2020]Erişim: <http://www.fao.org/faostat/en/#data> 2020.
- [2] TÜİK, İstatistik Bölümü [Internet]. 2020 <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-Uretim-Istatistikleri-2017-24581>
- [3] İlker E, Tatar Ö. Gökçöl A. Konvansiyonel ve organik tarım koşullarında bazı soya çeşitlerinin performansları. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 2010;47(1):87-96.
- [4] İşler N, Söğüt T, Çalışkan ME. Bazı soya çeşitlerinin Diyarbakır Bölgesi II. ürün

koşullarındaki önemli tarımsal ve bitkisel özelliklerinin belirlenmesi, Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 1997;2(2): 81-89.

- [5] Arıoğlu H. Yağ Bitkileri Yetiştirme ve Islahı, Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Ders Kitapları Yayın No: A-70, Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Ofset Atölyesi, Adana, 2007. p. 204.
- [6] Yılmaz A, Beyyavaş V, Cevheri İ, Haliloğlu H. Harran ovası ekolojisinde ikinci ürün olarak yetiştirilebilecek bazı soya (*Glycine max. L. Merrill.*) çeşit ve genotiplerinin belirlenmesi, Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 2005;9 (2):55-61.
- [7] Beyyavas V, Haliloğlu H, Yılmaz A. The effect of different sowing times on yield and yield components in second crop soybean cultivation. J. Agric. Fac. Harran University, 2007;11(3/4):23-32.
- [8] İlker E. Performances of soybean [*Glycine Max (L.) Merr.*] advanced lines grown in second cropping under mediterranean climatical conditions of western Turkey. Turkish Journal of Field Crops. 2017; 22(1):104-107.
- [9] Bakal H, Gulluoglu L, Onat B, Arioglu H. The effect of growing seasons on some agronomic and quality characteristics of soybean varieties in Mediterranean Region in Turkey. Turkish Journal of Field Crops. 2017; 22(2):187-196.
- [10] Arıoğlu HH. Oil crops growing and breeding. Cukurova University Faculty Of Agriculture General Publication , No:220, Textbook No: A-70. 1999.
- [11] Öztürk F. The evaluation of the yield and yield components of seven soybean (*Glycine Max. L. Merrill.*) genotypes grown as a second crop under Şırnak condition, Int J Agric Environ Food Sci. 2019;3(2):54-57.
- [12] Gunes A. Effects of different nitrogen doses and application time on yield and yield components of soybean (*Glycine Max (L.) Merrill*) cultivated as second crop. Msc Thesis, Harran University, Institute of Natural and Applied Science, Şanlıurfa, Turkey.

- [13] Yaver S, Pasa C. A research on the yield criteria of some soybean varieties in Tekirdağ conditions, Hatay, 19-22 October 2009, Turkey VIII. Field Crops Congress, V(1), p.197-200.
- [14] Bakoğlu A, Ayçiçek M. Elazığ şartlarında soya fasulyesinin (*Glycine max* L.) tarımsal özellikleri ve tohum verimi, Fırat Üniversitesi Fen ve Müh. Bilimleri Dergisi. 2005;17(1): 52-58
- [15] Karasu A, Öz M, Göksoy AT. Bazı Soya Fasulyesi [*Glycine max* (L.) Merrill] Çeşitlerinin Bursa Koşullarına Adaptasyonu Konusunda Bir Çalışma, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 2002;16 (2): 23-34.
- [16] Board JE, Hall W. Premature flowering in soybean yield reductions at nonoptimal planting dates as influenced by temperature and photoperiod, *Agron. J.* 1984;76: 700– 704.
- [17] Yılmaz HA. Kahramanmaraş ekolojisinde farklı ekim sıklıklarının iki soya (*Glycine max* (L.) Merrill) çeşidinde, verim ve verim unsurlarına etkisi, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 1999;(23): 223-232.
- [18] Yılmaz N. The effects of seed rate on yield and yield components of soybean (*Glycine max* L. Merrill), *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 2003;6(4): 373-376.
- [19] Yılmaz A, Beyyavas V, Cevheri I, Haliloglu H. Determination of some soybean (*Glycine Max*. L. Merrill.) varieties and genotypes which can be grown as second crop in Harran plain ecology, *J. Agric. Fac. Harran University*. 2005;9(2):55-61.
- [20] Söğüt T, Öztürk F, Temiz MG. Farklı olgunlaşma grubuna dahil bazı soya (*Glycine max* L.) çeşitlerinin ana ve ikinci ürün koşullarındaki performanslarının karşılaştırılması, Antalya, 5-9 Eylül 2005, Türkiye VI. Tarla Bitkileri Kongresi, Cilt I, p. 393-398.
- [21] Erenstein, O. Smallholder conservation farming in the tropics and sub-tropics aguide to the development and dissemination of mulching with crop residues and cover crops, *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2003;100:17–37.
- [22] Daneshmand A, Yazdanpanah M, Koochaksaraee HNK, Yasari E. Investigation of the effects of plant density and planting date on the quantitative and qualitative yields of two advanced soybean lines, *International Journal of Biology*. 2013; 5(3):37.
- [23] Bruin J, Pederson P. Soybean seed yield response to planting date and seeding rate in the upper midwest, *Agronomy Journal*. 2008;100:696- 703.
- [24] Coulter JA, Van Roekel RJ. Agronomic responses of corn to planting date and plant density, *Agronomy Journal*. 2011;(103):1414-1422.
- [25] Li Y, Du M, Zhang Q, Wang G, Jin J, Herbert S, Liu X. Planting date influences fresh pod yield and seed chemical compositions of vegetable soybean, *Horticultural Science*. 2014; 49(11):1376-1380.
- [26] Wilson RF. Seed composition soybeans: improvement, production, and uses (Ed. By H.R. Boerma and J.E.Specht) 3rd edition, Chapter 13, p.621-677, *Agronomy Series No:16. Madison,Wisconsin*, 2004, 1144.
- [27] Güllüoğlu L, Kurt C, Arıoğlu HH, Onat B. İkinci ürün koşullarında bazı soya [*Glycine max* (L.) Merr] genotiplerinin (çeşit ve hatlar) önemli tarımsal ve kalite özelliklerinin belirlenmesi, *Ç.Ü.Z.F. Yıllığı*. 2010;25(1): 41-52.
- [28] Güngör H, Üstün A. Konya ekolojisinde iki farklı sıra aralığının bazı soya (*Glycine max*.(L.) Merrill) genotiplerinde verim ve bazı verim unsurlarına etkisi. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2015;32(2):100-106.
- [29] Hu MX, Wiatrak P. Effect of planting date on soybean growth, yield, and grain quality, *Agron. J.* 2012;104:785–790.
- [30] Kumar V, Rani A, Pandey V, Mande P, Chauhan GS. Compositional traits of soybean seeds as influenced by planting date in India. *Exp. Agric.* 2006;42:19–28.
- [31] Muhammad A, Khalil SK, Marwat KB, Khan AZ, Khalil IH, Amanullah J, Arifullah S. Nutritional quality and production of soybean land races and improved varieties as affected by planting dates. *Pak. J. Bot.* 2009;41:683– 689.
- [32] Tremblay GJ, Beausoleil JM, Filion P, Saulnier M. Response of three soybean cultivars to seeding date, *Can. J. Plant Sci.* 2006;86:1071– 1078.
- [33] Hu M. Effects of late planting dates, maturity groups and management systems on growth, development and yield of soybean in South Carolina. 2013. All Thesis. Paper 1593.
- [34] Kane MV, Steele CC, Grabau LJ, MacKown CT, Hildebrand DF. early-maturing soybean cropping system. III: protein and oil contents and oil composition, *Agron. J.* 1997;89:464–469.
- [35] Egli BD, Bruening WP. Potential of early-maturing soybean cultivars in late plantings, *Agronomy Journal*. 2000;(92):532-537.
- [36] Asanome N, Ikeda T. Effect of branch direction's arrangement on soybean yield and yield components, *Journal of Agronomy and Crop Science*, 1998;181(2):95–102.
- [37] Trawatha S, TeKrony D M, Hildebrand D F. Lipoxxygenase activity and C6-Aldehyde formation in comporasion to Germination and vigor during soybean seed development,*Crop Science*. 1993;(33): 1337-1344.
- [38] Broun P, Somerville C. Accumulation of ricinoleic, lesquerolic and densipolic asit an seeds to transgenic arabidopsis plants that express a fatty acyl hdroxylase cdna from castor bean, *Plant Physiology*. 1997;113: 933-942.
- [39] Wolf RB, Cavins JF, Kleiman R, Black LT. Effect of temperature on soybean seed constituents: oil, protein, fatty acids, amino acids and sugars, *J. of the American Oil Chemists' Society*. 1982;59(5):230-232.
- [40] Cuniberti MB, Herrero RM, Martinez MJ, Silva M, Baigorri HE, Para R, Weilenmann E, Masiero B. Fatty asits composition of the argention soybean evaluated in different latitudes and

planting dates. VII. February 29 March 5, World Soybean Research Conference, 228-229.

- [41] Cherry JH, Bishop L, Hasegawa PM. Differences in fatty acid composition of soybean seed produced in northern and southern areas of the USA. *Phytochemistry* 1985; (24): 237-241.
- [42] Collins FI, Sedgwick VE. Fatty acid composition of several varieties of soybeans, *J. of the American Oil Chemists Society*. 1959;36(12):641-644.
- [43] Mounts TL, Warner K, List GR, Kleiman R, Fehr WR, Hammond EG, Wilcox JR. Effect of altered fatty acid composition on soybean oil stability, *Journal of the American Oil Chemists' Society*. (1988);65(4):624-628.



Vinç Kancalarının Kırılma Mekanîği Yaklaşımı ile Yorulma Dayanımlarının İncelenmesi

Ali SARI¹, Ömer Faruk NEMUTLU^{2*}, Bilal BALUN³

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

² Bingöl Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bingöl, Türkiye

³ Bingöl Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Bingöl, Türkiye

Ali SARI ORCID No: 0000-0002-6888-1276

Ömer Faruk NEMUTLU ORCID No: 0000-0001-7841-3911

Bilal BALUN ORCID No: 0000-0003-0906-4484

*Sorumlu yazar: ofnemutlu@bingol.edu.tr

(Alınış: 01.02.2021, Kabul: 01.05.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Anahtar Kelimeler
 Vinç
 Kancası,
 Kırılma
 Mekanîği,
 Yorulma
 Analizi

Öz: Bu çalışmada, endüstride birçok alanda kullanılan farklı malzeme özelliklerine sahip 2 ton taşıma kapasiteli karbon ve alaşım vinç kancalarının kırılma mekanîği yaklaşımı ile çatlak ilerleme ve yorulma ömrünü belirlemek için çeşitli analizler yapılmıştır. Karbon ve alaşım kancaların farklı çatlak kalınlıkları için gerilme yoğunluğu faktörü elde edilmiştir. Karbon ve alaşım kancalar için farklı çalışma yüklerinde çatlak derinliği-döngü sayıları eğrileri çıkarılmıştır. Ayrıca alaşım kancalar için, eksantrik yükleme durumu için yorulma ömrü incelenmiştir. Alaşım kancalarda sabit ve değişken genlikli yükleme senaryoları için yorulma ömürleri yorumlanmıştır. Yapılan analizler sonucunda; uygulanan yük arttıkça yorulma ömrünün azaldığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca alaşım kancalar için yapılan eksantrik yükleme durumlarında kancada göçmenin meydana geldiği bölgenin farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Sabit ve değişken genlikli yükleme senaryolarında, gerçeğe daha yakın bir modelleme olan değişken genlikli yükleme durumunun yorulma ömrünü olumlu yönde etkilediği ve elde edilen gerilme yoğunluk faktörleri incelendiğinde çatlak derinliği arttıkça, çatlak ucundaki gerilme yoğunluğu faktörünün arttığı görülmektedir. Kırılma mekanîği ile gerilme-çevrim sayısı (S-N) eğrilerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yorulma ömrü için kırılma mekanîği analizlerinden elde edilen sonuçlar genel anlamda S-N eğrilerinden okunan ömür değerlerinden daha düşük çıktığı ve bu nedenle, kırılma mekanîği yaklaşımının, S-N eğrilerinden daha konservatif ömür tahmini sağladığı tespit edilmiştir.

Evaluation of Fatigue Strength of Crane Hooks with Fracture Mechanics Approach

Keywords
 Crane Hook,
 Fracture
 Mechanic,
 Fatigue
 Analysis

Abstract: In this study, various analyzes have been made to determine crack propagation and fatigue life with fracture mechanics approach for 2 ton carrying capacity carbon and alloy crane hooks belonging to different material properties used in many areas of industry. Stress density factors were obtained for different crack thicknesses of carbon and alloy hooks. For carbon and alloy hooks, crack depth versus cycle number curves under different loadings are derived. In addition, for alloy hooks, fatigue life was investigated for eccentric loading. Fatigue lives are interpreted for fixed and variable amplitude loading scenarios in alloy hooks. As a result of the analysis, it was concluded that as the applied load increased, the fatigue life decreased. Besides, it has been determined that the region where the collapse occurs differ in the eccentric loading conditions for alloy hooks. In constant and variable amplitude loading scenarios, it is seen that the variable amplitude loading, which is a more realistic modeling, positively affects the fatigue life and when the obtained stress density factors are examined, the stress density factor at the crack tip increases as the crack depth increases. The results obtained from the fracture mechanics and stress-number of cycles (S-N) curves were compared, and it was found that the results obtained from the fracture mechanics analysis for the fatigue life were generally lower than the life values read from the S-N curves, and therefore, the fracture mechanics approach provided a more conservative life estimate than the S-N curves.

1. GİRİŞ

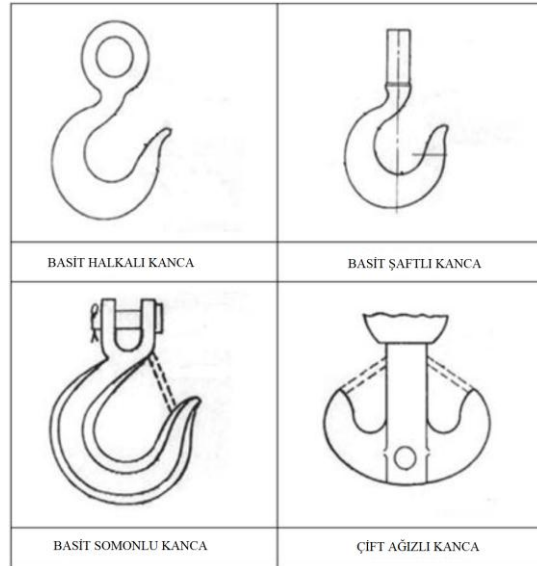
Vinç kancaları, şantiyelerde ve endüstrilerde ağır yükleri kaldırmak için kullanılan önemli bileşenlerdir ve üzerine aldıkları tekrarlı yükler ile hasara yol açabilecek istenmeyen gerilmelerin birikmesi nedeniyle her zaman erken göçme sorunuyla karşı karşıyadırlar. Ağır malzemeleri kaldırmak ve taşımak için kullanılan bir vinç; tel hatlatlar/zincirler ve kasnaklarla donatılmış bir makinedir. Vinçler çoğunlukla nakliye, inşaat ve imalat sanayinde kullanılmaktadır. Gezer vinç, mobil vinç, kule vinci, teleskopik vinç, portal vinç, güverte vinci, pergel vinç, yükleyici vinç yaygın olarak kullanılan vinçlerden bazılarıdır. Bir vinç kancası, temelde bir kaldırma zincirinin halkasını veya bir kelepçe socketinin pimini takmak için tasarlanmış kaldırma tertibatıdır. Vinç kancası kaynaklı kötü kazalar, endüstriyel felaketlerin ana nedenlerinden biridir [1-3].

Vinçler sürekli olarak tekrarlı bir şekilde yükleme ve boşaltma işlemine maruz kalırlar. Bu tekrarlı yük durumu, vinç kancasında yorulma meydana getirir. Vinç kancasında oluşan çatlakların ilerlemesi kancanın göçmesine ve böylelikle önemli kazalara neden olabilir. Çekme gerilmesi, eğilme gerilmesi, kanca kesitinin aşınmaya bağlı olarak zayıflaması, plastik şekil değişimlerinin aşırı yükleme kaynaklı meydana gelmesi, ısıl yükleme uygulanması, kancaların hasara uğramasında rol oynar. Bu nedenlerden ötürü vinç kancalarının en iyi performansı kusursuz olarak sunabilmesi için uygun tasarımın yapılıp üretilmesi gerekmektedir. Vinç kancalarının tasarımında yapılan yanlışlıklar geri dönüşü olmayan büyük kazalara sebebiyet verebilir [4]. Vinç kancasının örnek bir gösterimi Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Vinç kancası genel görünümü

Kancalar genel olarak şekilleri üzerinden adlandırılırlar. Kaldırma makinelerinde 3 sınıfa ayrılan kancalar sırasıyla basit kancalar, çift ağızlı kancalar ve lamelli kancalardır [5-7]. Çeşitli kanca tiplerine ait örnekler Şekil 2’de verilmiştir. Kancalar üretimi sırasında serbest ya da kalıpta dövülerek, DIN 15400 standartlarına uyumlu olmalıdırlar. DIN 15400 standartlarına uyumlu malzemelerden üretilen kancalarda kullanılan çelikler ise DIN 17102 ve DIN17103 standartlarına uymalıdır.



Şekil 2. Kanca tipleri

Bu alanda literatürde yerli ve yabancı birçok çalışma yapılmıştır. Genel olarak çalışmalar çatlak ilerlemesi, farklı kesitlerdeki kanca tiplerinin davranışları, gerilme-çevrim sayısı (S-N) eğrileriyle yorulma analizleri ve kancaların yükleme altındaki davranışlarının karşılaştırılması üzerinedir [8-15].

Das vd. [1] 40 ton kapasiteli bir vinç kancasının göçme analizini yaptıkları çalışmada, kancanın bulunduğu ortam kaynaklı ısıl gerilmelere maruz kalması nedeniyle alt bölgelerinde gerilme yoğunluklarının oluştuğu gözlenmiştir. Kishore vd. [16] çalışmalarında, sahadaki gözlemlerin perspektifini, metalürjik incelemeyi ve sonlu eleman analizini içeren çok disiplinli bir yaklaşım kullanarak 24 tonluk vinç kancasındaki bir göçme analizini sunmaktadır. Çentik nedeniyle dişli kök kısmındaki gerilme konsantrasyonu farklı boyutlardaki çentikler için tahmin edilebildiği belirtilmiş ve çentik boyutu ile gerilme konsantrasyonunun eğilimi açıklanmıştır. Yazarlar ayrıca gelecekte benzer hataların meydana gelmesini önlemek için önerilerde bulunmuştur.

Nishioka vd. [17] yapmış oldukları çalışmada deniz yapılarında kullanılan vinç kancalarının yorulma ve dayanım testlerini gerçekleştirmişlerdir. Statik ve yorulma testleri sonucunda kanca mukavemetlerinin ve yorulma ömrünün çap değişimine duyarlı olduğu sonucunu elde etmişlerdir.

Uddanwadiker [18], çalışmasında büyük öneme sahip olan elemanlardan biri olan vinç kancalarını bir CAD yazılımı üzerinde modellemiş, daha sonrasında 3 boyutlu modelini kullanarak gerilme konsantrasyonu modeli elde etmiştir. Daha sonrasında dağınık ışık polariskop düzeneği ile test edilerek, kanca üzerindeki gerilim yoğunluğu olan alanlar tahmin edilerek kancaların kullanım ömrünü uzatmak ve hasar oranlarını azaltmak için vinç kancalarının şeklinin nasıl değiştirilebileceği üzerine çalışmıştır.

Singh ve Rohilla [19], yapmış oldukları çalışmada; sonlu eleman yazılımı üzerinden gerilme analizini trapez kesitli farklı boyutlara sahip kancalar için

gerçekleştirmişlerdir. Yapmış oldukları bu çalışmanın esas amacı kanca ağırlıklarını azaltmak ve ekonomik açıdan dengeleme yapmaktır. Bu nedenle çalışmada toplam yer değiştirme, Von-Mises gerilmesi bazında 30 ton yüklemeye kapasitesi için kancalar incelenmiştir. Daha sonrasında en uygun kanca numuneleri için yorulma analizleri de gerçekleştirilmiştir.

Kim vd. [20] çalışmalarında ise kancalara takılan zincir taşıyıcı elemanlarının farklı kurulum durumlarına göre gerilme dağılımını ve hasar analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Bu vaka analizi sonuçları, bir operatör zincirin kurulumunu düzgün bir şekilde gerçekleştirdiğinde benzer olaylardan kaynaklanan kayıpların azaltılabileceğini açıkça göstermiştir.

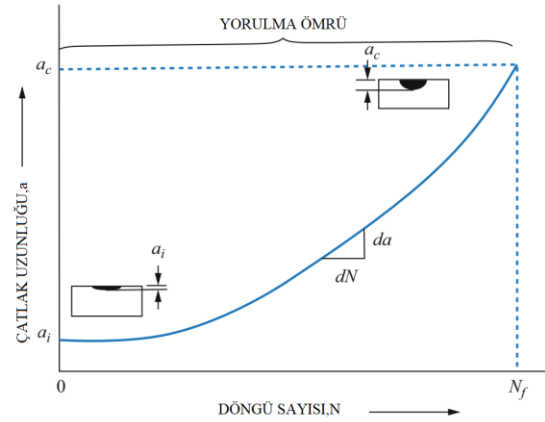
Bu çalışmanın başlangıcını ve alt yapısını oluşturan çalışmada ise Sarı ve Nemutlu [15], farklı malzemelerden yapılmış ve farklı statik yük kapasitesindeki kancaların yorulma dayanımlarını, S-N eğrileri kullanarak karşılaştırmıştır. Çalışmanın sonucunda; karbon kancaların alaşım kancalara göre daha yüksek çekme yük kapasitesine sahip olduğu, yorulma ömrüne kancaların büyüklüğünün etki etmediği ve karbon kancaların alaşım kancalara göre daha uzun yorulma ömrüne sahip olduğu gözlenmiştir.

Çatlak oluşumu ve ilerlemesi gibi yorulma problemleri, gerilme yoğunluğuna sebep olan tekrarlı yükler altında çalışan vinç kancalarında ortaya çıkmaktadır. Kancalar genel olarak çevrimsel yüklemelere maruz kalan ve uzun süreli kullanılan ekipmanlardır. Bu nedenle kancaların davranışının kırılma mekaniği yaklaşımıyla incelenmesi daha doğru olmaktadır. Kancanın tekrarlı yüklerle maruz kaldıktan sonra gövde ve uç bölgesinde meydana gelen gerilme yoğunlukları çatlak oluşumuna ve çatlakların ilerlemesiyle elemanın tamamen veya kısmen göçmesine neden olmaktadır [21]. Kancalarda görülen en önemli göçme şekilleri kancanın gövde ve şaft bölgesinde meydana gelmektedir [15].

Kırılma mekaniği yaklaşımı, çatlak yayılma ömrünü tahmin etmek ve çatlakın inceleme aralığını belirlemek için kullanılır. Bu yaklaşım, Şekil 3'te görüldüğü gibi yorulma ömrünü belirlemeye olanak tanır. Kırılma mekaniğine dayalı hizmet ömürleri ile olasılıksal yorulma analizine dayalı tasarım ömrü arasında dikkat edilmesi gereken önemli bir fark, birincisinin kırılma öncesi çatlak büyüme döngüsünü vermesi ikincisinin ise tüm yaşam döngülerini kapsamaktadır.

Bu çalışma, 'Vinç Kancalarının Farklı Malzeme Özellikleri ve Yükleme Kapasitelerine Göre Yorulma Dayanımlarının İncelenmesi' isimli çalışmanın devamı niteliğindedir [15]. Önceki çalışmada alaşım ve karbon kancaların S-N eğrileri kullanılarak yüklemeye kapasitesi ve malzeme özelliğine göre yorulma ömürlerinin belirlenmesi amaçlanmış, yüklemeye testleri ve çevrimsel yükler altında yorulma testleri yapılmıştır. Bu çalışmada ise, önceki çalışmada analiz sonuçları verilen 2 ton alaşım ve 2 ton karbon kanca için farklı çalışma yükleri altında çatlak derinliği-döngü sayısı ilişkileri, 2 ton alaşım kanca için dış merkezliğin döngü sayısına etkisi

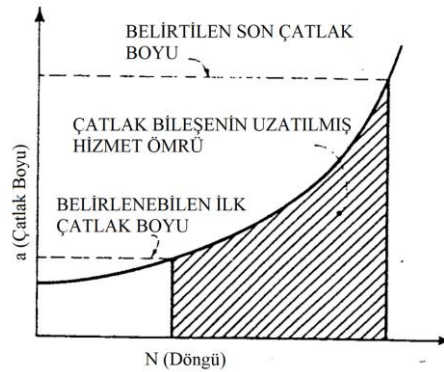
ve sabit genlikli yüklemeye ile farklı genliğe sahip yüklemelerin döngü sayısına etkisi kırılma mekaniği yaklaşımıyla incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, S-N eğrisi ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmış ve sonuçlar gerekçeleriyle irdelenmiştir.



Şekil 3. Çatlak boyu ile döngü sayısının şematik gösterimi [22]

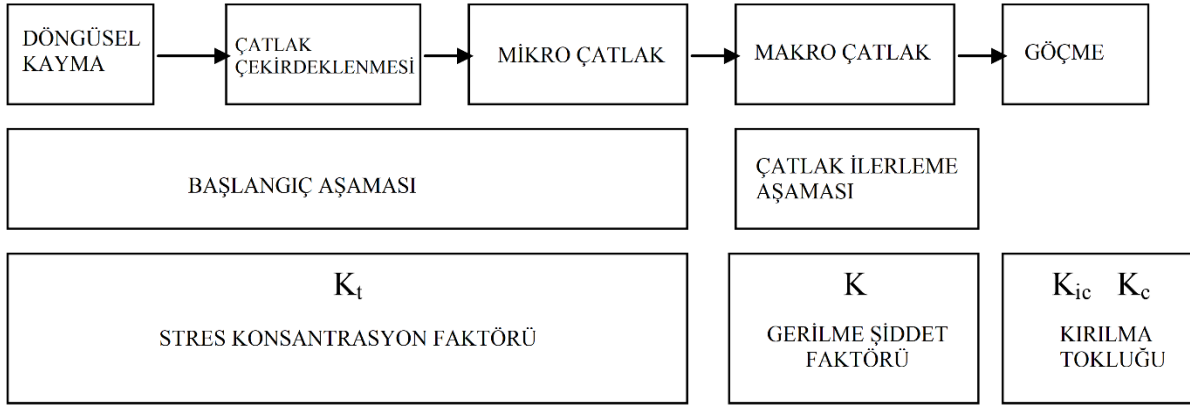
1.1. Yorulmada Çatlak İlerlemesi

Yorulma ömrünün çoğu, bir çatlakın ilerlemesiyle karşılanabilir. Kırılma mekaniği ilkelerini kullanarak, bir çatlak belirli bir boyuta veya nihai hasara kadar büyümek için harcanan döngü sayısını tahmin etmek mümkündür. Böylece, malzeme büyüme hızı özelliklerini bilmek ve düzenli denetimler yapmak suretiyle, çatlakmış bir eleman, uzun bir kullanım ömrü boyunca hizmette tutulabilir. Bu kavram şematik olarak Şekil 4'te [23] gösterilmiştir.



Şekil 4. Çatlakmış bir elemanın uzatılmış hizmet ömrü

Yorulma çatlak büyüme tahmin modelleri, metalik yapılarda hasar toleransı konseptlerini desteklemek için geliştirilmiş kırılma mekaniğine dayalı modellerdir. Sabit ve değişken genlikli yüklemeye altında yorulma ömrü ve yorulma çatlak büyüme tahmini üzerine çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmadaki analiz, bölüm 2.3'te kısaca açıklanan sabit genlik yüklemeye modellerine dayanmaktadır. 1950'lerde birçok araştırmacı, malzemenin yorulma ömründe mikro çatlakları ne kadar erken gözlemleyebildiklerini kaydetti. O zamandan beri, döngüsel yüklemeye altındaki yorulma ömrünün iki aşamadan oluştuğu anlaşılmıştır. Bunlar, bir çatlak başlatma aşaması ve ardından göçmeye kadar bir çatlak büyüme aşamasıdır. Bu durum, Şekil 5 [24] 'te şematik olarak temsil edilmektedir.



Şekil 5. Yorulma ömrü fazları ve ilgili faktörler [24]

Çatlak başlatma süresi, yüksek döngü yorulması altında, yani yorulma sınırının hemen üzerindeki gerilme genlikleri altında, yorulma ömrünün büyük bir yüzdesini kapsayabilir. Bununla birlikte, daha büyük gerilme genlikleri için, çatlak büyüme periyodu, yorulma ömrünün önemli bir kısmı olabilir. Bu noktada soru, başlangıç döneminden çatlak büyüme dönemine geçişin nasıl tanımlanacağıdır. 1960'ların başında, çatlak büyüme hızı da/dN ve gerilme yoğunluğu faktörü aralığı ΔK arasındaki korelasyon için gerilme yoğunluğu faktörü tanımlanmıştır. Bu konuyla ilgili ilk makale Paris, Gomez ve Anderson tarafından yayınlandı [25]. Makalede, Irwin [26] tarafından önerildiği gibi bir çatlak ucunun etrafındaki gerilme alanının analizinden K değeri belirlenmiştir. Paris vd'nin [25] çatlak büyüme testlerinin sonuçları, $\log(da/dN)$ ve $\log(K)$ arasında doğrusal bir ilişki gösteren bir çift logaritmik ölçekte gerilme yoğunluğunun bir fonksiyonu olarak da/dN cinsinden ifade edilmiştir. Daha sonra gerçekleştirilen çatlak büyüme testleri, ünlü Paris denklemi (Denklem 1) eğilimi göstermiştir:

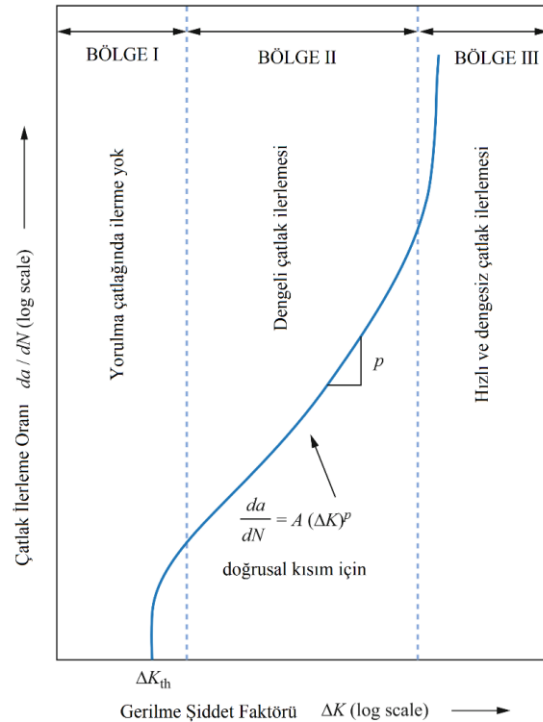
$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^m \quad (1)$$

Burada C ve m deneysel olarak elde edilen katsayılarıdır. Yorulma çatlak büyüme analizi için ortak yaklaşım, deneysel verileri, yorulma çatlak büyüme yasası veya modeli olarak adlandırılan denklem 1 formunun diferansiyel bir denklemi ile tanımlamaktır. Çatlak uzunluğuna karşı döngü sayısını (a - N eğrisi) elde etmek için, çatlak büyüme modelini tanımlayan diferansiyel denklem sayısal olarak entegre edilebilir ve çatlak başlangıçtan son boyuta doğru büyümesi için gereken döngü sayısını tahmin etmek için kullanılabilir.

1.2. Yorulma Çatlak Hızı İlerlemesi

Tipik bir yorulma çatlak ilerleme hızı eğrisi, sigmoidal (S-şekilli) bir eğridir ve Şekil 6'da gösterildiği gibi da/dN 'ye karşı ΔK 'yi çizer. Eğri, üç bölge ile tanımlanır. Çatlak büyüme oranı eğrisinin I bölgesi, bir yorulma çatlak büyüme oranı eğrisinin I bölgesi, bir yorulma çatlak büyüme oranı da/dN , tipik olarak 10^{-6} mm/döngü veya test verilerinden daha küçüktür. Bu bölge son derece hassastır ve büyük ölçüde, sonlu eleman, uygulanan yükün ortalama gerilimi, çalışma sıcaklığı ve çalışma

ortamı gibi malzemenin mikro yapısal özelliklerinden etkilenir. Bu bölgenin en önemli özelliği, yorulma çatlaklarının yayılmaması gereken bir yorulma çatlak büyüme eşliğinin varlığıdır ve Şekil 6'da ΔK_{th} sembolü ile temsil edilir. Bölge II, ara çatlak yayılma bölgesini temsil eder. Kararlı çatlak büyümesine karşılık gelir. Mikro yapının, ortalama gerilmenin, sünekliğin, ortamın ve kalınlığın etkisi küçüktür. Bu bölgede eğrinin eğimi yaklaşık olarak doğrusaldır ve kabaca 10^{-6} ila 10^{-3} mm/döngü arasındadır. Bu nedenle, doğrusal elastik kırılma mekaniği kavramlarının kullanımı kabul edilebilir. Bölge III, kırılma öncesi hızlı ve kararsız çatlak büyümesi nedeniyle çok yüksek oranlarda ($da/dN > 10^3$ mm/döngü) yorulma çatlak büyümesini temsil eder. Bu bölgede yorulma yayılma analizi çok karmaşıktır. Pek çok pratik mühendislik durumunda bu bölge, toplam çatlak yayılma ömrünü önemli ölçüde etkilemediği için genellikle ihmal edilmektedir [22].

Şekil 6. Tipik da/dN - ΔK Eğrisi [18]

1.3. Sabit ve Değişken Genlikli Yükleme Durumları

Kancalar için yorulma çatlağı büyüme analizleri, sabit genlikli yüklemeye altında gerçekleştirilir. Literatürde çok sayıda sabit genlik yüklemeye modeli mevcuttur [22, 27]. Daha önce belirtildiği gibi, Paris Yasası (Denklem 1) en yaygın kabul gören uyumdur. Malzeme sabitleri, C ve m, yayınlanmış literatürde verilmiştir. Üssün değerleri, m genellikle 2 ile 4 arasındadır. Seçilen parametreler, önceki makalede oluşturulan S-N eğrileriyle karşılaştırıldığında doğru sonuçlar vermiştir [15]. Çatlak büyüme parametreleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Alaşım ve karbon kancalar için çatlak ilerleme parametreleri

| | m | C |
|--------|-----|------------------------|
| Alaşım | 2,5 | $5,02 \times 10^{-11}$ |
| Karbon | 3,5 | $8,20 \times 10^{-13}$ |

Paris Yasasında bazı sınırlamalar vardır. Birincisi, yalnızca Bölge II'deki verileri tanımlayabilir. İkincisi, Paris Yasası gerilme oranının etkisini dikkate almaz ve kullanılan malzemeye bağlıdır. Çeşitli gerilme oranlarında test edilen çelikler için, birbirine paralel bir düz çizgi kümesi üretilir. Bu durum, m'nin (eğrinin eğimi) değerinin tüm gerilme oranları için aynı olduğu, ancak C'nin (eğrinin y kesişme noktası) değerinin belirli bir gerilme oranına özgü olduğu anlamına gelir. Bu nedenle, kullanılan yorulma çatlak ilerleme hızı verilerinin ilgili gerilim oranı için olduğundan emin olunmalıdır.

Değişken genlikli yüklemeye senaryosunda, farklı büyüklükteki gerilmeler meydana gelir ve belirli bir diziye bağlı olarak çatlak büyüme oranını etkiler. Yorulma çatlağı büyüme oranı üzerinde önemli bir etkiye sahip olan üç yük dizisi, gerilme aşırı yük (çatlak geciktirme), sıkıştırıcı düşük yük (çatlak hızlandırma) ve gerilme aşırı yüklemesi ve ardından sıkıştırıcı düşük yüklerdir (çatlak gecikmesinde azalma). Bu etkileşimler büyük ölçüde yüklemeye sırasına bağlı olduğundan, değişken genlikli yüklemeye, sabit genlikli yüklemeye daha karmaşık bir durumdur.

En basit ifadeyle değişken genlikli yüklemeye türü, sabit bir genlikte yüksek tepe yüklerinin ortaya çıkmasıdır. Pik yük gerilme olduğunda, aşırı yüklenmenin hemen ardından çatlak büyümesi normal büyüme oranından daha yavaştır. Bu durum, orijinal büyüme oranına geri dönene kadar birkaç döngü boyunca devam eder. Çoklu ve tek bir aşırı yük için bu davranış Şekil 7'de gösterilmektedir.

Şekillerin fiziksel yorumu, bir gerilme aşırı yükünün, aşırı yüklenmeden öncesine kıyasla çatlak ucunun yakınında daha büyük bir artık basınç alanı oluşturduğudur. Bu durum, nispeten daha küçük yüklerin uygulanması sırasında çatlak ucunun kapalı kalmasına yardımcı olarak çatlak büyümesini geciktirir. Çatlak, aşırı yükün artık gerilme alanı boyunca ilerlemesine ve geri yüklenmesine kadar devam eder. Bir sıkıştırıcı düşük yük değişken genlikli yüklemeye serpiştirildiğinde, düşük yükü takip eden çatlak büyüme oranı, Şekil 7'de 'd' eğrisi ile gösterildiği gibi sabit genlikli yükün hızından daha büyük olacaktır. Kancalar, nominal taşıma kapasitesine kadar iş yükleri altında çalışır. Bu nedenle, alaşım kancaları için kullanılan sabit genlikli yüklemeye modeli, ihtiyatlı bir yaklaşım sağlar.

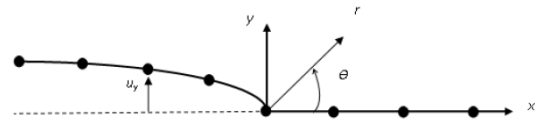
1.4. Hesaplamalı Kırılma Mekanikliği

Sayısal modelleme kırılma analizinin vazgeçilmez bir parçasıdır, çünkü nispeten az sayıda problem kapalı formda analitik çözümlere sahiptir. Katı cisimler mekaniğindeki problemlere, sonlu fark, sonlu eleman ve sınır integral denklem yöntemleri dâhil olmak üzere çeşitli sayısal teknikler uygulanmıştır. Çatlak gövdelerin analizlerinin büyük çoğunluğunda sonlu elemanlar kullanılır.

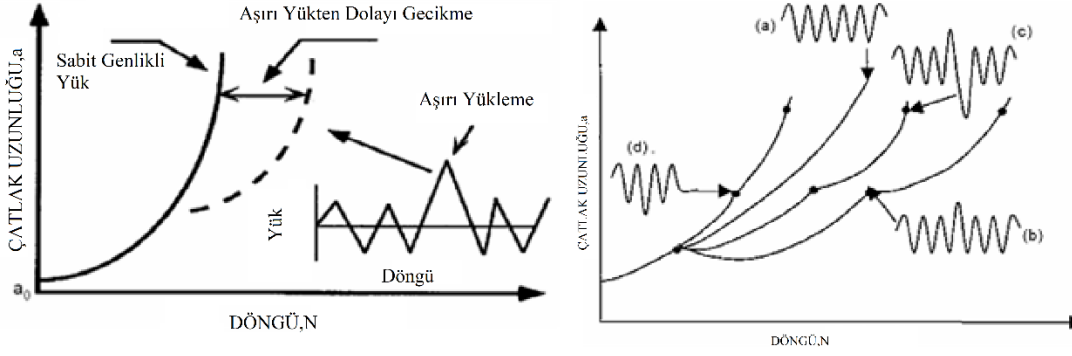
Bu çalışmalarda analizlerde, hesaplamalı kırılma mekaniğinin geleneksel yöntemlerden biri olan gerilme ve yer değiştirme eşleştirme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, gerilme yoğunluğu faktörü, çatlak ucunun önündeki gerilmelerden veya çatlak ucunun arkasındaki yer değiştirmelerden tahmin edilebilir. Şekil 8, çatlak ucunda varsayılan yerel koordinat sistemini göstermektedir.

Gerilme yoğunluğu faktörü, düzlem gerilim yüklemesi için aşağıdaki ekstrapolasyon yöntemi ile tahmin edilebilir (Denklem 2) [27].

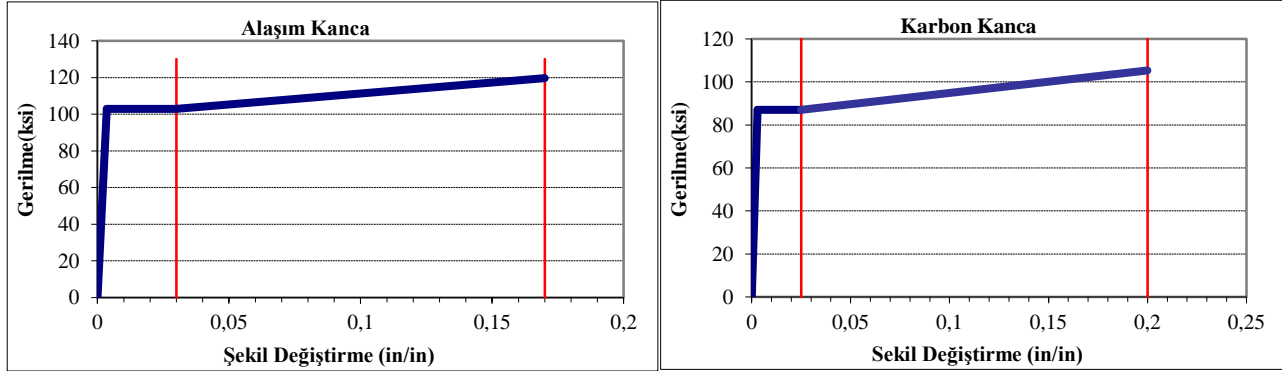
$$K_1 = \lim_{r \rightarrow 0} \left[\frac{E_{uy}}{4} \sqrt{\frac{2\pi}{r}} \right] \quad (\theta = \pi) \quad (2)$$



Şekil 7. Bir sonlu eleman modelindeki çatlak ucundaki gerilme-şekil değiştirme için lokal koordinat sistemi



Şekil 8. Aşırı yüklemeyi takip eden sabit genlikli yük nedeniyle azalan ilerleme oranı; (a) sabit genlikli yüklenme, (b) tekli aşırı yük, (c) çekme-basınç aşırı yüklemesi, (d) tekli düşük yüklenmenin çatlak ilerlemesindeki geçici etkisi [24]



Şekil 9. Alaşım ve karbon kancalar için gerilme-şekil değişimi eğrileri

Bu çalışmada gerilme yoğunluğu faktörünü belirlemek için denklem 2 kullanılmıştır. 2 tonluk bir alaşımlı kanca için sonlu eleman modelleri, 0,025" ile 0,70" arasında değişen farklı çatlak derinlikleri ile oluşturulmuştur. Kırılan her model, çalışma yükünün 0,5 ile 3,0 katı arasında değişen yüklerle yüklenmiştir. LS-DYNA yazılımı, sonlu eleman analizi için kullanılır. Çatlak açıklığındaki değişiklik ve çatlak ucu ile ilgilenilen düğüm arasındaki mesafe yazılım kullanılarak analiz edilir.

1.5. Sonlu Eleman Modeli

Kırılma mekaniği analizleri için ilk adımda, alaşımın ve karbon kancaların malzeme özellikleri doğrulanmaktadır. Bir karbon ve bir alaşımlı kancanın sonlu eleman modelleri, LS-DYNA yazılımında bir çekme testine tabi tutulur. Kanca ucunda aynı miktarda sapma elde etmek için akma dayanımı ve nihai çekme dayanımı değerleri değiştirilir.

Sonlu elemanlar modelinin malzeme özellikleri, davranışları test ile eşleşene kadar üretici verilerine göre ayarlanmıştır. Şekil 9, yukarıda gösterilen karşılaştırılabilir sonuçları üreten sonlu eleman modeli için girdi gerilme-şekil değişimi eğrisini gösterir. Malzemenin akma dayanımının 709,5 MPa (102,9 ksi), nihai gerilme dayanımının 825,3 MPa (119,7 ksi) ve nihai toplam uzamanın %17 olduğu tahmin edilmektedir. Karbon kancaları için geliştirilen sonlu eleman modelinin malzeme özellikleri deneysel sonuçlara uyacak şekilde ayarlanmıştır. Elde edilen gerilme-şekil değişimi eğrisi Şekil 9'da gösterilmektedir. Karbon kancalarının akma dayanımı 600,52 MPa (87,1 ksi),

gerilme mukavemeti ise 726,01 MPa (105,3 ksi) olarak tahmin edilmiştir. LS-DYNA modelinden elde edilen sonuçlar Şekil 10'da gösterilmektedir. Şekil 10, testten önce ve sonra 2TAK modelini göstermektedir.



Şekil 10. Statik testten önce ve sonra 2TAK modeli

Bu çalışmada alaşım ve karbon kancalar arasında dış merkezlik etkisi ve farklı genlikli yüklemeler açısından bir karşılaştırma yapılmamıştır. Kanca elemanların sabit genlikli ve farklı genlikli yüklemelere karşı hassasiyetleri ve kanca elemanlarının farklı dış merkezlik verilmesi durumundaki davranışları incelenmiştir. Bu nedenle sadece alaşım kanca üzerinde dış merkezlik etkisi ve genlik etkisi üzerine testler gerçekleştirilmiş olup, karbon kancalar üzerinde bu testler uygulanmamıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Çalışmada örnek numune olarak 2 ton kapasiteye sahip alaşım kancalar ve 2 ton kapasiteye sahip karbon kancalar kullanılmıştır. Alaşım kanca olarak, ASTM'de tanımlanan B124 standardına uyan alaşım çelik karbon kancalar kullanılmıştır. Çalışma içerisinde kullanılan karbon kanca, 2TKK (2 ton kapasiteli karbon kanca)

olarak, alaşım kanca ise 2TAK (2 ton kapasiteli alaşım kanca) şeklinde isimlendirilmiştir. Sarı ve Nemutlu'nun [15] çalışmasındaki analizler sonucunda elde edilen nihai yük testleri ve yorulma testi sonuçları bu çalışma içerisinde de kullanılmıştır. Bu çalışmada uygulanan farklı miktardaki yük oranları çalışma yükünün yüzdesi cinsinden tanımlanmıştır. Çalışma yükü, numuneye uygulanan maksimum yük ile minimum uygulanan yükün farkının kanca kapasitesine oranı şeklinde verilebilir.

Analizlerde dikkate alınan kırılma tokluğu ortalamaları -20°C'de verilmiştir. Bunun nedeni düşük sıcaklıklarda içyapısındaki gerilmelerin yüksek olması ve çevre sıcaklığının düşüklüğünden kaynaklı kırılma tokluğu değerlerinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Yani verilen sıcaklıklarda kırılma tokluğu ortalamalarının verilmesinin sebebi en elverişsiz durumu dikkate almaktır.

Yapılan analizlerde kullanılan numunelerin sonlu eleman olarak modellenmesi LS-DYNA isimli sonlu eleman programında yapılmıştır. LS-DYNA, büyük yapısal deformasyonların olduğu, kısa süre içinde gerçekleşen olayların simülasyonları için kullanılan genel amaçlı bir sonlu eleman yazılımıdır. Bu yazılım, kapsamlı malzeme modelleri, kompleks temas koşulu tanımlama özellikleri ve çözüm algoritmaları ile otomotiv, savunma, havacılık başta olmak üzere pek çok sektörde kullanılan bir ürün geliştirme aracı olmuştur.

Kırılma mekaniği yaklaşımıyla yapılan analizler ve verilerin elde edilmesi (gerilme yoğunluğu faktörü, çatlak gelişimi, kritik çatlak boyu, kırılma tokluğu vb.)

Tablo 2. Yorulma Numunelerinin Çalışma Yükleri

| Çalışma Yükü(ton) | Güvenlik Katsayısı | 1*ÇY(lbs) | 1*ÇY(lbs) | 1*ÇY(lbs) | 1*ÇY(lbs) | Ultimate Tasarım Yükü(lbs) |
|-------------------|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------------|
| 2TKK | 5 | 4409 | 6614 | 8818 | 13228 | 22046 |
| 2TAK | 4,5 | 4409 | 6614 | 8818 | 13228 | 19481 |

3. BULGULAR

Bu bölümde çalışmadaki süreçler aşamalı olarak verilmiş olup analiz sonuçları değerlendirilip yorumlanmıştır.

3.1. 2 Ton Alaşım Kanca Gövdesinde Çatlak İlerleme Analizi

Gerilme yoğunluğu faktörünün çatlak boyutuna göre davranışını araştırmak için, LS-DYNA programında 0,001" ve 0,025" kalınlıklarına sahip iki çatlak, Şekil 11'de gösterildiği gibi modellenmiştir. Daha sonra LS-DYNA'dan elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir.

aşamasında ise NASGRO yazılımı ve içerisinde ayrı bir modül olarak bütünleşik çalışan NASFLA kullanılmıştır. NASGRO, yapılar ve mekanik bileşenlerde kırılma ve yorulma çatlak büyümesini (FCG) analiz etmek için kullanılan bir bilgisayar programı paketidir. NASGRO, günümüzde dünyada uçak, uzay aracı, rotorlu uçak, gaz türbini motorları, basınçlı kaplar ve diğer yapısal bileşenler için birçok uygulama dahil olmak üzere en yaygın kullanılan kırılma mekaniği ve çatlak ilerlemesi yazılımıdır. NASGRO'nun en önemli eklentilerinden biri olan NASFLA'nın kapsamlı yetenekleri, onu diğer birçok kırılma mekaniği kodundan ayırır. NASFLA modülü, birçok farklı türde; gerilme yoğunluk faktörü hesaplaması, yorulma çatlak ilerlemesi, başlangıç çatlak boyu, yükleme spektrumları, döngü sayısı gibi kırılma mekaniği değerlendirmesini gerçekleştirmek için kullanılabilir.

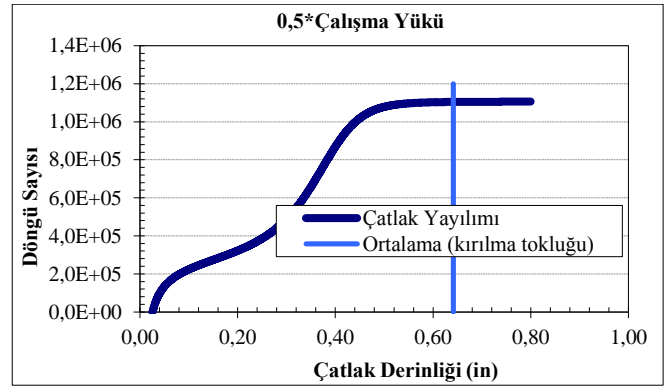
Yapılan yorulma testlerinde farklı tiplerde kancalar yüklemelere maruz bırakılmıştır. Toplam 47 test yapılmış olup kancaların çalışma yükleri olarak 2 ton, 3 ton, 15 ton ve 25 ton olarak belirlenmiştir. Testlerde uygulanan farklı miktardaki yükler çalışma yüklerinin yüzdesi olarak dikkate alınmıştır. Yüzde cinsinden çalışma yüklerinin (ÇY) nasıl dikkate alındığı aşağıdaki denklem 3'te verilmiştir.

$$\%ÇY = \frac{\text{Maksimum uygulanan Yük} - \text{Minimum Uygulanan Yük}}{\text{Kanca Kapasitesi}} \times 100 \quad (3)$$

Tablo 2, farklı tipteki kancalar için çalışma ve test yüklerini vermektedir. Bu çalışma yüklerine göre yapılan testlerde kancalar tipik olarak göçmeye ulaşana kadar döngü uygulanmıştır.

1,0*çalışma yükü için LS-DYNA programından alınan çıktı kullanılarak hesaplanan gerilme yoğunluğu faktörüne göre çatlak kalınlığına karar verilmiştir. Görünüşe göre 0,001" ve 0,025" çatlaklar aynı gerilme yoğunluğu faktörünü sağlamaktadır. Sonlu eleman analizlerimizde 0,025" çatlak boyutu kullanılmıştır. Gerilme yoğunluğu hesaplamaları, çatlak boyunca çatlak açıklığındaki değişikliği ölçerek başlar. Daha sonra, çatlak ucundan ilgilenilen düğüme düğüm mesafesi (r) ölçülür. Bu işlemin bir örneği Şekil 12'de gösterilmektedir. Her çatlak derinliği için tüm veriler doldurulduktan sonra, denklem 2 kullanılabilir.

kancanın yorulma ömrü döngülerini göstermektedir. 0,70" (18 mm) nihai çatlak derinliğine veya kırılmaya ulaşmak için 0,5*çalışma yükü altında yaklaşık 1,11 milyon döngü gerekeceği şekilden okunabilir. Alaşımli kancalar için kırılma tokluğunun ortalaması 92,02 MPa√m (83,65 ksi√in) olarak bulunmuştur ve 0,5*çalışma yükü altında çatlak derinliği 0,64" (16,3 mm) olduğunda gerilme yoğunluğuna karşılık gelmektedir. Bununla birlikte, aşağıdaki bölümlerdeki çatlak büyüme analizleri, oda sıcaklığı için sonuçlar vermektedir. Bu nedenle, kırılma tokluğu, oda sıcaklığındaki ortalama eğriler, daha derin bir çatlak boyutuna karşılık gelecektir.



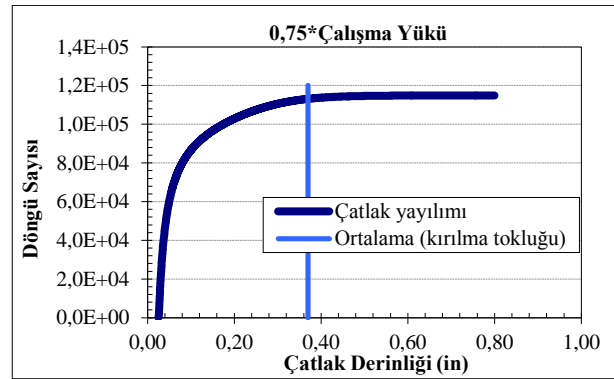
Şekil 13. 0,5*ÇY için çatlak derinliği-döngü sayısı

Tablo 4, 0,75*çalışma yükü altındaki alaşımli kancalar için çatlak derinliğine karşı gerilme yoğunluğu faktörü verilerini listelemektedir.

Tablo 4. 0,75*çalışma yükü için gerilme yoğunluk faktörü ve a değerleri

| | | 0,75 ÇY | | | | | | | | | | |
|---|--|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| a (m) | | 0,0006 | 0,0013 | 0,0025 | 0,0038 | 0,0051 | 0,0064 | 0,0760 | 0,0102 | 0,0127 | 0,0152 | 0,0178 |
| K _I (MPa*m ^{0,5}) | | 7,27 | 22,73 | 27,27 | 32,73 | 34,55 | 39,09 | 42,73 | 67,27 | 110,91 | 221,82 | 408,18 |

Şekil 14, 0,75*çalışma yükü koşulunun altındaki 2 tonluk alaşımli kancalar için yorulma ömrü döngülerinin sayısını göstermektedir. NASGRO veri tabanındaki parametreler kullanılarak, başlangıç çatlak derinliği 0,025" (0,635 mm) olan bir kancanın yorulma ömrü 116.000 döngü olarak tahmin edilmektedir. Alaşım kancalar için -20°C'de (-4°F) kırılma tokluğunun ortalaması 92,015 MPa√m (83,65 ksi√in) olarak bulunmuştur ve 0,75*çalışma yükü altında çatlak derinliği 0,37" (9,4 mm) olduğunda gerilme yoğunluğuna karşılık gelmektedir. Bununla birlikte, oda sıcaklığında ortalama kırılma tokluğu eğrisi, daha büyük bir çatlak derinliğine karşılık gelecektir.



Şekil 14. 0,75*ÇY için çatlak derinliği-döngü sayısı

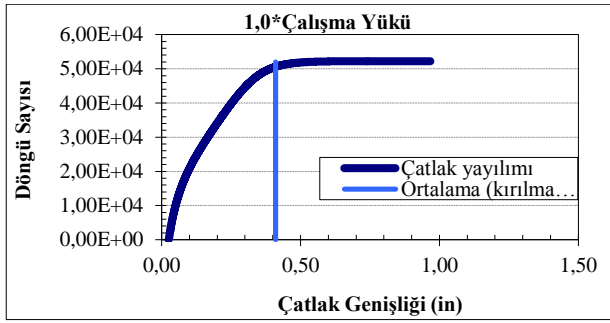
Tablo 5, 1,0*çalışma yükü altındaki alaşımli kancalar için çatlak derinliğine karşı gerilme yoğunluğu faktörü verilerini listelemektedir.

Tablo 5. 1,0*çalışma yükü için gerilme yoğunluk faktörü ve a değerleri

| | | 1,0 ÇY | | | | | | | | | | |
|---|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| a (m) | | 0,0006 | 0,0013 | 0,0025 | 0,0038 | 0,0051 | 0,0064 | 0,0760 | 0,0102 | 0,0127 | 0,0152 | 0,0178 |
| K _I (MPa*m ^{0,5}) | | 24,55 | 30,00 | 37,27 | 44,55 | 45,45 | 51,82 | 55,45 | 7,27 | 150,00 | 288,18 | 492,73 |

Şekil 15, 1,0*çalışma yükü koşulu altında 2 tonluk alaşımli kancalar için yorulma ömrü döngülerinin sayısını göstermektedir. NASGRO'daki parametreler kullanılarak, başlangıç çatlak derinliği 0,025" (0,635 mm) olan bir kancanın yorulma ömrü 52.300 döngü olarak tahmin edilmektedir. Alaşımli kancalar için kırılma tokluğunun ortalaması -20°C'de (-4°F) 92,015

MPa√m (83,65 ksi√in) olarak bulunmuştur ve 1,0*çalışma yükü altında çatlak derinliği 0,413" (10,5 mm) olduğunda gerilme yoğunluğuna karşılık gelmektedir. Bununla birlikte, oda sıcaklığında ortalama kırılma tokluğu eğrisi, daha büyük bir çatlak derinliğine karşılık gelecektir.



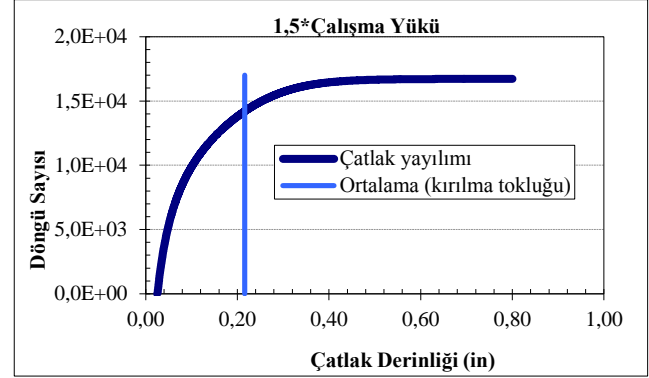
Şekil 15. 1,0*ÇY için çatlak derinliği-döngü sayısı

Tablo 6, 1,5*çalışma yükü altındaki alaşımli kancalar için çatlak derinliğine karşı gerilme yoğunluğu faktörü verilerini listelemektedir.

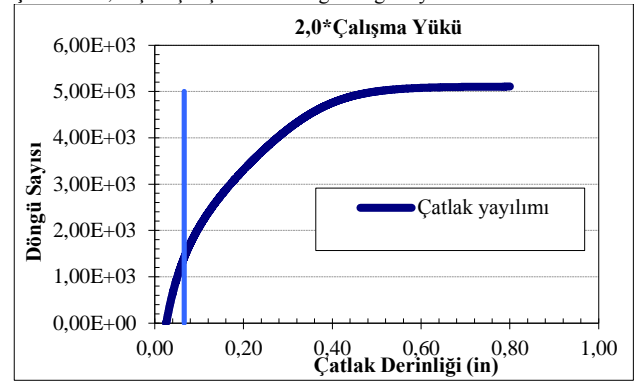
Şekil 16, 1,5*çalışma yükü koşulu altında 2 tonluk alaşımli kancalar için yorulma ömrü döngülerinin sayısını göstermektedir. NASGRO veri tabanındaki parametreler kullanılarak, başlangıç çatlak derinliği 0,025" (0,635 mm) olan bir kancanın yorulma ömrü, hasara kadar $1,67 \times 10^4$ döngü olarak tahmin edilmektedir. Alaşımli kancalar için kırılma tokluğunun ortalaması -20°C 'de (-4°F) $92,02 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ ($83,65 \text{ ksi}\sqrt{\text{in}}$) olarak bulunmuştur ve 1,5*çalışma yükü altında çatlak derinliği 0,22" (5,5 mm) olduğunda gerilme yoğunluğuna karşılık gelmektedir. Bununla birlikte, oda sıcaklığında ortalama kırılma tokluğu eğrisi, daha büyük bir çatlak derinliğine karşılık gelecektir.

Tablo 7, 2,0*çalışma yükü altındaki alaşımli kancalar için çatlak derinliğine karşı gerilme yoğunluğu faktörü verilerini listelemektedir. Şekil 17, 2,0*çalışma yükü koşulundaki 2 tonluk alaşımli kancalar için yorulma ömrü döngülerinin sayısını göstermektedir. İlk çatlak derinliği 0,025" (0,635 mm) olan bir alaşım kancanın yorulma ömrü, hasara kadar 5,11 döngü olarak tahmin

edilmektedir. Alaşımli kancaların kırılma tokluğunun ortalaması -20°C 'de (-4°F) $92,015 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ ($83,65 \text{ ksi}\sqrt{\text{in}}$) olarak bulunmuştur ve 2,0*çalışma yükü altında çatlak derinliği 0,07" (1,68 mm) olduğunda gerilme yoğunluğuna karşılık gelmektedir. Bununla birlikte, oda sıcaklığında ortalama kırılma tokluğu eğrisi, daha büyük bir çatlak derinliğine karşılık gelecektir.



Şekil 16. 1,5*ÇY için çatlak derinliği-döngü sayısı



Şekil 17. 2,0*ÇY için çatlak derinliği-döngü sayısı

Tablo 6. 1,5*çalışma yükü için gerilme yoğunluk faktörü ve a değerleri

| 1,5 ÇY | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| a (m) | 0,0006 | 0,0013 | 0,0025 | 0,0038 | 0,0051 | 0,0064 | 0,0760 | 0,0102 | 0,0127 | 0,0152 | 0,0178 |
| K_1 (MPa*m ^{0,5}) | 17,27 | 49,09 | 60,00 | 74,55 | 66,36 | 75,45 | 84,55 | 127,27 | 213,64 | 404,55 | 662,73 |

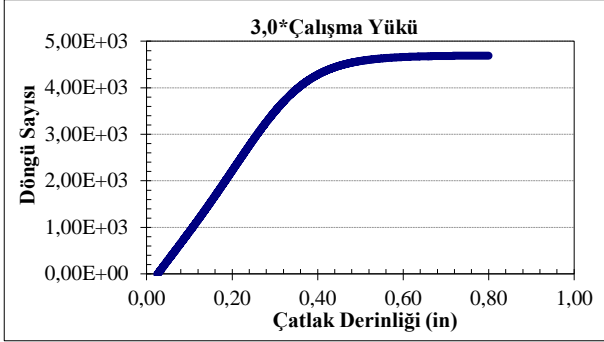
Tablo 7. 2,0*çalışma yükü için gerilme yoğunluk faktörü ve a değerleri

| 2,0 ÇY | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| a (m) | 0,0006 | 0,0013 | 0,0025 | 0,0038 | 0,0051 | 0,0064 | 0,0760 | 0,0102 | 0,0127 | 0,0152 | 0,0178 |
| K_1 (MPa*m ^{0,5}) | 29,09 | 85,45 | 110,00 | 163,64 | 87,27 | 98,18 | 109,09 | 166,36 | 281,82 | 501,82 | 797,27 |

Tablo 8. 3,0*çalışma yükü için gerilme yoğunluk faktörü ve a değerleri

| 3,0 ÇY | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| a (m) | 0,0006 | 0,0013 | 0,0025 | 0,0038 | 0,0051 | 0,0064 | 0,0760 | 0,0102 | 0,0127 | 0,0152 | 0,0178 |
| K_1 (MPa*m ^{0,5}) | 132,73 | 84,50 | 100,91 | 116,36 | 127,27 | 143,64 | 157,27 | 245,45 | 392,73 | 684,50 | 1054,55 |

Tablo 8, 3,0*çalışma yükü altındaki alaşımlı kancalar için çatlak derinliğine karşı gerilme yoğunluğu faktörü verilerini listelemektedir. Şekil 18, 3,0*çalışma yükü koşulunda 2 tonluk alaşımlı kancalar için yorulma ömrü döngülerinin sayısını göstermektedir. İlk çatlak derinliği 0,025” (0,635 mm) olan bir alaşım kancanın yorulma ömrü, hasara kadar $4,69 \times 10^3$ döngü olarak tahmin edilmektedir. 3,0*çalışma yükü altında, gerilme yoğunluğu faktörü, minimum çatlak boyutunda bile kırılma tokluğu değerinden daha yüksektir.



Şekil 18. 3,0*ÇY için çatlak derinliği-döngü sayısı

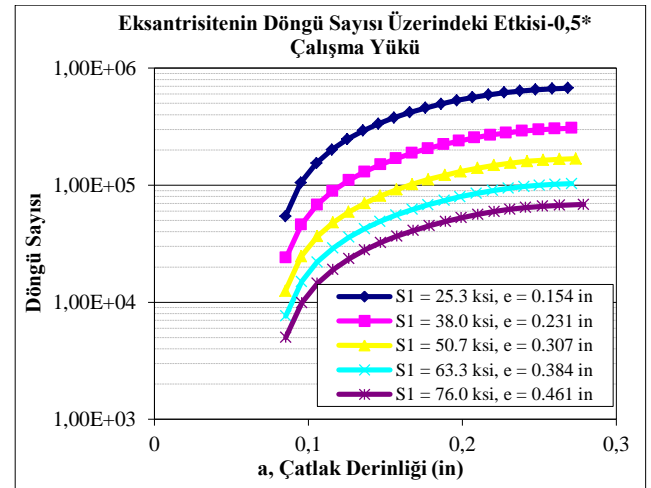
3.2. 2 Ton Alaşım Kanca için Dış Merkezlik Etkisi

Sarı ve Nemutlu'nun yapmış oldukları çalışmada [15] yorulma testi deneyleri sırasında, 2 tonluk alaşım kancalarından üçü ve 3 tonluk alaşım kancalarından da üçü şaft bölgelerinde yetersiz olduğu görülmüştür. Bu tür bir göçme çalışmanın bu bölümünde incelenmektedir. Kancanın şaft kısmı silindriktir ve yorulma testleri sırasında ilk dişte kopma gözlenmiştir. Sonlu eleman yaklaşımı kullanmak yerine NASGRO yazılımı şaft geometrisinin tanımlanmasına olanak verdiği için kullanılmıştır. NASFLA modülü, NASGRO'da yerleşiktir ve farklı türlerde kırılma mekaniği değerlendirmelerini gerçekleştirmek için kullanılır. Malzeme tipi AISI 4340 alaşımlı çelik olarak seçilmiş ve ilgili parametreler yerleşik veri tabanından elde edilmiştir. Şaft üzerine etki eden gerilmeler iki katlıdır: uygulanan yüke bağlı bir gerilme (S0) ve uygulanan yüke bağlı bir eğilme gerilmesi (S1) ve gövdenin merkezi eksenine göre bir dış merkezlik etkisi göz önüne alınmıştır. Analizlerde uç bölge göçmelerinde dış merkezliğin önemli rol oynadığı görülmektedir. Şekil 19, dış merkezlik kavramını göstermektedir.



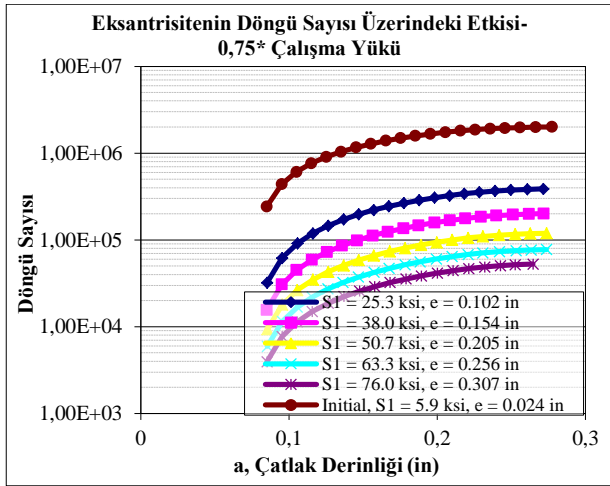
Şekil 19. Eksantrisite gösterimi

Başlangıçta yük, 0,024” eksantrikliğe sahip bir simit üzerinden uygulanır. Bu dış merkezlik miktarı, kancanın şaft kısmında 1,0*çalışma yükü (4410 lbs) için 6,2 ksi'lik bir burulma gerilmesi ile sonuçlanmıştır. Bu koşul altında, NASFLA modülünün sonucu, şaftın $7,02 \times 10^5$ çevrime kadar göçme meydana gelmeyeceğini göstermektedir. Ancak bu senaryo için kanca gövdesi, bölüm 3.1'de sunulan çatlak büyüme analizine göre 5×10^4 döngüden sonra başarısız olacaktır. 0,75*çalışma yükü için benzer şekilde, şaft kısmının yorulma ömrü yaklaşık 2 milyon döngü olarak hesaplanırken, kanca gövdesinde bir göçme, çatlak büyüme analizine göre $1,16 \times 10^5$ döngüden sonra gözlemlenecektir. Bununla birlikte, yorulma testleri sırasında, daha düşük çevrim sayısında şaftta göçme meydana gelmiştir. Bu durum ile uç bölge göçmesi için eksantrikliğin etkilerinin araştırılması sağlandı. NASFLA modülünde, farklı dış merkezlikler nedeniyle farklı bükülme gerilme seviyelerinde çalıştırılır ve yaşam döngülerinin sayısı hesaplanır. Şekil 20, 0,5*çalışma yükü altında bir alaşım kancanın yorulma ömrü üzerindeki eksantrikliğin etkisini göstermektedir. Başlangıçtaki dış merkezlik 0,024” tür ve bu durumda 0,075” derinliğe sahip bir çatlak büyümeyecektir. Bu nedenle şekilde gösterilmemiştir. Bununla birlikte, artan eksantrikliğin yorulma ömrünü önemli ölçüde azalttığı gözlenmiştir.



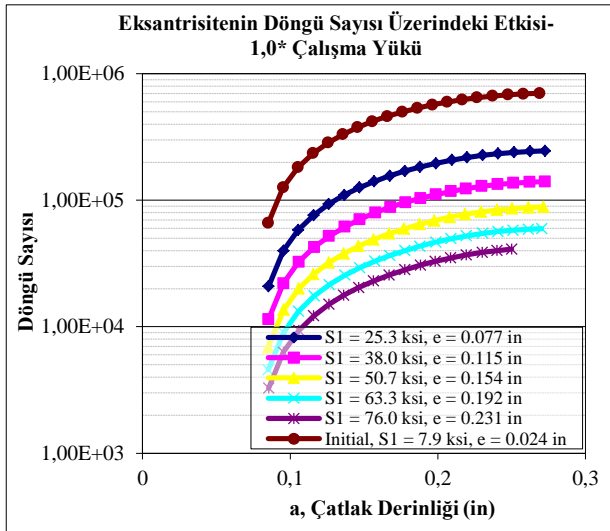
Şekil 20. 0,5 ÇY altında alaşım kancada döngü sayısına eksantrisitenin etkisi

Şekil 21, 0,75*çalışma yükü altında bir alaşım kancanın yorulma ömrü üzerindeki eksantrikliğin etkisini göstermektedir. Bu başlangıç yükleme koşulu ve 0,024 inçlik başlangıç eksantrikliği ile yorulma ömrü yaklaşık 2 milyon döngü olarak hesaplanır. Yükleme sırasında Dış Merkezlik arttığında, bileşenin yorulma ömrü azalacak ve şaftta daha erken bir göçme gözlemlenecektir. Kancanın yorulma ömrü, 0,75*çalışma yükü altında 0,3” dış Merkezlilik için yaklaşık $5,3 \times 10^4$ döngü olarak hesaplanmıştır.



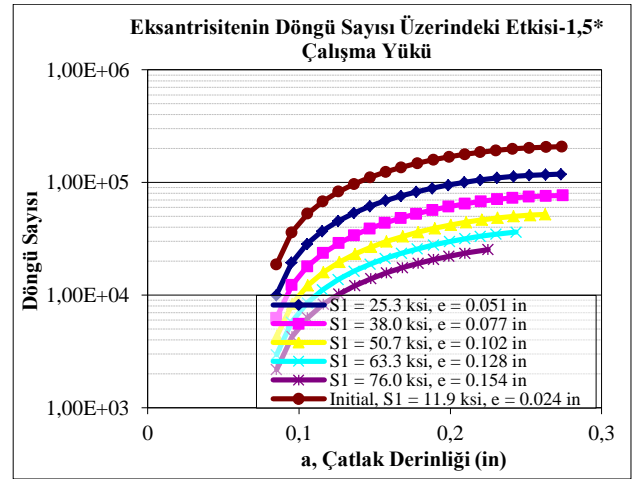
Şekil 21. 0,75 ÇY altında alaşım kancada döngü sayısına eksantrisitenin etkisi

Şekil 22, 1,0*çalışma yükü altında bir alaşım kancanın yorulma ömrü üzerindeki eksantrikliğin etkisini göstermektedir. Bu yükleme senaryosundaki ilk dış merkezlilik, yaklaşık $7,02 \times 10^5$ döngüde shaft göçmesine yol açacaktır. Eksantrikliğin artmasının etkisi yorulma ömrü üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir ve dış merkezlilik 0,23'' olduğunda yaşam döngüsü sayısı $4,1 \times 10^4$ devire düşmektedir.



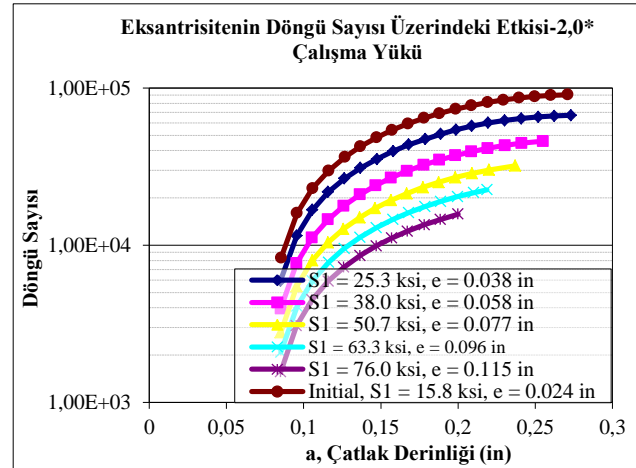
Şekil 22. 1,0 ÇY altında alaşım kancada döngü sayısına eksantrisitenin etkisi

Şekil 23, 1,5*çalışma yükü altında bir alaşım kancanın yorulma ömrü üzerindeki eksantrikliğin etkisini göstermektedir. Bu yükleme senaryosu altındaki ilk dış merkezlilik, yaklaşık $2,08 \times 10^5$ döngüde bir shaft göçmesine yol açacaktır. Dış merkezliğin artması yorulma ömrü üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir ve kullanım ömrü sayısı, dış merkezlilik 0,15'' olduğunda $2,5 \times 10^4$ devire düşmektedir.



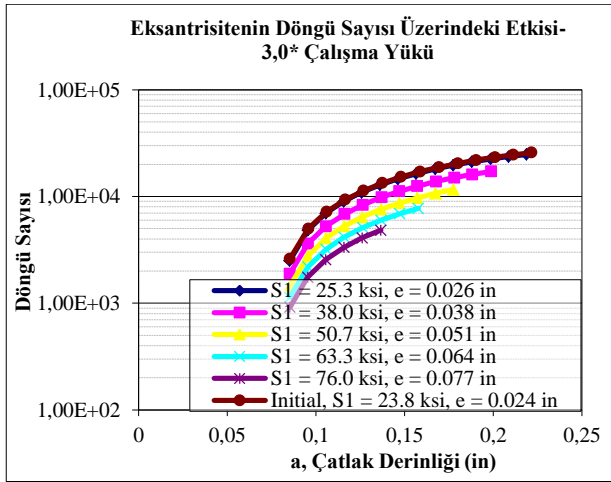
Şekil 23. 1,5 ÇY altında alaşım kancada döngü sayısına eksantrisitenin etkisi

Şekil 24, 2,0*çalışma yükü altında bir alaşım kancanın yorulma ömrü üzerindeki eksantrikliğin etkisini göstermektedir. Bu yükleme senaryosundaki ilk dış merkezlilik, yaklaşık $9,0 \times 10^4$ döngüde shaft göçmesine yol açacaktır. Dış merkezliğin artmasının etkisi yorulma ömrü üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir ve yaşam döngüsü sayısı, dış merkezlilik 0,12'' olduğunda $1,58 \times 10^4$ çevrime düşmektedir.



Şekil 24. 2,0 ÇY altında alaşım kancada döngü sayısına eksantrisitenin etkisi

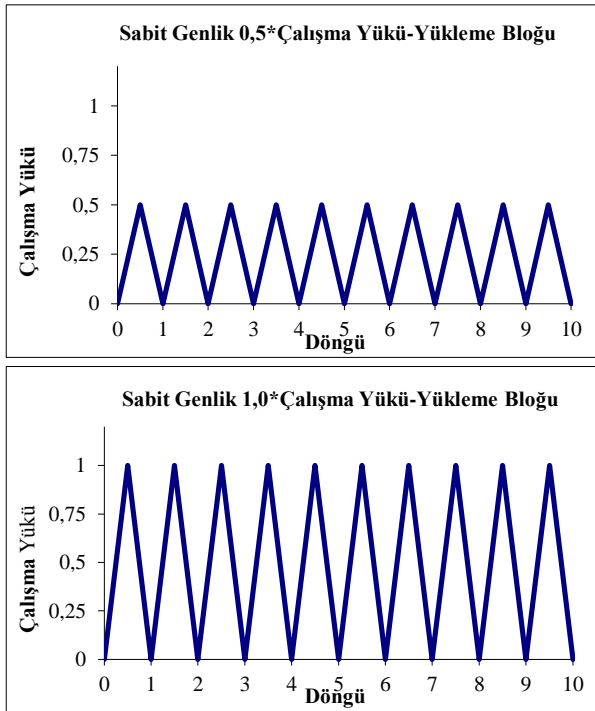
Şekil 25, 3,0*çalışma yükü altında bir alaşım kancanın yorulma ömrü üzerindeki eksantrikliğin etkisini göstermektedir. Bu yükleme senaryosundaki ilk dış merkezlilik, yaklaşık $2,58 \times 10^4$ döngüde bir shaft göçmesine yol açacaktır. Dış merkezliğin artması yorulma ömrü üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir ve yaşam döngüsü sayısı, dış merkezlilik 0,08'' olduğunda 4,800 çevrime düşmektedir. Yukarıdaki şekillere ve bölüm 3.1'deki sonuçlara göre normal yükleme koşullarında shaft yerine kanca gövdesinde göçme meydana gelecektir. Bununla birlikte, normal koşullardan sapmalar bir dış merkezlilik etkisi yaratır. Dış merkezli yükleme, kancanın shaft kısmına etki eden gerilme miktarını artırır. Bu durum, kanca gövdesinde bir göçmeden önce shaftta bir hasara yol açacaktır.



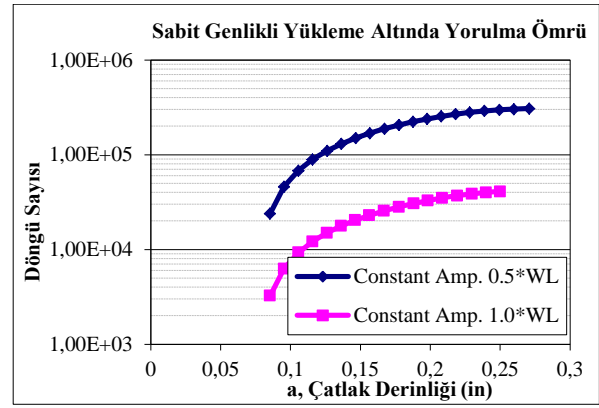
Şekil 25. 3,0 ÇY altında alaşım kancada döngü sayısına eksantrisenin etkisi

3.3. 2 Tonluk Alaşım Kancanın Farklı Genliğe Sahip Yüklemelere Hassasiyeti

Sabit genlikli yükleme, bir eleman için nadir bir durumdur. Bu nedenle, yüklemelerin çoğu değişken büyüklüklere sahiptir. Aşağıdaki şekiller, geciktirme etkilerini ihmal ederek, değişken genlikli yüklemenin alaşım kancanın yorulma ömrü üzerindeki etkisini göstermektedir. Sabit genlikli yükleme çevrimi Şekil 26'da verilmiştir. Bu yükleme koşulları altında ortaya çıkan yorulma ömürleri Şekil 27'de gösterilmektedir. Her iki sabit genlik için bölüm 3.2'deki shaft hesaplamalarından 0,231" uzunluğunda keyfi bir dış merkezlik değeri kullanılmıştır.



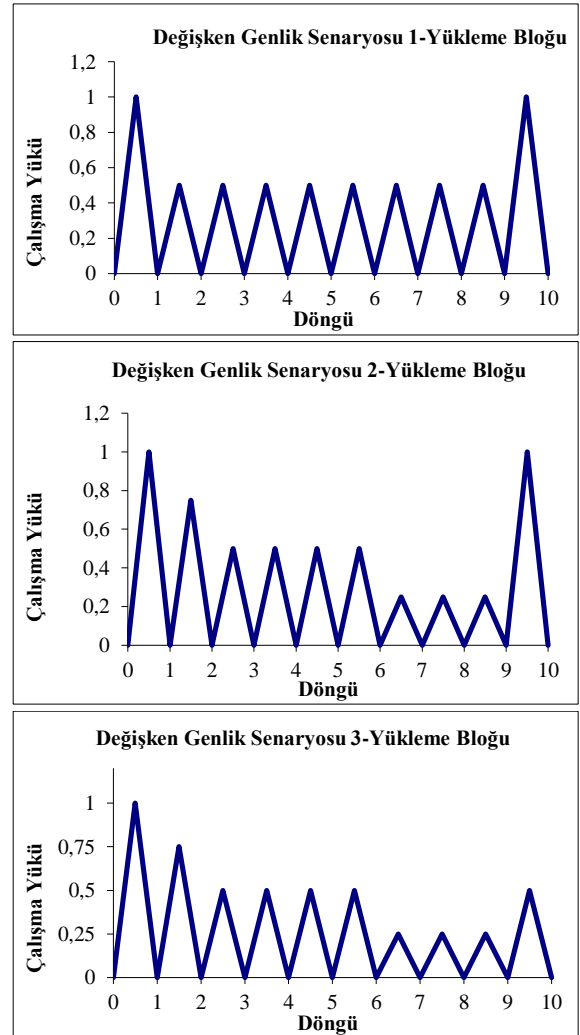
Şekil 26. 0,5 ÇY ve 1,0 ÇY için sabit genlikli yükleme hali



Şekil 27. Sabit genlikli yükleme altında yorulma ömrü

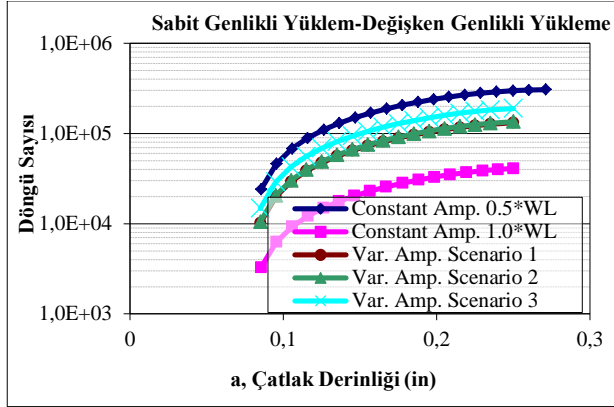
Yük değişiminin etkilerini araştırmak için, uygulanan yük blokları, değişken genlikli yükleme senaryoları oluşturmak üzere değiştirilmiştir. Şekil 28'de üç farklı yükleme senaryosu gösterilmektedir.

Yük değişiminin etkilerini araştırmak için, uygulanan yük blokları, değişken genlikli yükleme senaryoları oluşturmak üzere değiştirilmiştir. Şekil 28'de üç farklı yükleme senaryosu gösterilmektedir.



Şekil 28. Değişken genlik durumu için oluşturulan 3 senaryo yükleme hali

Yük değişiminin yorulma ömrü üzerindeki etkisi Şekil 29'da gösterilmektedir. Şaftın yorulma ömrü, iki sabit genlik yüklem senaryosu arasında değişmektedir.



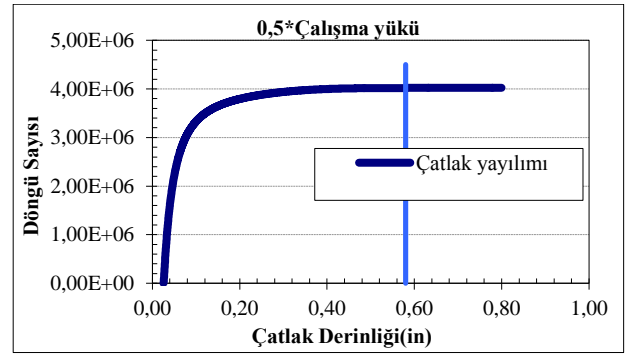
Şekil 29. Sabit ve Değişken genlikli yüklem senaryolarının yorulma ömrüne etkisi

Sabit genlikli yüklem ile değişken genlikli yüklem senaryoları karşılaştırıldığı zaman, gerçek uygulamaya daha yakın olan değişken genlikli yüklem durumu, bazı kısımlarında daha büyük yükler almasına rağmen yorulma ömrü açısından çalışma yükünün 1,0 olduğu sabit genlikli yüklem durumuna göre daha olumlu yönde bir yorulma ömrüne sahip olduğu görülmektedir. Değişken genlikli durumda büyük yük durumları sırasında meydana gelen çatlaklar, yeni çatlak oluşturmak için gerekli olan enerjinin meydana gelmesini geciktirmesi nedeniyle elemanın yorulma ömrünü uzatmaktadır.

3.4. 2 Ton Karbon Kanca Gövdesinde Çatlak İlerleme Analizi

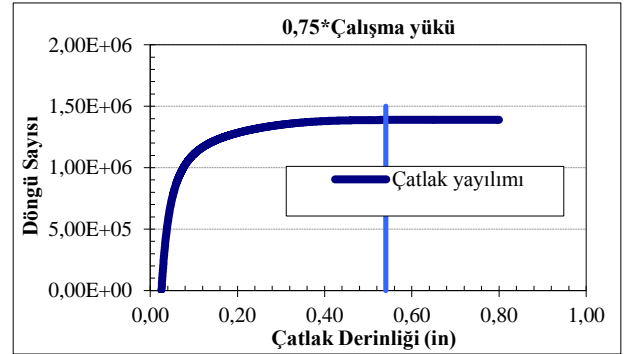
Alaşım kancalarının yorulma ömrünü araştırmak için uygulanan yöntem karbon kancalara da uygulanmıştır. Çatlak bir karbon kanca numunesi, LS-DYNA'da yapılan analizlerde 0,5*çalışma yükünden 3,0*çalışma yüküne kadar yüklere maruz kalır. Çıktı, bölüm 3.1'e benzer şekilde işlenmiştir. Analizlerin sonuçları aşağıdaki tablo ve şekillerde gösterilmektedir. Tablo 9, 0,5*çalışma yükü altındaki karbon kancalar için çatlak derinliğine karşı gerilme yoğunluğu faktörüne yönelik verileri listelemektedir.

Şekil 30, 0,5*çalışma yükü koşulunun altındaki 2 tonluk karbon kancalar için yorulma ömrü döngülerinin sayısını göstermektedir. Başlangıç çatlak derinliği 0,025" (0,635 mm) olan bir kancanın yorulma ömrü, hasara kadar $4,02 \times 10^6$ döngü olarak tahmin edilmektedir. Karbon kancaların kırılma tokluğunun ortalaması -20°C 'de (-4°F) $94,27 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ ($85,7 \text{ ksi}\sqrt{\text{in}}$) olarak bulunmuştur ve 0,5*çalışma yükü altında çatlak derinliği 0,58" (14,8 mm) olduğunda gerilme yoğunluğuna karşılık gelmektedir. Bununla birlikte, oda sıcaklığında ortalama kırılma tokluğu eğrisi, daha büyük bir çatlak derinliğine karşılık gelecektir.



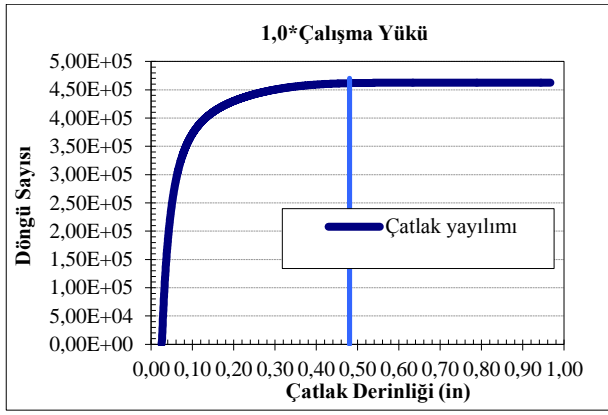
Şekil 30. 0,5*ÇY için karbon kancanın çatlak derinliği-döngü sayısı

Tablo 10, 0,75*çalışma yükü altındaki karbon kancaları için çatlak derinliğine karşı gerilme yoğunluğu faktörü verilerini listelemektedir. Şekil 31, 0,75 * çalışma yükü koşulunun altındaki 2 tonluk karbon kancalar için yorulma ömrü döngülerinin sayısını göstermektedir. İlk çatlak derinliği 0,025" (0,635 mm) olan bir kancanın yorulma ömrü, hasara kadar $1,39 \times 10^6$ döngü olarak tahmin edilmektedir. Karbon kancaların kırılma tokluğunun ortalaması -20°C 'de (-4°F) $94,27 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ ($85,7 \text{ ksi}\sqrt{\text{in}}$) olarak bulunmuştur ve 0,75*çalışma yükü altında çatlak derinliği 0,54" (13,8 mm) olduğunda gerilme yoğunluğuna karşılık gelmektedir. Bununla birlikte, oda sıcaklığında ortalama kırılma tokluğu eğrisi, daha büyük bir çatlak derinliğine karşılık gelecektir.



Şekil 31. 0,75*ÇY için karbon kancanın çatlak derinliği-döngü sayısı

Tablo 11, 1,0*çalışma yükü altındaki karbon kancalar için çatlak derinliğine karşı gerilme yoğunluğu faktörü verilerini listelemektedir. Şekil 32, 1,0*çalışma yükü koşulu altında 2 tonluk karbon kancalar için yorulma ömrü döngülerinin sayısını göstermektedir. İlk çatlak derinliği 0,025" (0,635 mm) olan bir karbon kancanın yorulma ömrü, hasara kadar $4,63 \times 10^5$ döngü olarak tahmin edilmektedir. Karbon kancaların kırılma tokluğunun ortalaması -20°C 'de (-4°F) $94,27 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ ($85,7 \text{ ksi}\sqrt{\text{in}}$) olarak bulunmuştur ve çatlak derinliği 0,48" (12,2 mm) olduğunda gerilme yoğunluğuna karşılık gelmektedir. Bununla birlikte, oda sıcaklığında ortalama kırılma tokluğu eğrisi, daha büyük bir çatlak derinliğine karşılık gelecektir.



Şekil 32. 1,0*ÇY için karbon kancanın çatlak derinliği-döngü sayısı

Tablo 12, 1,5*çalışma yükü altındaki karbon kancalar için çatlak derinliğine karşı gerilme yoğunluğu faktörü verilerini listelemektedir. Şekil 33, 1,5*çalışma yükü koşulunun altındaki 2 tonluk karbon kancalar için yorulma ömrü döngülerinin sayısını göstermektedir. İlk çatlak derinliği 0,025” (0,635 mm) olan bir karbon kancanın yorulma ömrü, hasara kadar $1,07 \times 10^5$ döngü olarak tahmin edilmektedir. Aşamalı kancaların kırılma tokluğunun ortalaması -20°C 'de (-4°F) $94,27 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ ($85,7 \text{ ksi}\sqrt{\text{in}}$) olarak bulunmuştur ve 1,5*çalışma yükü altında çatlak derinliği 0,4” (10,1 mm) olduğunda gerilme yoğunluğuna karşılık gelir. Bununla birlikte, oda sıcaklığında ortalama kırılma tokluğu eğrisi, daha büyük bir çatlak derinliğine karşılık gelecektir.

Tablo 9. 0,5*çalışma yükü için gerilme yoğunluk faktörü ve a değerleri

| 0,5 ÇY | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| a (m) | 0,0001 | 0,0006 | 0,0013 | 0,0025 | 0,0038 | 0,0051 | 0,0064 | 0,0076 | 0,0089 | 0,0102 | 0,0127 | 0,0152 | 0,0178 |
| K_1 ($\text{MPa}\sqrt{\text{m}}^{0,5}$) | 0,16 | 14,91 | 19,91 | 26,51 | 30,56 | 36,84 | 40,66 | 46,91 | 55,86 | 60,76 | 88,17 | 136,66 | 484,55 |

Tablo 10. 0,75*çalışma yükü için gerilme yoğunluk faktörü ve a değerleri

| 0,75 ÇY | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| a (m) | 0,0001 | 0,0006 | 0,0013 | 0,0025 | 0,0038 | 0,0051 | 0,0064 | 0,0076 | 0,0089 | 0,0102 | 0,0127 | 0,0152 | 0,0178 |
| K_1 ($\text{MPa}\sqrt{\text{m}}^{0,5}$) | 0,21 | 20,11 | 26,76 | 36,02 | 41,65 | 49,31 | 55,26 | 63,75 | 75,96 | 80,72 | 116,46 | 178,84 | 610,91 |

Tablo 11. 1,0*çalışma yükü için gerilme yoğunluk faktörü ve a değerleri

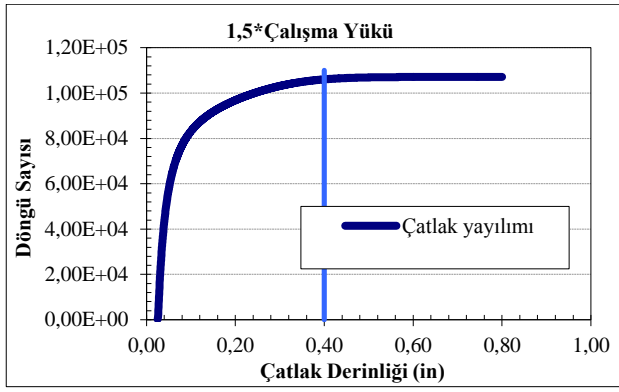
| 1,0 ÇY | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| a (m) | 0,0001 | 0,0006 | 0,0013 | 0,0025 | 0,0038 | 0,0051 | 0,0064 | 0,0076 | 0,0089 | 0,0102 | 0,0127 | 0,0152 | 0,0178 |
| K_1 ($\text{MPa}\sqrt{\text{m}}^{0,5}$) | 0,29 | 28,08 | 37,41 | 49,51 | 57,49 | 68,78 | 75,51 | 87,17 | 103,95 | 110,01 | 158,00 | 250,77 | 806,18 |

Tablo 12. 1,5*çalışma yükü için gerilme yoğunluk faktörü ve a değerleri

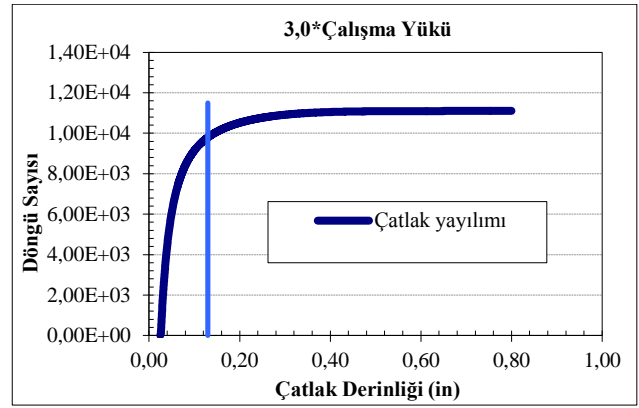
| 1,5 ÇY | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| a (m) | 0,0001 | 0,0006 | 0,0013 | 0,0025 | 0,0038 | 0,0051 | 0,0064 | 0,0076 | 0,0089 | 0,0102 | 0,0127 | 0,0152 | 0,0178 |
| K_1 ($\text{MPa}\sqrt{\text{m}}^{0,5}$) | 0,42 | 40,76 | 54,15 | 71,53 | 83,01 | 99,27 | 108,66 | 126,11 | 149,26 | 157,26 | 225,10 | 359,33 | 1070,00 |

Tablo 13, 2,0*çalışma yükü altındaki karbon kancalar için çatlak derinliğine karşı gerilme yoğunluğu faktörü verilerini listelemektedir. Şekil 34, 2,0*çalışma yükü koşulunun altındaki 2 tonluk karbon kancalar için yorulma ömrü döngülerinin sayısını göstermektedir. İlk çatlak derinliği 0,025” (0,635 mm) olan bir kancanın yorulma ömrü, hasara kadar $4,33 \times 10^4$ döngü olarak tahmin edilmektedir. Karbon kancaların kırılma tokluğunun ortalaması -20°C 'de (-4°F) $94,27 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ ($85,7 \text{ ksi}\sqrt{\text{in}}$) olarak bulunmuştur ve 2,0*çalışma yükü altında çatlak derinliği 0,26” (6,6 mm) olduğunda gerilme yoğunluğuna karşılık gelir. Bununla birlikte, oda sıcaklığında ortalama kırılma tokluğu eğrisi, daha büyük bir çatlak derinliğine karşılık gelecektir.

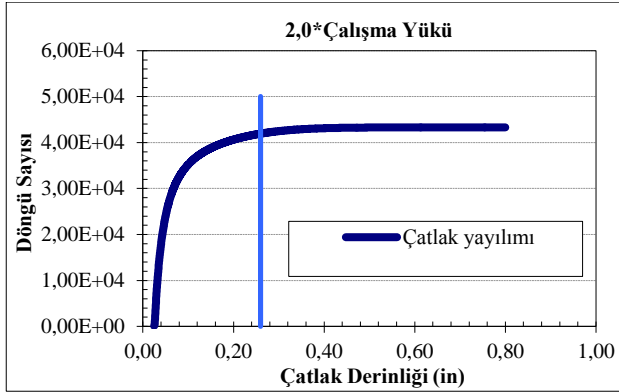
Tablo 14, 3,0*çalışma yükü altındaki karbon kancaları için çatlak derinliğine karşı gerilme yoğunluğu faktörü verilerini listelemektedir. Şekil 35, 3,0*çalışma yükü koşulunda 2 tonluk karbon kancalar için yorulma ömrü döngülerinin sayısını göstermektedir. İlk çatlak derinliği 0,025” (0,635 mm) olan bir karbon kancanın yorulma ömrü, hasara kadar $1,11 \times 10^4$ döngü olarak tahmin edilmektedir. Karbon kancalar için kırılma tokluğunun ortalaması -20°C 'de (-4°F) $94,27 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ ($85,7 \text{ ksi}\sqrt{\text{in}}$) olarak bulunmuştur ve 3,0*çalışma yükü altında çatlak derinliği 0,13” (3,3 mm) olduğunda gerilme yoğunluğuna karşılık gelir. Bununla birlikte, oda sıcaklığında ortalama kırılma tokluğu eğrisi, daha büyük bir çatlak derinliğine karşılık gelecektir.



Şekil 33. 1,5*ÇY için karbon kancanın çatlak derinliği-döngü sayısı



Şekil 35. 3,0*ÇY için karbon kancanın çatlak derinliği-döngü sayısı



Şekil 34. 2,0*ÇY için karbon kancanın çatlak derinliği-döngü sayısı

Tablo 15, çatlak büyüme analizlerinin (Crack Growth Analyses) sonuçlarının, alaşım ve karbon kancaları için oluşturulan S-N eğrilerinden elde edilen sonuçlarla bir araya getirilmiş halidir. 0,5*çalışma yükünün altındaki alaşım kancaları için çatlak büyüme analizlerinin sonucu, S-N eğrisi değerinden %1 daha yüksektir. Alaşım kancaları için diğer sonuçlar, derlenen alaşım S-N eğrisinin ortalamasının altına düşmektedir. Karbon kancalarına gelince, 0,5*çalışma yükü, 0,75*çalışma yükü ve 1,0*çalışma yükü için çatlak büyüme analizlerinin sonuçları, derlenmiş karbon S-N eğrisinden okunan ortalama standart sapma (stdv) ve ortalama 2*stdv değerleri arasında yer aldığı görülmektedir. Yükleme koşullarının geri kalanı için sonuçların ortalama 2*stdv eğrilerinin altında olduğu görülmektedir.

Tablo 13. 2,0*çalışma yükü için gerilme yoğunluk faktörü ve a değerleri

| 2,0 ÇY | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| a (m) | 0,0001 | 0,0006 | 0,0013 | 0,0025 | 0,0038 | 0,0051 | 0,0064 | 0,0076 | 0,0089 | 0,0102 | 0,0127 | 0,0152 | 0,0178 |
| K_I (MPa*m ^{0,5}) | 0,54 | 53,02 | 70,39 | 92,81 | 108,40 | 128,83 | 140,63 | 163,64 | 192,45 | 203,25 | 300,06 | 450,13 | 1350,00 |

Tablo 14. 3,0*çalışma yükü için gerilme yoğunluk faktörü ve a değerleri

| 3,0 ÇY | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| a (m) | 0,0001 | 0,0006 | 0,0013 | 0,0025 | 0,0038 | 0,0051 | 0,0064 | 0,0076 | 0,0089 | 0,0102 | 0,0127 | 0,0152 | 0,0178 |
| K_I (MPa*m ^{0,5}) | 0,78 | 76,53 | 101,56 | 133,86 | 158,14 | 185,80 | 188,84 | 241,78 | 280,86 | 298,31 | 420,59 | 628,02 | 1820,91 |

Tablo 15. Karbon ve alaşım kanca sonuçlarına göre yorulma ömürleri sonuçları

| Yükleme | Alaşım S-N Eğrisi | | | | Çatlak Gelişimi Analizi |
|---------|-------------------|-----------|-------------|-------------|-------------------------|
| | Ortalama | Ort.-StSp | Ort.-2*StSp | Ort.-3*StSp | |
| 0,5*ÇY | 1,10E+06 | 7,50E+05 | 5,00E+05 | 3,40E+05 | 1,11E+06 |
| 0,75*ÇY | 3,40E+05 | 2,30E+05 | 1,80E+05 | 1,00E+05 | 1,16E+05 |
| 1,0*ÇY | 1,50E+05 | 9,00E+04 | 6,20E+04 | 4,30E+04 | 5,23E+04 |
| 1,5*ÇY | 6,00E+04 | 3,80E+04 | 2,70E+04 | 1,70E+04 | 1,67E+04 |
| 2,0*ÇY | 1,70E+04 | 1,30E+04 | 9,00E+03 | 5,40E+03 | 5,11E+03 |
| 3,0*ÇY | 5,10E+03 | 3,50E+03 | 2,50E+03 | 1,70E+03 | 4,69E+03 |
| Yükleme | Karbon S-N Eğrisi | | | | Çatlak Gelişimi Analizi |
| | Ortalama | Ort.-StSp | Ort.-2*StSp | Ort.-3*StSp | |

| | | | | | |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 0,5*ÇY | 1,80E+07 | 7,20E+06 | 3,70E+06 | 1,90E+06 | 4,02E+06 |
| 0,75*ÇY | 4,70E+06 | 2,40E+06 | 1,30E+06 | 6,00E+05 | 1,39E+06 |
| 1,0*ÇY | 1,80E+06 | 9,00E+05 | 4,50E+05 | 2,20E+05 | 4,63E+05 |
| 1,5*ÇY | 5,00E+05 | 3,10E+05 | 1,80E+05 | 1,20E+05 | 1,07E+05 |
| 2,0*ÇY | 2,20E+05 | 1,30E+05 | 5,60E+04 | 2,80E+04 | 4,33E+04 |
| 3,0*ÇY | 6,50E+04 | 3,30E+04 | 1,80E+04 | 8,50E+03 | 1,11E+04 |

4. SONUÇ

Bu çalışmada, endüstride birçok alanda farklı malzeme özelliklerine sahip 2 ton taşıma kapasiteli karbon ve alaşım kancaların kırılma mekaniği yaklaşımı ile çatlak ilerleme analizleri yapılmış ve yorulma ömürleri belirlenmiştir. Karbon ve alaşım kancalarının çatlak büyüme oranını hesaplamak için kırılma mekaniği yaklaşımı kullanılmıştır. Karbon ve alaşım kanca gövdelerinin sonlu elemanlar modellemesi yoluyla çatlak büyüme analizleri gerçekleştirilmiştir. Karbon ve alaşım kancaların farklı çatlak kalınlıkları için gerilme yoğunluk faktörleri elde edilmiştir. Karbon ve alaşım kancalar için farklı çalışma yüklerinde çatlak derinliği-döngü sayıları eğrileri çıkarılmış ve ayrıca alaşım kancalar için, uygulanan yükte meydana gelen eksantrik yükleme durumu için yorulma ömrü incelenmiştir. Alaşım kancalarda sabit ve değişken genlikli yükleme senaryoları için yorulma ömürleri incelenmiştir. Bu çalışma neticesinde elde edilen önemli sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- Karbon ve alaşım kancalara uygulanan çalışma yükü arttıkça her iki kanca tipi için hasara erişinceye kadar oluşan döngü sayısı azalmaktadır. Döngü sayısındaki azalma, çalışma yükünün artması ile yorulma ömrünün azaldığını göstermektedir.
- Alaşım kancalarda, eksantrisite etkisinin kanca üzerinde göçmenin meydana geldiği bölgeyi değiştirdiği ortaya çıkmıştır. Normal bir yükleme durumunda kancalarda önce gövde bölgesinde göçme meydana gelirken, eksantrik yük uygulandığı durumda, kancanın şaft bölgesinde gerilme yoğunluğu artması nedeniyle gövde bölgesinden önce bir göçme meydana geldiği görülmüştür. Analiz, normal koşullar altında kanca gövdesinin şaft kısımdan önce başarısız olacağını göstermiştir. Bununla birlikte, uygulanan yükün şaft eksenine göre eksantrikliği yükleme sırasında artarsa, kanca gövdesinde bir göçme oluşmadan önce şaft göçmeleri gözlemlenecektir sonucu elde edilmiştir.
- Alaşım kancalar üzerinde yapılan değişken genlikli yükleme senaryolarının yorulma ömrüne olumlu bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Sabit genlikli yükleme ile değişken genlikli yükleme senaryoları karşılaştırıldığı zaman, gerçek uygulamaya daha yakın olan değişken genlikli yükleme durumu, bazı kısımlarında daha büyük yükler almasına rağmen yorulma ömrü açısından çalışma yükünün 1,0 olduğu sabit genlikli yükleme durumuna göre daha olumlu yönde bir yorulma ömrüne sahip olduğu gözlenmiştir.

- Çalışma içerisinde alaşım ve karbon kancalar için, gerilme yoğunluk faktörleri de kullanılan numuneler için belirlenmiştir. Alaşım ve karbon kancalar için belirtilen çatlak derinlikleri için hesaplanan gerilme yoğunluğu faktörleri çalışma içerisinde tablolar halinde verilmiştir. Sonuçlardan, çatlak derinliği arttıkça, çatlak ucundaki gerilme yoğunluğu faktörünün arttığı çıkarılmaktadır.
- Çalışmada kullanılan kırılma mekaniği ile S-N eğrilerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında genel olarak, yorulma ömrü için kırılma mekaniği analizlerinden elde edilen sonuçlar, 0,5*çalışma yükü altındaki alaşım kancaları için bir istisna dışında, S-N eğrilerinden okunan ömür değerlerinden daha düşük çıkmaktadır. Bu nedenle, kırılma mekaniği yaklaşımı, S-N eğrilerinden daha konservatif ömür tahmini sağlamaktadır.
- Bu çalışmadan elde edilen sonuçların, endüstride ve bu alandaki araştırmacılar için önemli sonuçlar içermesi nedeniyle yazarlar tarafından gelecekteki çalışmalara öncü ve yardımcı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Das S, Mukhopadhyay G, and Bhattacharyya S. Failure analysis of a 40 ton crane hook at a Hot Strip Mill. MATEC Web Conf. 2018; 1-10.
- [2] ASM International. Fatigue fracture of a 1020 steel crane hook-Asm failure analysis case histories: Material handling equipment, 2019.
- [3] Lu S, Su J, Liao S, Su J, Wang B, Yu L, Jiang Y, Wen S. Finite element analysis on Fatigue failure prediction of a rear axle housing of Vehicle based on Cosmos. Applied Mechanics and Materials. 2012;121-126;843-848.
- [4] Sundriyal R. Stress analysis of crane hook with different cross sections using ANSYS. Int. J. Sci. Res. 2017;6(8);1363-1368.
- [5] Kökçü İ. Kule vinci tasarımı ve analizi. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 2015.
- [6] Nazlıoğlu A. İnşaat sektöründe kullanılan kule vinçler ile yapılan çalışmalarda karşılaşılan risklerin tespiti ve korunma yolları,” Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 2014.
- [7] Gerdemeli İ. Yük tutma elemanları. Transport Tekniğinde İleri Konular, 1-25.
- [8] Sonsino C.M. Course of SN-curves especially in the high-cycle fatigue regime with regard to component design and safety. Int. J. Fatigue. 2007;29;2246-2258.
- [9] Qin YX, Xie WT, Ren HP, Li X. Crane hook stress analysis upon boundary interpolated reproducing

- kernel particle method. *Eng. Anal. Bound. Elem.* 2016;63;74-81.
- [10] Torres Y, Gallardo JM, Domínguez J, Jiménez FJE. Brittle fracture of a crane hook. *Eng. Fail. Anal.* 2010;17(1);38-47.
- [11] Vinodh S, Ravikumar R. Application of probabilistic finite element analysis for crane hook design. *J. Eng. Des. Technol.* 2012;10(2);25-275.
- [12] Bergaley A, Purohit A. Structural analysis of crane hook using finite element method. *Int. J. Sci. Mod. Eng.* 2013;1(10);3-7.
- [13] Desai N, Zeytinoglu N. Design and optimization of the geometric properties of a crane hook. *World J. Eng. Technol.* 2016;4;391-397.
- [14] Sahu S, Dewangan R, Patnaik M, Yadav N. Study of crane hook having trapezoidal section by finite element method & design of experiments. *Int. J. Mod. Eng. Res.* 2012;2(4);2779-2781.
- [15] Sari A, Nemutlu ÖF. Vinç kancalarının farklı malzeme özellikleri ve yükleme kapasitelerine göre yorulma dayanımlarının incelenmesi. 2020;9(2);190-200.
- [16] Kishore K, Gujre VS, Choudhary S, Gujre AS, Vishwakarma M, Thirumurgan T, Choudhury M, Adhikary M, Kumar A. Failure analysis of a 24 T crane hook using multi-disciplinary approach. *Eng. Fail. Anal.* 2020;115.
- [17] Nishioka T, Lee H-Y, Won Y-J, Fujimoto T. Strength Evaluation of Marine Crane Hooks by Static-load and Fatigue Experiments. *Journal of the JIME.* 2010;45; 91-96.
- [18] Uddanwadiker R. Stress Analysis of Crane Hook and Validation by Photo-Elasticity. *Engineering.* 2011;3;935-941.
- [19] Singh A, Rohilla V. Optimization and Fatigue Analysis of A Crane Hook Using Finite Element Method. *International Journal of Recent advances in Mechanical Engineering (IJMECH).* 2015;4(4);31-43.
- [20] Kim T-G, Lee S-B, Lee H-C. A Case Study on Engineering Failure Analysis of Link Chain. *Safety and Health at Work.* 2010;1:43-50.
- [21] Dağ S, Fıçıcı F, Geniş K. İş makinelerinde kırılma ve yorulma problemlerinin sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmesi. 2007;58(571);3-5.
- [22] Bhaduri A. *Fatigue.* Springer Series in Materials Science. 2018.
- [23] Bannantine JA, Comer JJ, Handrock JL. *Fundamentals of metal fatigue analysis.* Prentice Hall. 1990.
- [24] Beden SM, Abdullah S, Ariffin AK. Review of fatigue crack propagation models for metallic components. *European Journal of Scientific Research.* 2009;28(3);364-397.
- [25] Paris PC, Gomez MP, Anderson WE. A rational analytic theory of fatigue. *The Trend in Engineering.* 1961;13;9-14.
- [26] Irwin GR. Analysis of stresses and strain near the end of a crack traversing a plate. *J. Appl. Mech.* 1967;24;361-364.
- [27] Anderson TL. *Fracture mechanics fundamentals and applications.* Taylor and Francis. 2005.



Metoksi Sübstitüe Kalkon İçeren Metalliftalosiyenin Bileşiklerinin Sentezi ve Karakterizasyonu

Furkan Özen^{1*}

Akdeniz Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, Fen Bilgisi Eğitimi Ana Bilim Dalı, 07058, Antalya, Türkiye
 Furkan Özen ORCID No:0000-0003-1178-1167

*Sorumlu yazar: furkanozen@akdeniz.edu.tr

(Alınış: 08.02.2021, Kabul: 05.03.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Anahtar Kelimeler
 Ftalosiyenin,
 metalliftalosiyenin,
 kalkon

Öz: Bu çalışmada, öncelikle 4-hidroksifenil-3-(4-metoksifenil) kalkon (**1**) bileşiği sentezlendi. Daha sonra **1** bileşiği 4-nitroftalonitrille reaksiyona sokularak 4-(4-(3-(4-metoksifenil)akrilol)fenoksi)ftalonitril (**2**) bileşiği sentezlendi. **2** bileşiğinden yola çıkarak DBU katalizörlüğünde metalli ftalosiyenin bileşikleri elde edildi. Elde edilen yeni metalli ftalosiyenin bileşikleri DCM, THF, DMF ve DMSO gibi yaygın olarak kullanılan çözücülerde kolaylıkla çözünebilmektedir. Ftalosiyenin bileşiklerinin genellikle çözünürlüğü az olduğu için çok az çözücüde çözünmekte bir kısmı ise hiçbir çözücüde dahi çözünmemektedir. Sentezlenmiş olan bu metalli ftalosiyenin bileşiklerinin yukarıda belirtilen yaygın çözücülerde çözünmesi geniş kullanım ve uygulama alanı sağlayabilir. Sentez sonucu elde edilen bileşiklerin karakterizasyonu FT-IR, ¹H-NMR, ¹³C-NMR, UV-Vis ve MALDI-TOF gibi spektroskopik yöntemler kullanılarak aydınlatılmıştır.

217

Synthesis and Characterization of Metallaphthalocyanine Compounds Containing Methoxy Substituted Chalcone

Keywords
 Phthalocyanin,
 metallophthalocyanine,
 chalcone.

Abstract: This was firstly synthesized compound 4-hydroxyphenyl-3-(4-methoxyphenyl)chalcone (**1**). Then, compound **1** was reacted with 4-nitrophthalonitrile and 4-(4-(3-(4-methoxyphenyl) acryloyl)phenoxy)phthalonitrile (**2**) compound was synthesized. DBU catalyzed metallic phthalocyanine compounds were obtained starting from the **2** compound. The new metal phthalocyanine compounds obtained can be dissolved in commonly used solvents such as DMSO, DMF, DCM and THF. Since phthalocyanine compounds are generally very poorly soluble, they dissolve in very little solvent and some of them do not dissolve even in any solvent. The dissolution of these synthesized phthalocyanine compounds in the above-mentioned common solvents can provide wide use and application. The characterization of compounds obtained as a result of the synthesis was illuminated by using spectroscopic methods such as FT-IR, ¹H-NMR, ¹³C-NMR, UV-Vis and MALDI-TOF.

1. GİRİŞ

Ftalosiyaninler kimyasal ve termal kararlılığa sahip moleküller olup, makrosiklik halkada 18- π elektronu bulunan ve 400-700 nm arasında şiddetli absorpsiyon veren bileşiklerdir. Ftalosiyanin halkasına çeşitli sübstitüenler ve kordinasyon boşluğuna farklı metallerin katılmasıyla değişik özellikler kazandırılabilir [1]. Sahip olukları bu özelliklerinden dolayı teknolojik ürün sınıfına girmektedirler. Ftalosiyanin bileşikleri gaz

sensör cihazlarda algılayıcı olarak [2], pigmentler ve boyalar [3], kimyasal sensörler [4], fotodinamik terapi duyarlılaştırıcılar [5], fotovoltaik malzemeler [6], elektrokromik malzemeler [7], elektronik cihaz bileşenleri [8], elektrokimyasal uygulamalar [9], enzim inhibisyonu [10,11], fotodiyot [12], fotokapasitör [13] gibi olarak kullanım alanları bulunmaktadır.

Kalkonlar flavonoid ailesine üye olup hem doğal hemde sentetik yolla elde edilebilen bileşikleridir. Endüstri alanında farklı uygulama alanlarına sahip olan

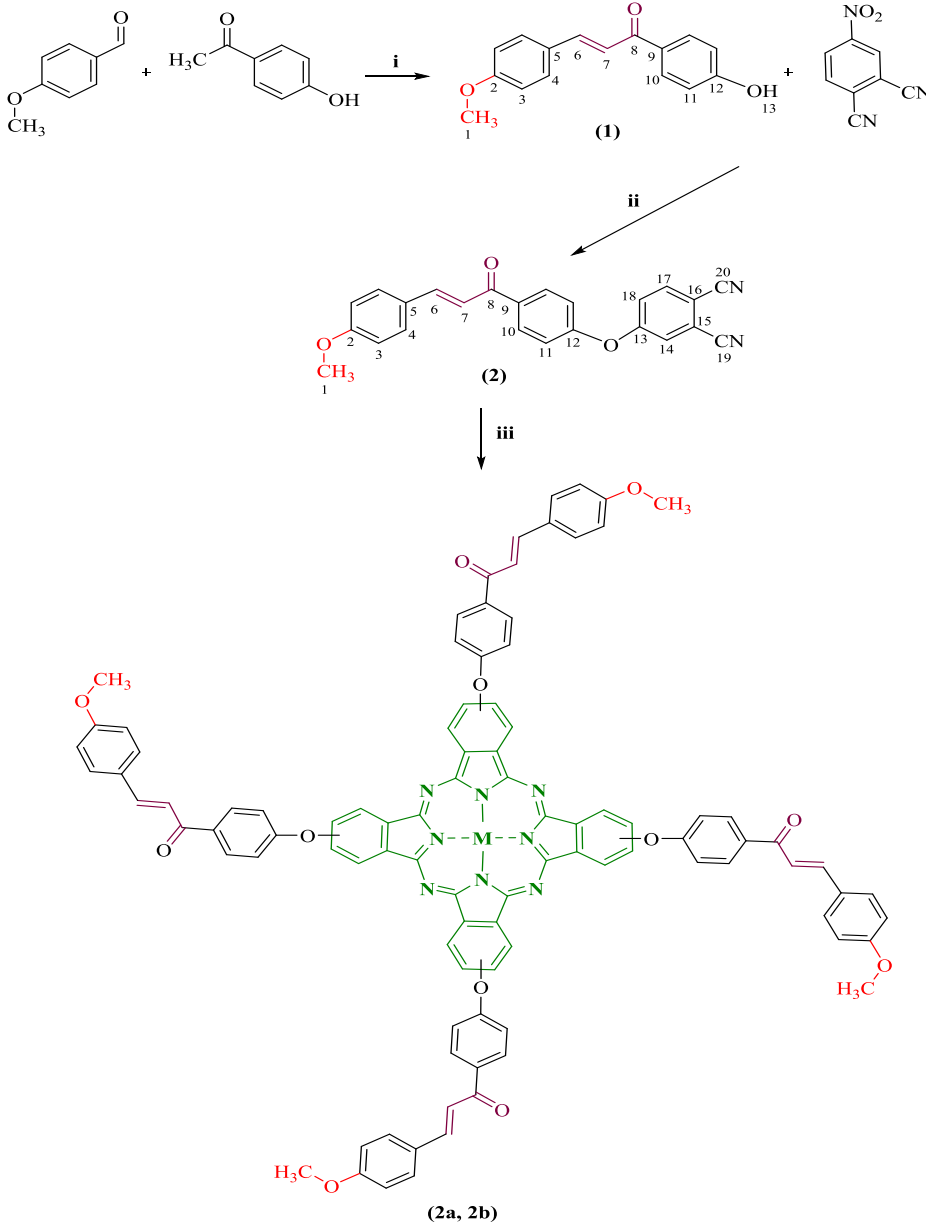
kalkonların özelliklerinin belirlenmesi ve uygulama alanlarının genişletilmesi sebebiyle güncel ve önemli bir konudur. Kalkonların uygulama alanlarından bazıları şunlardır; sitotoksik özellikler [14,15] elektrokromik özellikler [16], floresans özellikleri [17], termal ve dielektrik özellikler [18, 20] antimikrobal aktivite [21], anti-HIV aktivite [22,23], antibakterial aktivite [24], anti-inflammatory [25,26], anti-kanser aktiviteleri [27,28], DNA-bağlanma [29] ve enzim inhibisyonu [30,31] gibi uygulama alanları bulunmaktadır.

Literatür çalışmalarından da görüldüğü gibi ftalosiyanın bileşiklerinin birçok kullanım alanı bulunmakta. Fakat ftalosiyanın bileşiklerinin de javantanjlarından biri çözünürlük problemi bulunmaktadır. Bu çalışmanın en yenilikçi yönü kullanılan ftalosiyanın bileşiklerinin yaygın çözücülerde çözünebilir metalli ftalosiyanın bileşiklerini sentezlemeye çalışarak daha geniş kullanım ve uygulama alanı sağlayan bileşikler elde edilmeye çalışılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

4-hidroksiasetofenon, 4-metoksibenzaldehit, 4-nitroftalonitril, sodyumhidroksit (NaOH), potasyumkarbonat (K_2CO_3), 1,8-diazabisiklo[5.4.0]-undek-7-en (DBU), $Zn(OAc)_2 \cdot 2H_2O$ ve $Co(OAc)_2 \cdot 4H_2O$ kimyasallar satın alındı. Kullanılan çözücüler saflaştırma yöntemleri kullanılarak saflaştırıldı.

FT-IR spektrumları için ANTI UNICOM-Mattson 1000 FTIR spektroskopisi kullanıldı. Ultraviyole-visible spektroskopisi: UNICOM UV-2 spektroskopisi kullanıldı. NMR spektrumları 300 MHz Bruker NMR spektrometresi ile ölçülmüştür. NMR analizi için 500 μL dötoryum çözücülerinde (d-kloroform) yaklaşık 20 mg numune çözüldürüldü.



Şema 1: 1, 2, 2a ve 2b bileşiklerinin genel sentez yöntemi. (i) NaOH %30, EtOH, oda sıcaklığı, 24 saat; (ii) K_2CO_3 , DMF, 24 saat, 50 °C; (iii) 2a $Zn(OAc)_2 \cdot 2H_2O$, 2b $Co(OAc)_2 \cdot 4H_2O$, DMF, 120 °C, 24 saat

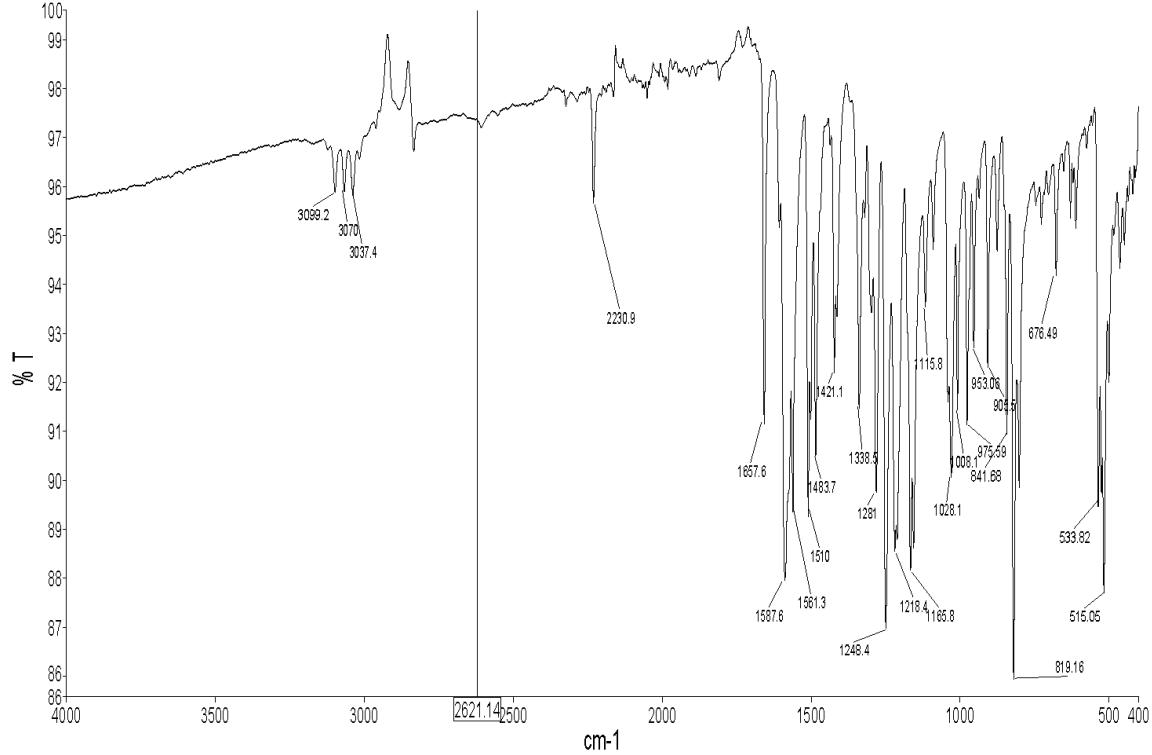
2.1. 4-hidroksifenil-3-(4-metoksifenil)kalkon'un (1) Sentezi ve Karakterizasyonu

Kalkon bileşiği (1) literatüre göre sentezlendi [32,33]. 100 mL'lik bir balonda 1 g (7.34 mmol) 4-hidroksi asetofenon 20 mL etanolde çözüldü ve üzerine 3 mL %30 NaOH çözeltisi ilave edip 30 dk. oda sıcaklığında karıştırıldı. Daha sonra etanolde çözünen 1 g (7.34 mmol) 4-hidroksibenzaldehit buz altında damla damla reaksiyon ortamına ilave edildi. 24 saat boyunca oda sıcaklığında karıştırıldı. Reaksiyon durdurulduktan sonra buzlu suda son pH 6 olacak şekilde çöktürüldü. Bol suyla yıkanıp kurutuldu. 1.1 g sarı katı madde elde edildi. Verim: % 59. Molekül ağırlığı 254.29 g/mol. FT-IR max/cm⁻¹: 3391 cm⁻¹ (OH); 3047 cm⁻¹ (Ar-H); 2975 cm⁻¹ (alifatik C-H); 1643 cm⁻¹ (C=O); 1599, 1592 cm⁻¹ (Ar-C=C); 1035 cm⁻¹ (C-O-C). ¹H NMR (300 MHz, CD₃OH): δ ppm 7.88 (1H, d, H⁶), 7.84 (2H, d, H¹⁰), 7.54 (4H, d, H⁴), 7.39 (1H, d, H⁷), 6.87 (2H, d, H³), 6.80 (2H, s, H¹¹), 3.76 (3H, s, H¹) ve 3.67 (1H, s, H¹³). ¹³C-NMR (300 MHz, CD₃OH): 189.89 C⁸, 162.00 C², 161.70 C¹², 144.22 C⁶, 131.23 C¹⁰, 130.32 C⁴, 130.18 C⁹, 127.78 C⁵, 119.67 C⁷, 115.54 C¹¹, 114.52 C³ ve 55.53 C¹.

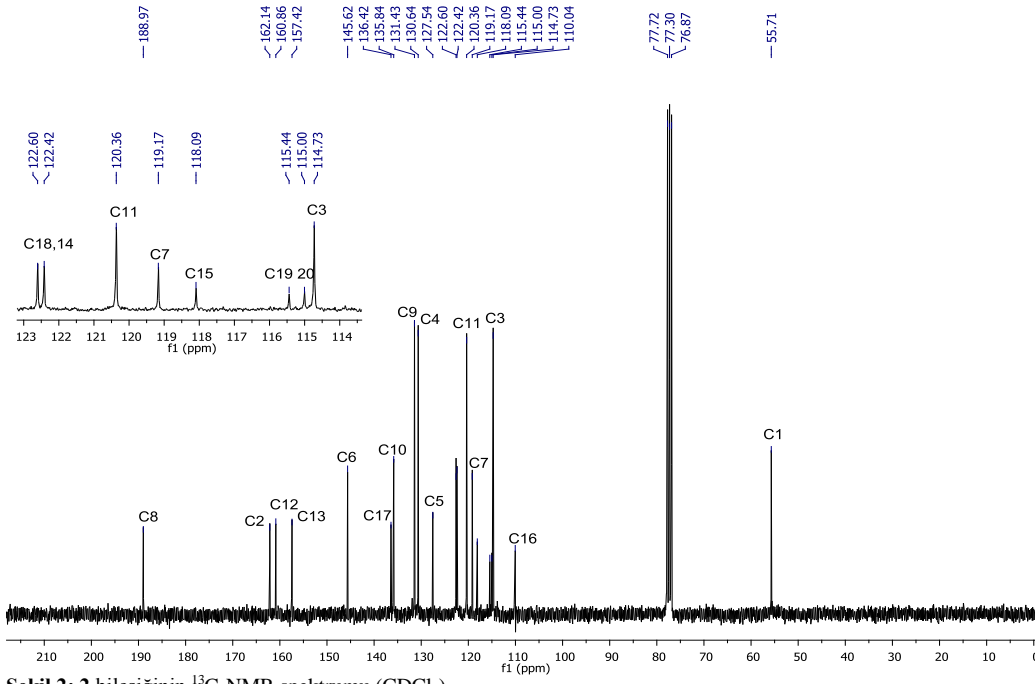
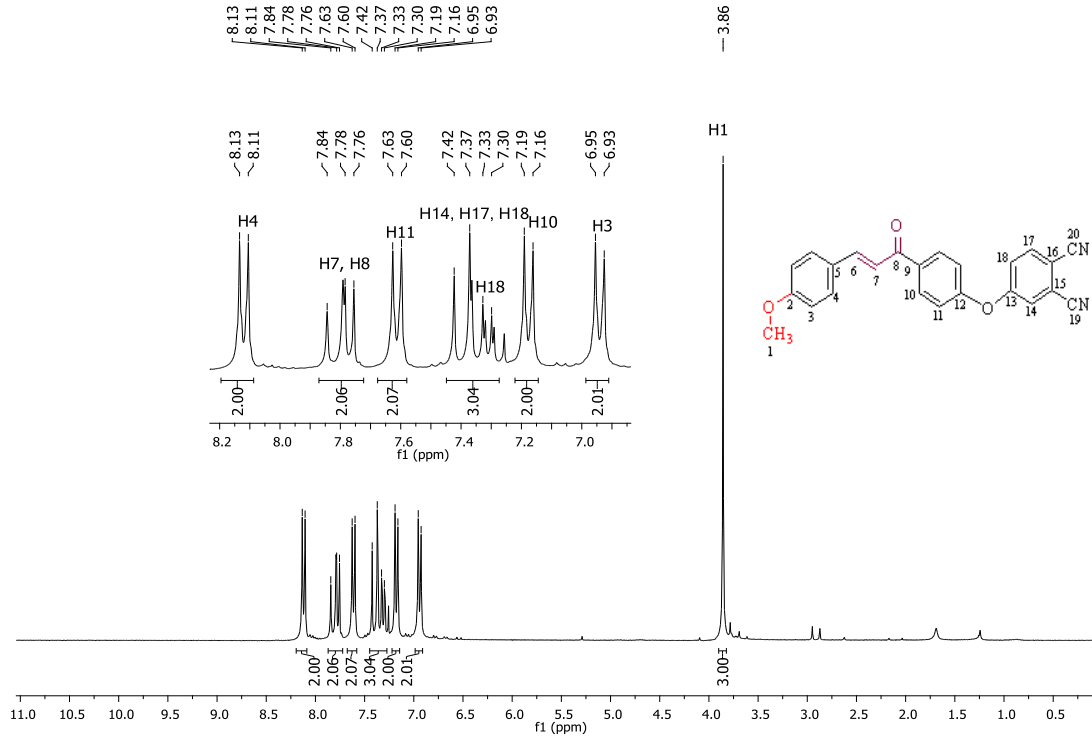
2.2. 4-(4-(3-(4-metoksifenil)akriloil)fenoksi)ftalonitril (2)'in Sentezi ve Karakterizasyonu

50 mL'lik bir balonda 0.5 g (2.88 mmol) 4-nitroftalonitril 15 mL DMF'de çözüldü üzerine 0.73 g

(2.88 mmol) 4-hidroksifenil-3-(4-metoksifenil) kalkon (1) ilave edildikten sonra 0.4 g (2.89 mmol) K₂CO₃ azar azar 1 saat zaman periyodunda ilave edildikten sonra reaksiyona azot atmosferinde ve 50 °C'de 24 saat devam edildi. Reaksiyon sonunda çözelti buzlu suda çöktürüldü. Bol suyla yıkandıktan sonra kurutuldu. 0.9 g açık sarı madde elde edildi. Verim% 82. Molekül ağırlığı: 380.40 g/mol. Erime noktası: 176 °C. FT-IR max/cm⁻¹: 3099 cm⁻¹ (Ar-H); 3037 cm⁻¹ (alifatik C-H); 2230 cm⁻¹ (C≡N); 1658 cm⁻¹ (C=O); 1588, 1561 cm⁻¹ (C=C); 1028 cm⁻¹ (C-O-C). FT-IR spektrumunda OH grubuna ait pikin 3391 cm⁻¹ de gözlenmesi ve CN ait pikin 2230 cm⁻¹ de gözlenmesi yapının oluştuğunu göstermektedir. ¹H NMR (300 MHz, CDCl₃): δ ppm 8.11 (2H, d, H⁴), 7.84-7.79 (2H, m, H⁷ ve H⁸), 7.60 (2H, d, H¹¹), 7.42-7.30 (3H, m, H¹⁴, H¹⁷, H¹⁸), 7.37 (1H, d, H¹⁸), 7.16 (2H, d, H¹⁰), 6.93 (2H, d, H³), ve 3.86 (3H, s, OCH₃). ¹H NMR spektrumunda 3.76 ppm deki OH protonunun ait pikin gözlenmesi ve spektrumda aromatik bölde yeni piklerin gözlenmesi yapının oluştuğunu göstermektedir. ¹³C-NMR (300 MHz, CDCl₃): 188.99 C⁸, 162.15 C², 160.87 C¹², 157.43 C¹³, 145.63 C⁶, 136.42 C¹⁷, 135.85 C¹⁰, 131.44 C⁹, 130.64 C⁴, 127.55 C⁵, 122.61 C¹⁸, 122.42 C¹⁴, 120.37 C¹¹, 119.17 C⁷, 118.10 C¹⁵, 115.45 C¹⁹, 115.01 C²⁰, 114.73 C³, 110.05 C¹⁶ ve 55.71 C¹. ¹³C NMR spektrumunda 115.45 C¹⁹ ve 115.01 C²⁰ CN karbonlarına ve aromatik halka karbonlarına ait piklerin gözlenmesi yapının oluştuğunu göstermektedir.



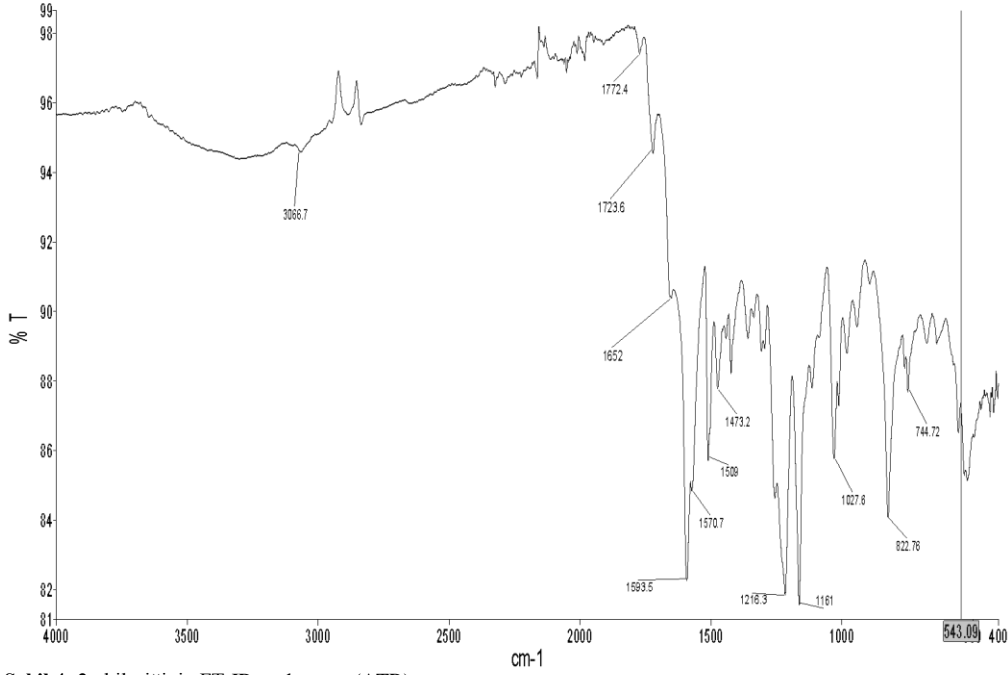
Şekil 1: 2 bileşiğinin FT-IR spektrumu (ATR)

Şekil 2: 2 bileşiğinin ^{13}C -NMR spektrumu (CDCl_3)Şekil 3: 2 bileşiğinin ^1H -NMR spektrumu (CDCl_3)

2.3. Çinko (II) ftalosiyanin (2a)'nın Sentezi ve Karakterizasyonu

25 mL'lik bir balona 0.2 g (0.52 mmol) 2 bileşiği 10 mL DMF'de çözüldü üzerine 0.058 g (1.05 mmol) $\text{Zn}(\text{OAc})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ilave edildikten sonra üzerine 2-3 damla 1,8-diazabisiklo[5.4.0]-undek-7-en (DBU) ilave edip azot ortamında, yağ banyosu altında, 130°C 'de 24 saat karıştırıldı. Reaksiyon sonlandırıldıktan sonra buzlu suda çöktürüldü, süzüldü. Bol su ve sıcak alkolle yıkayıp kurutuldu. 0.1 g açık laciver madde elde edildi. Bu madde kolaylıkla DCM, THF, DMF ve DMSO da çözüne bilmektedir. Molekül ağırlığı 1586.99. Verim %

46. Erime noktası $>350^\circ\text{C}$. FT-IR ν_{max} (cm^{-1}): 3066 cm^{-1} (Ar-H); 2948 cm^{-1} (alifatik C-H); 1652 cm^{-1} (C=O); $1593, 1570\text{ cm}^{-1}$ (C=N, C=C); 1026 cm^{-1} (C-O-C). FT-IR spektrumunda -CN grubuna ait pikin gözlenmemesi yapının oluştuğunun en önemli kanıtıdır. UV-vis (DMF), λ_{max} , nm: 678, 613, 360. UV-vis spektrumunda Zn metali için 678, 613 nm de sinyallerin gözlenmesi yapının oluştuğunu göstermektedir. MALDI-TOF MS: $m/z[\text{M}]^+$ hesaplanan $\text{C}_{96}\text{H}_{64}\text{N}_8\text{O}_{12}\text{Zn}$: 1586.99; bulunan $[\text{M}+\text{H}]^+$ 1585.15. MALDI-TOF MS spektrumunda teorik ve bulunan değerlerin hemen hemen aynı olması yapının oluştuğunu göstermektedir.

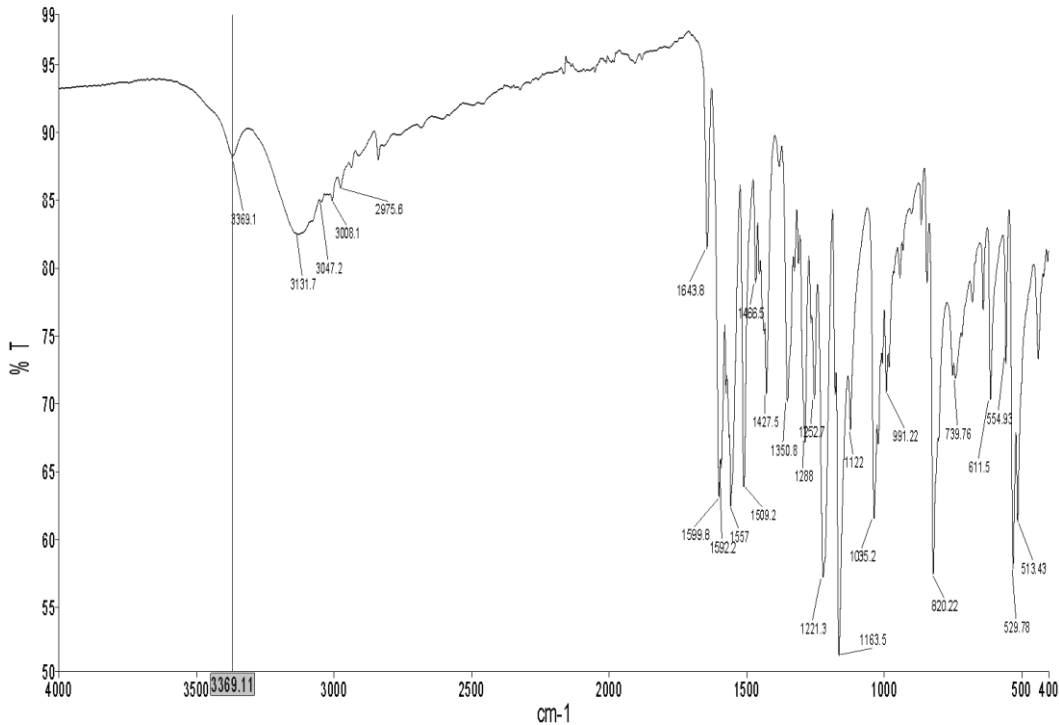


Şekil 4: 2a bileşiğinin FT-IR spektrumu (ATR)

2.4. Cobalt (II) ftalosiyanın (2b)'nin Sentezi ve Karakterizasyonu

25 mL'lik bir balona 0.2 g (0.52 mmol) 2 bileşiği 10 mL DMF'de çözüldü üzerine 0.057 g (1.05 mmol) Co(OAc)₂·4H₂O ilave edildikten sonra üzerine 2-3 damla 1,8-diazabisiklo[5.4.0]-undek-7-en (DBU) ilave edip azot ortamında, yağ banyosu altında, 130 °C'de 24 saat karıştırıldı. Reaksiyon sonlandırıldıktan sonra buzlu suda çöktürüldü, süzüldü. Bol su ve sıcak alkolle yıkamayı kurutuldu. 0.1 g açık laciver madde elde edildi. Bu madde kolaylıkla DCM, THF, DMF ve DMSO da çözüne bilmektedir. Molekül ağırlığı 1580.55. Verim %

43. Erime noktası >350 °C. FT-IR ν_{\max} (cm⁻¹): 3066 cm⁻¹ (Ar-H); 2948 cm⁻¹ (alifatik C-H); 1651 cm⁻¹ (C=O); 1593, 1570 (C=N, C=C); 1026 cm⁻¹ (C-O-C). FT-IR spektrumunda -CN grubuna ait pikin gözlenmemesi yapının oluştuğunun en önemli kanıtıdır. UV-vis (DMF), λ_{\max} , nm: 690, 623, 353. UV-Vis spektrumunda Co metali için 690, 623 nm deki sinyallerin gözlenmesi yapının oluştuğunu göstermektedir. MALDI-TOF MS: m/z[M]⁺ hesaplanan C₉₆H₆₄N₈O₁₂Co:1580.55; bulunan [M+H]⁺ 1579.50. MALDI-TOF MS spektrumunda teorik ve bulunan değerlerin hemen aynı olması yapının oluştuğunu göstermektedir.



Şekil 5: 2b bileşiğinin FT-IR spektrumu (ATR)

3. SONUÇ

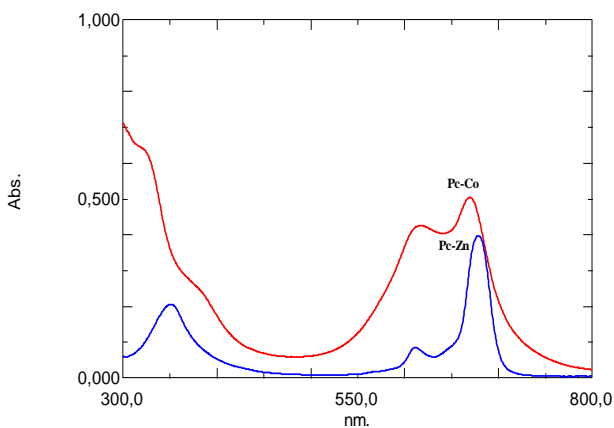
1. Bu deneysel kısımda belirtildiği gibi 4-hidroksifenil-3-(4-metoksifenil)kalkon (**1**) literatüre göre [27,28] sentezlendikten sonra 4-nitroftalonitril ile tepkimeye sokularak 4-(4-(3-(4-metoksifenil)akrilol)-fenoksi)ftalonitril (**2**) bileşiği sentezlendi. **2** bileşiği Zn ve Co metal tuzları kullanılarak metoksi sübtitüe metalli ftalosiyanın bileşikleri sentezlendi. Sentezlenen yapılar FT-IR, ¹H-NMR ve ¹³C-NMR, UV-Vis ve MALDI MS teknikleri kullanılarak karakterize edildi. Tüm bu karakterizasyonları çalışmaları sonucu yapıları aydınlatılan yeni metoksi sübtitüe metalli ftalosiyanın bileşikleri sentezlendi.

2. Metalli ftalosiyanın bileşiklerinin oluştuğunun en belirgin kanıtı FT-IR spektrumunda 2230 cm⁻¹ deki CN pikin gözlenmemesi ve UV-Vis spektrumunda Zn metali için 678, 613 nm de ve Co metali için 690, 623 nm deki sinyallerin gözlenmesi yapının oluştuğunu göstermektedir. Ayrıca kütle spektrumlarındaki moleküler iyon pikleri de önerilen molekül formüllerini desteklemektedir.

3. Literatürde sentezlenen ftalosiyanın bileşiklerinden farklı olarak sentezlenen metalli ftalosiyanın bileşikleri birçok çözücüde çözünmesi geniş kullanım ve uygulama alanı sağlayabilir.

4. Bu çalışmada elde edilen metalli ftalosiyanın bileşiklerinin verimleri literatürde sentezlenen bileşiklere göre daha yüksektir [12].

5. Bu çalışmada metallsiz, Ni ve Cu metalliftalosiyanın bileşikleri aynı reaksiyon şartlarında elde edilememiştir.



Şekil 6: **2a** (Zn) ve **2b** (Co) bileşiklerinin UV-Vis Spektrumu

KAYNAKLAR

[1] Kadish, K. M., Smith, K. M., & Guilard, R.. Handbook of Porphyrin Science: with Applications to Chemistry, Physics, Materials Science, Engineering, Biology and Medicine (Volumes 1-5). World Scientific: Singapore, 2010, 1-35.

[2] Yazıcı, A, Dalbul, N, Altındal, A, Salih, B, Bekaroğlu, Ö. Ethanol sensing property of novel

phthalocyanines substituted with 3,4-dihydroxy-3-cyclobuten-1,2-dione. Sensors and Actuators B. 2014;202:14–22.

[3] Mert Sevim A, Ilgün C, Gül A. Preparation of heterogeneous phthalocyanine catalysts by cotton fabric dyeing. Dyes and Pigments. 2011;89:162–168.

[4] Yazıcı A, Dalbul N, Altındal A, Salih B, Bekaroğlu Ö. Ethanol sensing property of novel phthalocyanines substituted with 3,4-dihydroxy-3-cyclobuten-1,2-dione. Sensors and Actuators B. 2014;202:14–22.

[5] Zheng BY, Zhang HP, Ke MR, Huang JD. Synthesis and antifungal photodynamic activities of a series of novel zinc (II) phthalocyanines substituted with piperazinyl moieties. Dyes and Pigments. 2013;99:185–191.

[6] Soylu M, Ocaya R, Tuncer H, Al-Ghamdi AA, Dere A, Sari DC, Yakuphanoglu F. Analysis of photovoltaic behavior of Si-based junctions containing novel graphene oxide/nickel (II) phthalocyanine composite films. Microelectronic Engineering. 2016;154:53–61.

[7] Sena P, Dumludag F, Salih B, Özkaya AR, Bekaroglu Ö. Synthesis and electrochemical, electrochromic and electrical properties of novel s-triazine bridged trinuclear Zn (II), Cu (II) and Lu (III) and a tris double-decker Lu (III) phthalocyanines. Synthetic Metals. 2011;161:1245–1254.

[8] Grobosch M, Schmidt C, Kraus R, Knupfer M. Electronic properties of transition metal phthalocyanines: The impact of the central metal atom (d⁵-d¹⁰). Organic Electronics. 2010;11:1483–1488.

[9] Dinçer HA, Koca A, Gül A, Koçak MB. Novel phthalocyanines bearing both quaternizable and bulky substituents. Dyes and Pigments. 2008;76:825-831.

[10] Kantar C, Mavi V, Baltas N, Islamoğlu F, Şaşmaz S. Novel zinc (II) phthalocyanines bearing azo-containing schiff base: Determination of pKa values, absorption, emission, enzyme inhibition and photochemical properties. Journal of Molecular Structure. 2016;1122:88-99.

[11] Kantar GK, Baltaş N, Menteşe E, Şaşmaz S. Microwave-assisted synthesis and investigation of xanthine oxidase inhibition of new phthalonitrile and phthalocyanines containing morpholino substituted 1,2,4-triazole-3-one. Journal of Organometallic Chemistry. 2015;787:8-13.

[12] Demiroğlu, M., Sirka, L., Çalışkan, E., Biryan, F., Koran, K., Görgülü, A. O., & Yakuphanoglu, F.. Synthesis and photodiode properties of chalcone substituted metallo-phthalocyanine. Journal of Molecular Structure. 2020; 1219, 128571.

[13] Tataroglu, A., Koran, K., Çalışkan, E., Al-Sehemi, A. G., Görgülü, A. O., Al-Ghamdi, A., & Yakuphanoglu, F. Metallo-Phthalocyanines Based Photocapacitors. Silicon. 2019;11(3), 1275-1286.

- [14] Koran, K., Tekin, Ç., Biryani, F., Tekin, S., Sandal, S., & Görgülü, A. O. Synthesis, structural and thermal characterizations, dielectric properties and in vitro cytotoxic activities of new 2,2,4,4-tetra(4'-oxy-substituted-chalcone)-6,6-diphenylcyclotri-phosphazene derivatives. *Medicinal Chemistry Research*. 2017; 26(5), 962-974.
- [15] Koran, K., Tekin, Ç., Çalışkan, E., Tekin, S., Sandal, S., & Görgülü, A. O. Synthesis, structural and thermal characterizations and in vitro cytotoxic activities of new cyclotriphosphazene derivatives. *Phosphorus, Sulfur, and Silicon and the Related Elements*. 2017;192(9), 1002-1011.
- [16] Jin H, Li X, Tan T, Wang S, Xiao Y, Tian J. Electrochromic properties of novel chalcones containing triphenylamine moiety. *Dyes and Pigments*. 2014;106:154-160.
- [17] Patil PS, Maidur SR, Rao SV, Dharmaprakash S.M. Crystalline perfection, third-order nonlinear optical properties and optical limiting studies of 3, 4-Dimethoxy-4'-methoxychalcone single crystal. *Optics & Laser Technology*. 2016;81:70-76.
- [18] Koran K, Özen F, Biryani F, Demirelli K, Görgülü AO. Eu⁺³-doped chalcone substituted cyclotriphosphazenes: Synthesis, characterizations, thermal and dielectrical properties. *Inorganica Chimica Acta*. 2016;450:162-169.
- [19] Koran K, Ozen F, Torğut G, Pıhtılı G, Cil E, Gorgulu AO, Arslan M. Synthesis, characterization and dielectric properties of phosphazenes containing chalcones. *Polyhedron*. 2014;79:213-220.
- [20] Koran, K. Structural, chemical and electrical characterization of organocyclotri-phosphazene derivatives and their graphene-based composites. *Journal of Molecular Structure*, 2019;1179, 224-232.
- [21] Gupta R, Chaudhary RP. Synthesis, antimicrobial and DFT studies of novel fused thiazolopyrimidine derivatives. *Heterocycl Commun*. 2013;19:207-214.
- [22] Cole AL, Hossain S, Cole AM, Phanstiel O. Synthesis and bioevaluation of substituted chalcones, coumaranones and other flavonoids as anti-HIV agents. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*. 2016;24:2768-2776.
- [23] Hu G, Li X, Zhang X, Li Y, Ma L, Yang LM, Liu G, Li W, Huang J, Shen X, Hu L, Zheng YT, Tang Y. Discovery of inhibitors to block interactions of HIV-1 integrase with human LEDGF/p75 via structure-based virtual screening and bioassays. *J Med Chem*. 2012;55:10108-10117.
- [24] Rudrapal M, Satyanandam RS, Swaroopini TS, Lakshmi TN, Jaha SK, Zaheera S. Synthesis and antibacterial activity of some new hydrazones. *Med Chem Res*. 2013;22:2840-2846.
- [25] Lin CT, Kumar KJS, Tseng YH, Wang ZJ, Pan MY, Xiao JH, Chien SC, Wang SY. Anti-inflammatory activity of flavokawain b from *alpinia pricei* hayata. *J Agric Food Chem*. 2009;57:6060-6065
- [26] Li YY, Huang SS, Lee MM, Deng JS, Huang GJ. Anti-inflammatory activities of cardamonin from *Alpinia katsumadai* through heme oxygenase-1 induction and inhibition of NF-KB and MAPK signaling pathway in the carrageenan-induced paw edema. *International Immunopharmacology*. 2015;25:332-339.
- [27] Gorgulu AO, Koran K, Ozen F, Tekin S, Sandal S. Synthesis, structural characterization and anti-carcinogenic activity of new cyclotriphosphazenes containing dioxybiphenyl and chalcone groups. *Journal of Molecular Structure*. 2015;1087:1-10.
- [28] Lee Y, Kim BS, Ahn S, Koh D, Lee YH, Shin SY, Lim Y. Anticancer and structure-activity relationship evaluation of 3-(naphthalen-2-yl)-N,5-diphenyl-pyrazoline-1-carbothioamide analogs of chalcone. *Bioorganic Chemistry*. 2016;68:166-176.
- [29] Kamal A, Shankaraiah N, Prabhakar S, Reddy CR, Markandeya N, Reddy KL, Devaiah V. Solid-phase synthesis of new pyrrolobenzodiazepine-chalcone conjugates: DNA-binding affinity and anticancer activity. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*. 2008;18:2434-2439.
- [30] Li H, Chen Y, Zhang B, Niu X, Song M, Luo Z, Lu G, Liu B, Zhao X, Wang J, Deng X. Inhibition of sortase A by chalcone prevents listeria monocytogenes infection. *Biochemical Pharmacology*. 2016;106:19-29.
- [31] Wang H, Wang Y, Chen Z, Chan FL, Leung LK. Hydroxychalcones exhibit differential effects on XRE Transactivation. *Toxicology*. 2005;207:303-313.
- [32] B.S. Funiss, A.J. Hannford, P.W.G. Smith, A.R. Tatchell, Vogel's Textbook of Practical Org. Chem. 5th ed., Longman, London, 2004. p1032-1035.
- [33] Shakir M, Azam M, Parveen S, Khan A U, Firdaus F. Synthesis and spectroscopic studies on complexes of N,N'-bis-(2-pyridinecarboxaldimine)-1,8-diaminonaphthalene (L); DNA binding studies on Cu (II) complex. *Spectrochim Acta A*. 2009;71:1851-1856.



Karasal İklim Şartlarında Bazı Fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) Genotiplerinin Kuru Otlarının Hayvan Yemi Olarak Kullanım Potansiyelinin Belirlenmesi

İbrahim KILINÇ¹, Ömer Süha USLU^{2*}

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

² Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

İbrahim KILINÇ ORCID No: 0000-0002-4292-1639

Ömer Süha USLU ORCID No: 0000-0003-0858-0305

*Sorumlu yazar: suhauslu@ksu.edu.tr

(Alınış: 11.02.2021, Kabul: 21.05.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Anahtar Kelimeler

Fasulye,
Otlar kalitesi,
Otlar verimi,
NDF ve ADF oranı,
Ham protein oranı

Öz: Bu araştırma, önemli bir fasulye üretim havzası olan ve tipik karasal iklim özellikleri sergileyen Kahramanmaraş İli Afşin İlçesinde yetiştirilebilecek yüksek verimli fasulye genotiplerinde dane hasadı artıklarının kaba yem olarak kalite değerlerini belirlemek amacıyla 2018 yılında yürütülmüştür. Araştırmada 40 sırk, 30 oturak olmak üzere toplam 70 farklı fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) genotipi test edilmiştir. Deneme tesadüf blokları deneme desenine göre düzenlenmiştir. Araştırmada kuru ot verimi, ham protein oranı ve verimi, ham kül, nötr deterjanda çözünmeyen lif (NDF) ve asit deterjanda çözünmeyen lif (ADF) oranı ve nispi yem değerleri saptanmıştır. Araştırma sonuçlarına göre; fasulye genotipleri arasında incelenen tüm özellikler açısından istatistiki olarak önemli farklılıklar bulunmuştur. Kuru ot verimi 129,7-978,0 kg da⁻¹, ham protein oranı %5,65-15,52, ham protein verimi 8,31-143,63 kg da⁻¹, ham kül oranı %5,29-28,81, NDF oranı %48,15-80,00, ADF oranı %28,00-58,00 ve nispi yem değeri 50,98-128,59 arasında değişim göstermiştir. IPKPHA4396 oturak tipi, IPKPHA316 sırk tipi, IPKPHA12654 sırk tipi, Manalı Trabzon sırk tipi, IPKPHA7168 sırk tipi ve IPKPHA4398 sırk tipi genotiplerin, araştırmada yer alan diğer genotiplere göre ot verimi ve nispi yem değeri bakımından daha üstün olduğu saptanmıştır.

224

Determination of Using Potentials of Harvest Residues of Some Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Genotypes as Animal Feed under Continental Climate Conditions

Keywords

NDF and ADF ratio,
Crude protein ratio,
Bean,
Hay yield,
Hay quality

Abstract: This research was established on 18 May 2018 in order to determine forage quality of harvest residues of some bean genotypes grown under conditions of Afşin district of Kahramanmaraş province. A total of 70 different beans (*Phaseolus vulgaris* L.) were used in the study. The experiment was arranged according to randomized complete block design with three replications. In the research, hay yield, crude protein, crude ash, ADF, NDF ratio and relative feed values were determined. According to the research results; differences among the genotypes studied for the studied characteristics were found statistically significant. Depending on the genotype, dry herbage yield varied between 129.0 and 978.0 kg da⁻¹, crude protein ratio between 5.65 and 14.64%, crude protein yield between 8.31 and 143.63 kg da⁻¹, crude ash ratio between 5.29 and 28.81%, neutral detergent fibre (NDF) ratio between 48.15 and 80.00%, acid detergent fibre (ADF) ratio between 28.00 and 58.00% and relative feed value (RFV) between 50.98 and 128.59. In addition, IPKPHA4396, IPKPHA316, IPKPHA12654, Manalı Trabzon, IPKPHA7168 and IPKPHA4398 genotypes were found to be superior to other genotypes in the study in terms of hay yield and quality.

1. GİRİŞ

Fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) dünyada bilinen iki önemli gen merkezine sahip bir bitkidir. Bu

merkezlerden biri, Güney Amerika diğeri ise Orta Amerika bölgesidir. M.Ö. 7000 yıllarında, fasulyenin Meksika'da kültüre alındığı, buradan da İspanyollar tarafından 16. yüzyılda Avrupa'ya taşındığı bilinmektedir. Ülkemizde hemen hemen her bölgede

yetiştiriciliği yapılan fasulye yapay ve doğal seleksiyonlarla, ülkemizin diğer bölgelerine yayılma göstererek, bu bölgelerde kendine has isimlerle yeni popülasyonlar meydana gelmiştir [1]. Fasulye insan beslenmesinin yanında, tarım alanlarında toprağın zenginleştirilmesinde önemli bir yere sahiptir. Baklagiller familyasından olan fasulye, köklerinde bulunan ve nodül diye adlandırılan yumrucuklara sahiptir. Bu nodüller nadozite bakterileri (*Rhizobium phaseoli*) sayesinde havadaki serbest azotu kullanarak toprağın azotça zenginliğini artırmaktadır [2]. Nadozite bakterileri ile bir dekar alanda bir vejetasyon döneminde fasulye bitkisi 3-5 kg saf azotu toprağa bağlamaktadır [3]. Bu da fasulyeden sonra ekimi yapılacak bitkinin daha az azot gübresi ile yetişmesine imkân sağlamaktadır. Ekilebilir tarım alanlarının azaldığı günümüzde, toprak ve iklim özellikleri göz önüne alındığında ülkemizde hemen hemen her bölgede yetişme özelliğine sahip olan fasulye, tınlı-kumlu topraklarda iyi bir gelişme göstermektedir.

Hayvancılık işletmelerinin kaba yem ihtiyacı farklı kaynaklardan temin edilmektedir. Ülkemizde bu kaynaklardan ilkinin 12-15 milyon ton yıl⁻¹ kuru ot elde edilen, biçilerek ve otlatılarak kullanılan 14,6 milyon ha alana sahip çayır ve meralar oluşturmaktadır [4]. Bir diğeri 2,1 milyon ha ekim alanına sahip yem bitkilerinden elde edilen yaklaşık 5,2 milyon ton yıl⁻¹ kuru ot ile 547.127 ha ekim alanına sahip silajlık mısırdan elde edilen yaklaşık 26,3 milyon ton yıl⁻¹ mısır hasılıdır [5]. Yaklaşık 15 milyon ton yıl⁻¹ kapasiteye sahip sap, saman gibi tarla atığı veya bitkisel atıklar da önemli yem kaynakları arasında yer almaktadır ve maalesef üreticiler tarafından ana kaba yem kaynağı olarak kullanılmaktadır [6]. Türkiye’de yem bitkileri arasında yaygın olarak yonca, fiğ, mürdümük ve korunga gibi yem bitkilerinin yetiştiriciliği yapılmaktadır. 1 ton tahıl sapında 70,5 kg protein, 1 ton baklagil sapında ise 137,4 kg protein bulunmaktadır [7]. Ülkemizdeki hayvancılık faaliyetlerine bakıldığında kaliteli kaba yem açığı olduğu, bu açığın ise hayvan beslemede farklı protein değerlerine sahip buğdaygil ve baklagil hasat artıkları ile giderilmeye çalışıldığı görülmektedir. Bunlar arasında özellikle protein değeri çok düşük (%3,5) olan buğday samanı hala yaygın olarak kullanılmaktadır. Sap ve samanlarındaki protein oranının tahılların iki katına yakın olmasından dolayı, hayvan beslenmesinde kaba yem ve kesif yem ihtiyacının karşılanmasında, baklagiller önemli bir yere sahiptir. Fasulye tarımı yapan çiftçiler ve hayvancılık işletmeleri ile yapılan görüşmeler neticesinde özellikle küçükbaş hayvancılık yapılan işletmelerde proteince zengin kaba yemlerin işletmeye alınmadığı ve yem bitkilerine alternatif olan fasulye samanının ön plana çıktığı saptanmıştır. Fasulye bitkisi özellikle danesi için yetiştirilen bir baklagildir. Birçok buğdaygil ve baklagil bitki türünün hayvan beslemede kullanmak üzere silaj olarak kullanıldığını ifade eden Uslu ve Kaya [8], bu bitkiler arasında fasulyeyi zikretmemiştir. Fasulye, samanı ile öne çıkan alternatif bir kaba yem kaynağıdır. Fasulye hasat artıklarının kimyasal kompozisyonunu gösteren ve sayısı çok az olan bir kaç çalışmada NDF, ADF ve sindirilebilir kuru madde (SKM) oranlarının sırası ile %51-69, %37,3-56,5

ve %53-59 arasında olduğu bildirilmiştir [9-10-11-12]. Ayrıca yerfıstığı, mercimek ve börülce gibi bazı diğer baklagillerin genotip ve çevreye bağlı olarak otlarının kimyasal bileşiminde ve sindirilebilirliğinde önemli farklılıklar olduğu bildirilmiştir [13-14-15-16]. Mesela Erskine et al. [13] mercimek otunun sindirilebilir kuru maddenin %40-49, ham protein oranının %5,8-6,9 arasında değiştiğini saptamışlardır. Ülkemizde fasulye hasat artıklarının yem değeri hakkında bir araştırmaya rastlanmamıştır.

Fasulye tarımında 2018 yılı verilerine göre Türkiye genelinde yedinci sırada yer alan Kahramanmaraş ilinde özellikle Afşin ve çevresinde geniş alanlarda fasulye tarımı yapılmaktadır. Hasattan sonra geriye kalan otunun, hayvancılık yapan çiftçiler tarafından yoğun bir talep gördüğü ve hatta talebin karşılanamadığı işletme sahipleri tarafından ifade edilmektedir. Uslu ve ark. [17] Kahramanmaraş’ta 335.126 ton yıl⁻¹ kaba yem üretildiğini, bu miktarın toplam kaba yem ihtiyacının %36,16’sını karşıladığını ve ilin mevcut hayvan varlığı için 926.874 ton yıl⁻¹ kaba yem ihtiyacı olduğunu bildirmişlerdir. Bu açığın kapatılmasında mevcut yem bitkileri üretimine ilaveten alternatif yem kaynaklarının yardımcı olması mümkündür. Bu çalışma, Türkiye’de önemli fasulye üretim merkezi olan Afşin şartlarında, tane hasadından sonra hasat artığı olan fasulye vejetatif aksamının alternatif kaba yem kaynağı olarak hayvan besleme potansiyelini belirlemek üzere yapılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Araştırma Yeri ve Yılı

Bu çalışma ile ilgili tarla denemesi 2018 yaz üretim sezonunda, Kahramanmaraş İli, Afşin İlçesi Çobanbeyli Mahallesi Keçebey Mevkiinde 18 Mayıs 2018 tarihinde kurulmuştur. Akdeniz Bölgesinin Doğu Anadolu ve Orta Anadolu Bölgelerine geçit alanında 38°21'18.53" kuzey enlem ve 36°53'58.12" doğu boylam dereceleri arasında yer alan deneme alanı %1-2 eğime sahip olup deniz seviyesinden yüksekliği 1243 m’dir.

2.2. Bitki Materyali

Araştırma materyali olarak 40 sırk ve 30 oturak olmak üzere 70 fasulye genotipi materyal olarak kullanılmıştır. Bu genotiplerin tamamı Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü öğretim üyesi Dr. Öğr. Üyesi Cengiz Yürürdurmaz tarafından USDA’dan (ABD Tarım Bakanlığı) 2016 yılında temin edilmiştir.

2.3. Araştırma Alanının İklim ve Toprak Özellikleri

Afşin coğrafi alan olarak Doğu Anadolu bölgesinin yukarı Fırat bölümünün en batı kesiminde yer almaktadır. Afşin ve çevresi Akdeniz bölgesi, Orta Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinin birbirine en çok yaklaştığı, dolayısıyla değişik iklim özelliklerine sahip bölgelerinin kesiştiği ve 1242 m yüksekliği olan bir alanda bulunmaktadır. Araştırmanın yapıldığı 2018 ürün

yıllı ile uzun yıllar ortalamasına ait bazı iklim verileri Tablo 1’de verilmiştir [18].

Çalışma alanı tipik karasal iklim özellikleri göstermektedir. Araştırmanın yürütüldüğü dönemde uzun yıllar ortalamalarına göre Kahramanmaraş Afşin’de 11,3 °C aylık ortalama sıcaklık ile en soğuk ayın Nisan olduğu, en sıcak ayın ise 24,9 °C ile Ağustos olduğu kaydedilmiştir. 2018 yılında ise en soğuk ay 13,0 °C ile yine Nisan, en sıcak ay ise 25,2 °C ile Temmuz ayıdır. 2018 yılı yetiştirme sezonunda uzun yıllar ortalamasından (147,1 mm) daha fazla miktarda yağış (153,4 mm) kaydedilirken Temmuz ve Ağustos aylarında hiç yağış olmamıştır. 2018 yılı nispi nem ortalaması da (%44,1) uzun yıllar ortalamasından (%43,8) daha yüksektir (Tablo 1) [18].

Tablo 1. Araştırma dönemine ait bazı iklim verileri.

| Aylar | Toplam Yağış (mm) | | Ortalama Sıcaklık (°C) | | Ortalama Nispi Nem (%) | |
|-----------|-------------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|
| | 2018 | Uzun Yıllar | 2018 | Uzun Yıllar | 2018 | Uzun Yıllar |
| Nisan | 12,2 | 48,7 | 13,0 | 11,3 | 45,2 | 53,2 |
| Mayıs | 109,0 | 47,2 | 15,8 | 15,0 | 61,2 | 57,7 |
| Haziran | 17,6 | 16,9 | 20,4 | 20,3 | 51,7 | 46,1 |
| Temmuz | 0,0 | 16,4 | 25,2 | 24,7 | 36,6 | 33,7 |
| Ağustos | 0,0 | 4,4 | 24,8 | 24,9 | 33,2 | 33,6 |
| Eylül | 14,6 | 13,4 | 20,8 | 20,4 | 36,2 | 38,6 |
| Top./Ort. | 153,4 | 147,1 | 11,33 | 19,4 | 44,1 | 43,8 |

Deneme alanında 0-30 cm derinlikten alınan toprak örneklerinin Sivas Şarkışla Toprak Analiz Merkezinde yapılan analiz sonuçlarına göre, deneme alanı toprakları; killi tınlı (62,26), tuzsuz (%3), orta kireçli (%3,05), organik madde bakımından orta seviyede (%2,08), potasyum oranı yeterlilik seviyesinin üzerinde (77,8 mg kg⁻¹) ve fosfor bakımından orta (8,46 mg kg⁻¹) seviyededir [19].

2.4. Metot

Araştırma ile ilgili tarla denemesi üç tekrarlamalı tesadüf blokları deneme desenine göre yürütülmüştür. Ekim, 50 cm sıra aralığı ile açılan 2 m uzunluğundaki sıralara, her sıraya 10 tohum gelecek şekilde elle ve tek sıra olarak yapılmıştır. Ekim öncesinde tarla sonbaharda derin olarak sürülmüş, Nisan ayına kadar bekletilmiştir. Ekimden önce besin maddesi ihtiyacı toprak analiz sonuçlarına göre 7 kg da⁻¹ saf azot ve 7 kg da⁻¹ saf fosfora isabet edecek şekilde 20.20.0 kompoze taban gübresi uygulanarak tamamlanmıştır. Yetiştirme süresince tarlada sulama, çapalama ve gerekli diğer bakım işlemleri yapılmış olup, deneme alanına damlama sulama sistemi kurularak 8 defa, her sulamada 7 saat esas alınarak sulama yapılmıştır. Hasat 8-15 Eylül 2018 tarihleri arasında elle yapılmıştır.

2.5. Yapılan Gözlem ve Ölçümler

Araştırmada kuru ot verimi, ham protein oranı, ham protein verimi, ham kül oranı, nötr deterjan lif oranı, asit deterjan lif oranı nispi yem değeri özellikleri; Kaçar [20], Van Soest et al. [21], Sheaffer et al. [22], Parlak [23], Kutlu [24], Anonim [25] tarafından tarif edilen

yöntemlere göre incelenmiştir. Parseldeki tüm bitkiler hasat edildikten sonra kurutulmuş, taneler alındıktan sonra kalan hasat artıkları tartılmış ve dekara kuru ot verimi kg da⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Kurutulmuş bitki örnekleri öğütülerek 1 mm elekten geçirilmiş ve analize hazır hale getirilmiştir. Öğütülen ot örneklerinde Kjeldahl yöntemi ile azot analizi yapılmıştır. Saptanan azot içeriği değerleri daha sonra 6.25 katsayısı ile çarpılmış, her örneğe ait ham protein içeriği belirlenmiştir. Parselin ham protein oranı parselde ait kuru ot verimi ile çarpılmış ve ham protein verimi belirlenmiş daha sonra gerekli dönüşümler yapılmış ham protein verimi kg da⁻¹ cinsinden hesaplanmıştır. Ham kül oranı belirlenmesinde 105 °C’de kurutulan ve desikatörde soğutulan ot numunelerinden temin edilen 3’er gramlık örnekler, porselen krozeyle yerleştirilerek 550 °C’de 3 saat süreyle yakılmıştır. Elde edilen kül yakılan örneğe oranlanarak ham kül oranı hesaplanmıştır. Nötr ortamda çözünmeyen lif (NDF) ve asitli ortamda çözünmeyen lif (ADF) içerikleri ANKOM filtre torbası tekniği kullanılarak ANKOM A220 lif analiz cihazı (ANKOM Teknoloji, Fairport, NY) vasıtasıyla belirlenmiştir. Sindirilebilir kuru madde (SKM) değeri, kuru madde tüketimi (KMT) değeri ve nispi yem değeri (NYD) NDF ve ADF analiz sonuçları değerlendirilerek Eşitlik 1, 2 ve 3 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$SKM = 88,9 - (0,779 \times \% ADF) \quad (1)$$

$$KMT = 120 / \% NDF \text{ (kuru maddede)} \quad (2)$$

$$NYD = (SKM \times KMT) / 1,29 \quad (3)$$

2.6. Verilerin Değerlendirilmesi

Araştırma sonucunda elde edilen veriler, SAS [26] programı kullanılarak, tesadüf blokları deneme desenine göre varyans analizine tabi tutulmuştur. Varyans analiz sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli bulunan özelliklere ilişkin ortalamalar arasındaki farklar Tukey testi ile karşılaştırılmıştır [27].

3. BULGULAR

3.1.Kuru Ot Verimi (kg da⁻¹)

Fasulye genotiplerine ait kuru ot verimi değerlerine ilişkin ortalamalar ve oluşan gruplar Tablo 2’de verilmiştir. Tablo 2’ye göre, genotiplere ait kuru ot verimi ortalama değerleri 129,7-978,0 kg da⁻¹ arasında değişim göstermiştir. En yüksek kuru ot verimi ortalaması Manalı Trabzon genotipinde 978,0 kg da⁻¹ olarak saptanırken bunu 672,3 kg da⁻¹ ile IPKPHA7168 genotipi, 665 kg da⁻¹ ile IPKPHA4398 genotipi takip etmiş, en düşük kuru ot verimi ortalaması ise IPKPHA4386 genotipinde 129,7 kg da⁻¹ olarak saptanmıştır.

Ülkemizde daha önce fasulyede hasat artışı verimi ile ilgili bir araştırma yapılmadığı için bu araştırmada saptanan kuru ot verimi değerleri ot amacıyla yetiştirilen bir baklagil bitkisi olan fiğ bitkisinde saptanan kuru ot verimleri ile karşılaştırılmıştır. Fiğde, Çil ve ark.’nın [28] farklı iklim özelliklerinde 356-479 kg da⁻¹, Zeybek’in [29] Tekirdağ’da 552,3 kg da⁻¹, Kara ve

Çomaklı'nın [30] Erzurum'da 216,1-274,2 kg da⁻¹, Önder'in [31] Tokat'ta 320-432 kg da⁻¹, Seydoşoğlu'nun [32] Diyarbakır'da 308,0-919,5 kg da⁻¹, Erdoğan ve ark.'nın [33] Eskişehir'de 633 kg da⁻¹, Eviz ve ark.'nın [34] Siirt'te 222-395 kg da⁻¹, Budak'ın [35] Iğdır'da 644,7-741,3 kg da⁻¹ olarak saptadıkları fiğ kuru ot verimi değerleri bu çalışmada saptanan fasulye kuru ot verimi değerleri ile benzerlik göstermektedir. Dejenea et al. [36] Etiyopya'da fasulye hasat artışı verimini 52-336 kg da⁻¹

Akıncı [37] ise Kayseri'de soya fasulyesinde 247,71-357,90 kg da⁻¹ kuru ot verimi saptamıştır. Araştırmamızda bazı genotiplerde saptanan fasulye kuru ot verimi değerleri söz konusu araştırmalarda saptanan fasulye kuru ot verimi ve soya fasulyesi kuru ot verimi değerlerinden oldukça yüksektir. Bulgulardaki farklılıkların ekim normu ve ekolojik farklılıklardan kaynaklandığı söylenebilir.

Tablo 2. Fasulye genotiplerinin kuru ot verimi (kg da⁻¹) ortalamaları ve oluşan gruplar.

| Genotipler | Tipi | Ortalama | Genotipler | Tipi | Ortalama |
|----------------------|------|------------|-----------------|--------|-----------|
| Artvin barbunya | Sırk | 269,0 b-g* | Rize-1 | Sırk | 386,3 b-g |
| Çubuk Trabzon | Sırk | 328,7 b-g | Rize-2 | Sırk | 553,7 a-g |
| IPKPHA429 | Sırk | 520,3 b-g | Çalı | Sırk | 544,0 b-g |
| BVAL610697 | Sırk | 516,7 b-g | IPKPHA4803 | Sırk | 640,3 a-c |
| Rize-8 | Sırk | 520,7 b-g | Eskişehir taze | Sırk | 353,0 b-g |
| Rize-5 | Sırk | 626,0 a-d | IPKPHA4785 | Oturak | 237,0 c-g |
| IPKPHA4378 | Sırk | 306,3 b-g | IPKPHA5021 | Oturak | 286,0 b-g |
| IPKPHA169761 | Sırk | 546,3 b-g | IPKPHA4739 | Oturak | 190,7 e-g |
| IPKPHA4716 | Sırk | 537,3 b-g | IPKPHA4396 | Oturak | 385,7 b-g |
| Ayşekadınçalıyaçıkan | Sırk | 289,7 b-g | Siyah fasulye | Oturak | 372,7 b-g |
| Ayşekadın | Sırk | 544,0 b-g | IPKPHA177045 | Oturak | 180,0 e-g |
| IPKPHA316 | Sırk | 440,0 b-g | IPKPHA494 | Oturak | 159,7 fg |
| IPKPHA12654 | Sırk | 443,3 b-g | Trabzon barbun | Oturak | 382,3 b-g |
| Basara çalı | Sırk | 491,0 b-g | Yerli 40 günlük | Oturak | 239,0 c-g |
| Rize-10 | Sırk | 548,7 b-g | IPKPHA5017 | Oturak | 369,3 b-g |
| IPKPHA4779 | Sırk | 568,0 a-f | Kanton | Oturak | 209,7 d-g |
| IPKPHA4398 | Sırk | 665,7 ab | Mecidiye | Oturak | 335,7 b-g |
| Adana taze | Sırk | 575,3 a-f | IPKPHA4721 | Oturak | 304,3 b-g |
| IPKPHA4815 | Sırk | 416,3 b-g | IPKPHA5011 | Oturak | 270,3 b-g |
| IPKPHA4992 | Sırk | 513,0 b-g | Mercan | Oturak | 237,0 c-g |
| Manalı Trabzon | Sırk | 978,0 a | Önceler 98 | Oturak | 308,7 b-g |
| IPKPHA12651 | Sırk | 501,3 b-g | IPKPHA4386 | Oturak | 129,7 fg |
| IPKPHA131 | Sırk | 340,0 b-g | Barbunya | Oturak | 248,0 b-g |
| Rize-6 | Sırk | 617,3 a-d | IPKPHA13761 | Oturak | 291,0 b-g |
| IPKPHA5002 | Sırk | 247,7 b-g | IPKPHA12763 | Oturak | 312,7 b-g |
| IPKPHA12675 | Sırk | 569,0 a-f | IPKPHA4445 | Oturak | 217,7 c-g |
| IPKPHA4384 | Sırk | 464,3 b-g | IPKPHA4972 | Oturak | 259,3 b-g |
| IPKPHA7167 | Sırk | 482,3 b-g | IPKPHA4402 | Oturak | 260,3 b-g |
| IPKPHA241 | Sırk | 313,0 b-g | Yağlı fasulye | Oturak | 296,7 b-g |
| Peru | Sırk | 553,3 a-g | IPKPHA4773 | Oturak | 319,3 b-g |
| IPKPHA7168 | Sırk | 672,3 ab | IPKPHA4981 | Oturak | 272,3 b-g |
| IPKPHA132 | Sırk | 339,0 b-g | IPKPHA5001 | Oturak | 291,3 b-g |
| Aksaray ihlara | Sırk | 560,7 a-f | IPKPHA4414 | Oturak | 415,0 b-g |
| IPKPHA12671 | Sırk | 502,3 b-g | IPKPHA4736 | Oturak | 236,0 c-g |
| Yer | Sırk | 605,0 a-e | Yakutiye | Oturak | 377,7 b-g |

Genel Ortalama: 404,06 kg da⁻¹; Sırk Tipi Ortalama: 497,22 kg da⁻¹; Oturak Tipi Ortalama: 279,83 kg da⁻¹

*) Benzer harf ile gösterilen genotip ortalamaları Tukey testine göre P ≤ 0,05 hata sınırları içerisinde birbirinden farklıdır.

3.2. Ham Protein Oranı (%)

Fasulye genotiplerine ait kuru ot ham protein oranı değerlerine ilişkin ortalamalar ve oluşan gruplar Tablo 3'te verilmiştir. Genotiplere ait kuru ot ham protein oranı ortalama değerleri %5,65-%14,64 arasında değişim göstermiştir (Tablo 3). En yüksek ham protein oranı ortalaması Manalı Trabzon genotipinde %14,64 olarak saptanırken bunu %12,86 ile IPKPHA4398 genotipi, %12,52 ile IPKPHA7168 genotipi takip etmiş, en düşük kuru ot ham protein oranı ortalaması ise Mecidiye genotipinde %5,65 olarak saptanmıştır.

Güngör ve ark. [38] kaba yemlerin ham protein oranını KM bazında; yonca kuru otlarında %11,44-20,79, mısır silajında %5,08-6,33, kuru mısır hasılında %3,00-4,47, üzüm cibesinde ise %11,34-12,59, olarak saptamışlardır. Açıkgoz ve ark. [39] Bursa'da soya fasulyesi kuru otunda ham protein oranını %16,8, Kökten ve ark. [40] yarfıstığı kuru otunda ham protein

oranını %6,15-10,11, Macar fiği kuru otunda ham protein oranını Kara ve Çomaklı [30] %17,0-20,0, Eviz ve ark. [34] %22,27, Budak [35] %18,87-20,05, Hashalıcı ve ark. [41] %16,0-18,6 olarak saptamışlardır. Uslu ve Gedik [42] Kahramanmaraş'ta anason kuru otunda ham protein oranını %14,92-15,79, Akıncı [37] Kayseri'de soya fasulyesi kuru otunda %6,66-13,53, Uslu ve ark. [43] Kahramanmaraş'ta yemlik bakla kuru otunda %12,24 ve yemlik bezelye kuru otunda %13,99 olarak bildirmişlerdir. Farklı araştırmalarda farklı bitkilerde ham protein oranı değerlerinin saptanmasına sebep olarak, bitki türü, araştırmaların yürütüldüğü ekolojik koşullar, incelenen genotipler ve uygulanan yetiştirme teknikleri (bitki sıklığı, sulama ve gübreleme) arasındaki farklılıklar gösterilebilir. Fasulye genotiplerinin hasat artıklarında saptanan ham protein oranları çeltik (%2,76) ve buğday (%3) samanı ve kuru mısır hasılına ham protein oranından daha yüksek olarak belirlenmiştir [38-44-45].

Tablo 3. Fasulye genotiplerinin kuru otlarında saptanan ham protein oranı (%) ortalamaları ve oluşan gruplar.

| Genotipler | Tipi | Ortalama | Genotipler | Tipi | Ortalama |
|----------------------|------|-----------|-----------------|--------|-----------|
| Artvin barbunya | Sırk | 8,85 p-t* | Rize-1 | Sırk | 9,83 k-p |
| Çubuk Trabzon | Sırk | 8,88 p-t | Rize-2 | Sırk | 9,88 l-p |
| IPKPHA429 | Sırk | 8,86 p-t | Çalı | Sırk | 10,76 f-m |
| BVAL610697 | Sırk | 9,48 n-r | IPKPHA4803 | Sırk | 8,30 r-v |
| Rize-8 | Sırk | 9,41 n-r | Eskişehir taze | Sırk | 9,42 n-r |
| Rize-5 | Sırk | 10,92 f-k | IPKPHA4785 | Oturak | 8,56 r-u |
| IPKPHA4378 | Sırk | 9,64 m-q | IPKPHA5021 | Oturak | 6,54 a-z |
| IPKPHA169761 | Sırk | 10,33 h-o | IPKPHA4739 | Oturak | 6,14 ab |
| IPKPHA4716 | Sırk | 10,04 i-p | IPKPHA4396 | Oturak | 7,87 s-w |
| Ayşekadınçalıyaçıkan | Sırk | 11,85 b-f | Siyah fasulye | Oturak | 7,92 s-w |
| Ayşekadın | Sırk | 10,91 f-l | IPKPHA177045 | Oturak | 9,18 o-r |
| IPKPHA316 | Sırk | 11,30 c-h | IPKPHA494 | Oturak | 10,77 f-m |
| IPKPHA12654 | Sırk | 11,27 f-h | Trabzon barbun | Oturak | 7,15 a-z |
| Basara çalı | Sırk | 9,26 n-r | Yerli 40 günlük | Oturak | 7,41 u-z |
| Rize-10 | Sırk | 11,46 c-h | IPKPHA5017 | Oturak | 7,73 t-x |
| IPKPHA4779 | Sırk | 9,89 i-p | Kanton | Oturak | 7,14 a-z |
| IPKPHA4398 | Sırk | 12,86 b | Mecidiye | Oturak | 5,65 b |
| Adana taze | Sırk | 10,97 f-k | IPKPHA4721 | Oturak | 7,50 u-y |
| IPKPHA4815 | Sırk | 9,80 k-p | IPKPHA5011 | Oturak | 6,41 a-z |
| IPKPHA4992 | Sırk | 9,87 k-p | Mercan | Oturak | 6,81 a-z |
| Manalı Trabzon | Sırk | 14,64 bc | Önceler 98 | Oturak | 6,23 a-z |
| IPKPHA12651 | Sırk | 11,69 b-g | IPKPHA4386 | Oturak | 6,47 a-z |
| IPKPHA131 | Sırk | 11,05 e-j | Barbunya | Oturak | 9,06 p-s |
| Rize-6 | Sırk | 11,83 b-f | IPKPHA13761 | Oturak | 9,16 o-r |
| IPKPHA5002 | Sırk | 9,70 l-q | IPKPHA12763 | Oturak | 7,23 a-z |
| IPKPHA12675 | Sırk | 12,25 b-e | IPKPHA4445 | Oturak | 9,53 n-q |
| IPKPHA4384 | Sırk | 9,18 o-r | IPKPHA4972 | Oturak | 7,83 t-w |
| IPKPHA7167 | Sırk | 8,85 p-t | IPKPHA4402 | Oturak | 6,76 a-z |
| IPKPHA241 | Sırk | 7,75 t-x | Yağlı fasulye | Oturak | 6,42 a-z |
| Peru | Sırk | 10,48 g-n | IPKPHA4773 | Oturak | 7,72 t-x |
| IPKPHA7168 | Sırk | 15,52 a | IPKPHA4981 | Oturak | 11,09 e-1 |
| IPKPHA132 | Sırk | 12,39 b-d | IPKPHA5001 | Oturak | 7,90 s-w |
| Aksaray ihlara | Sırk | 11,83 b-f | IPKPHA4414 | Oturak | 10,28 h-o |
| IPKPHA12671 | Sırk | 11,08 e-j | IPKPHA4736 | Oturak | 10,32 h-o |
| Yer | Sırk | 12,42 b-d | Yakutiye | Oturak | 6,39 a-z |

Genel Ortalama: % 9,42; Sırk Tipi Ortalama: % 10,61; Oturak Tipi Ortalama: % 7,83

*) Benzer harf ile gösterilen genotip ortalamaları Tukey testine göre $P \leq 0,05$ hata sınırları içerisinde birbirinden farklıdır.

3.3. Ham Protein Verimi (kg da^{-1})

Fasulye genotiplerinin hasat artıkları ile ilgili ham protein verimi değerlerine ilişkin ortalamalar ve oluşan gruplar Tablo 4'te verilmiştir. Genotiplere ait ham protein verimi ortalama değerleri $8,31-143,63 \text{ kg da}^{-1}$ arasında değişim göstermiştir (Tablo 4). En yüksek ham protein verimi ortalaması Manalı Trabzon genotipinde $143,63 \text{ kg da}^{-1}$ olarak saptanırken bunu $84,77 \text{ kg da}^{-1}$ ile IPKPHA4398 genotipi, $84,17 \text{ kg da}^{-1}$ ile IPKPHA7168 genotipi izlemiş, en düşük ham protein verimi ortalaması ise IPKPHA4386 genotipinde $8,31 \text{ kg da}^{-1}$ olarak saptanmıştır.

Zeybek [29] fiğde Tekirdağ koşullarında ham protein verimini $111,5 \text{ kg da}^{-1}$, Acar ve Mülayim [46] Konya'da $60,5 \text{ kg da}^{-1}$, Yılmaz ve ark. [47] Doğu Akdeniz'de 112 kg da^{-1} , Çaçan ve ark. [48] Bingöl'de $21,2-37,3 \text{ kg da}^{-1}$, Hashalıcı ve ark. [41] Kayseri'de $70,8-130,1 \text{ kg da}^{-1}$, yem bezelyesinde Kara ve Çomaklı [30] Erzurum'da $37,9-53,4 \text{ kg da}^{-1}$, soya fasulyesinde Akıncı [37] Kayseri'de $16,91-39,86 \text{ kg da}^{-1}$ olarak saptamıştır.

Tablo 4. Fasulye genotiplerinin kuru ot ham protein verimi (kg da⁻¹) ortalamaları ve oluşan gruplar.

| Genotipler | Tipi | Ortalama | Genotipler | Tipi | Ortalama |
|----------------------|------|------------|-----------------|--------|-----------|
| Artvin barbunya | Sırk | 23,83 f-l* | Rize-1 | Sırk | 37,97 c-l |
| Çubuk Trabzon | Sırk | 29,20 d-l | Rize-2 | Sırk | 54,83 b-k |
| IPKPHA429 | Sırk | 46,18 b-l | Çalı | Sırk | 58,26 b-j |
| BVAL610697 | Sırk | 48,93 b-l | IPKPHA4803 | Sırk | 55,94 b-k |
| Rize-8 | Sırk | 49,02 b-l | Eskişehir taze | Sırk | 33,15 c-l |
| Rize-5 | Sırk | 68,08 b-f | IPKPHA4785 | Oturak | 20,30 h-l |
| IPKPHA4378 | Sırk | 29,44 d-l | IPKPHA5021 | Oturak | 18,69 i-l |
| IPKPHA169761 | Sırk | 56,47 b-j | IPKPHA4739 | Oturak | 11,72 kl |
| IPKPHA4716 | Sırk | 54,03 b-k | IPKPHA4396 | Oturak | 30,52 d-l |
| Ayşekadınçalıyaçıkan | Sırk | 34,30 c-l | Siyah fasulye | Oturak | 29,56 d-l |
| Ayşekadın | Sırk | 59,29 b-j | IPKPHA177045 | Oturak | 16,55 j-l |
| IPKPHA316 | Sırk | 49,70 b-l | IPKPHA494 | Oturak | 17,38 j-l |
| IPKPHA12654 | Sırk | 50,54 b-l | Trabzon barbun | Oturak | 27,35 e-l |
| Basara çalı | Sırk | 45,65 b-l | Yerli 40 günlük | Oturak | 17,69 j-l |
| Rize-10 | Sırk | 62,73 b-l | IPKPHA5017 | Oturak | 28,54 e-l |
| IPKPHA4779 | Sırk | 56,19 b-j | Kanton | Oturak | 15,07 j-l |
| IPKPHA4398 | Sırk | 84,77 b | Mecidiye | Oturak | 19,07 h-l |
| Adana taze | Sırk | 63,11 b-h | IPKPHA4721 | Oturak | 22,83 g-l |
| IPKPHA4815 | Sırk | 40,46 b-l | IPKPHA5011 | Oturak | 17,34 j-l |
| IPKPHA4992 | Sırk | 50,63 b-l | Mercan | Oturak | 16,15 j-l |
| Manalı Trabzon | Sırk | 143,63 a | Önceler 98 | Oturak | 19,05 h-l |
| IPKPHA12651 | Sırk | 58,59 b-j | IPKPHA4386 | Oturak | 8,31 l |
| IPKPHA131 | Sırk | 37,44 j-l | Barbunya | Oturak | 22,47 g-l |
| Rize-6 | Sırk | 73,06 b-d | IPKPHA13761 | Oturak | 26,67 e-l |
| IPKPHA5002 | Sırk | 23,75 f-l | IPKPHA12763 | Oturak | 22,61 g-l |
| IPKPHA12675 | Sırk | 69,64 b-e | IPKPHA4445 | Oturak | 20,81 h-l |
| IPKPHA4384 | Sırk | 42,54 b-l | IPKPHA4972 | Oturak | 20,30 h-l |
| IPKPHA7167 | Sırk | 42,69 b-l | IPKPHA4402 | Oturak | 17,57 j-l |
| IPKPHA241 | Sırk | 24,25 f-l | Yağlı fasulye | Oturak | 18,94 h-l |
| Peru | Sırk | 57,96 b-j | IPKPHA4773 | Oturak | 24,58 f-l |
| IPKPHA7168 | Sırk | 84,14 b | IPKPHA4981 | Oturak | 30,21 d-l |
| IPKPHA132 | Sırk | 42,00 b-l | IPKPHA5001 | Oturak | 22,99 g-l |
| Aksaray ıhlara | Sırk | 66,44 b-g | IPKPHA4414 | Oturak | 42,67 b-l |
| IPKPHA12671 | Sırk | 55,70 b-k | IPKPHA4736 | Oturak | 24,40 f-l |
| Yer | Sırk | 75,19 bc | Yakutiye | Oturak | 24,13 f-l |

Genel Ortalama: 39,98 kg da⁻¹; Sırk Tipi Ortalama: 53,61 kg da⁻¹; Oturak Tipi Ortalama: 21,81 kg da⁻¹

*) Benzer harf ile gösterilen genotip ortalamaları Tukey testine göre $P \leq 0,05$ hata sınırları içerisinde birbirinden farklıdır.

3.4. Ham Kül Oranı (%)

Fasulye genotiplerinin hasat artıklarında saptanan ham kül oranı değerlerine ilişkin ortalamalar ve oluşan gruplar Tablo 5'te verilmiştir. Genotiplere ait ham kül oranı ortalama değerleri %5,29-28,81 arasında değişim göstermiştir (Tablo 5). En yüksek ham kül oranı ortalaması IPKPHA7168 genotipinde %28,81 olarak saptanırken bunu %18,00 ile Artvin barbunya genotipi, %17,35 ile IPKPHA4803 genotipi takip etmiş, en düşük ham kül oranı ortalaması ise IPKPHA429 genotipinde %5,29 olarak saptanmıştır.

Ham kül oranı üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde, maş fasulyesinde Brink and Belay [49] Hollanda'da %7,7, Khatik et al. [50] Hindistan'da %11,43, yerfıstığında Kökten ve ark. [40] (2014) Bingöl'de %11,41-15,08, fiğde Hashalıcı ve ark. [41] Kayseri'de %8,95-11,83, soya fasulyesinde Akıncı [37] Kayseri'de %7,20-11,20, Uslu ve Gedik [42] Kahramanmaraş'ta anasonda %16,51, Akbay ve ark. [51]

Kahramanmaraş'ta maş fasulyesinde %13,03-16,91, Uslu ve ark. [43] Kahramanmaraş'ta yemlik baklada %16,43 ve yemlik bezelyede %13,49 olarak saptanmışlardır. Bulgularımız bazı araştırmacıların bulgularından yüksek, bazıları ile benzer, bazılarından da düşük çıkmıştır. Bu durumun araştırmalarda kullanılan tür çeşit, farklı ekoloji ve uygulanan yöntem farklılıklarından kaynaklandığı söylenebilir.

3.5. Nötr Deterjan Lif (NDF) Oranı (%)

Fasulye genotiplerinin hasat artıklarındaki NDF oranı değerlerine ilişkin ortalamalar ve oluşan gruplar Tablo 6'da verilmiştir. Genotiplere ait NDF oranı ortalama değerleri %48,15-80,00 arasında değişim göstermiştir (Tablo 6). En yüksek NDF oranı ortalaması IPKPHA12675 genotipinde %80,00 olarak saptanırken bunu %75,44 ile IPKPHA7167 genotipi, %69,64 ile Aksaray ıhlara genotipi takip etmiş, en düşük NDF oranı ortalaması ise IPKPHA4398 genotipinde %48,15 olarak saptanmıştır.

Tablo 5. Fasulye genotiplerinin kuru otlarında saptanan ham kül oranı (%) ortalamaları ve oluşan gruplar.

| Genotipler | Tipi | Ortalama | Genotipler | Tipi | Ortalama |
|----------------------|------|-----------|-----------------|--------|----------|
| Artvin barbunya | Sırk | 18,00 ab* | Rize-1 | Sırk | 8,60 b |
| Çubuk Trabzon | Sırk | 6,60 b | Rize-2 | Sırk | 13,26 b |
| IPKPHA429 | Sırk | 5,29 b | Çalı | Sırk | 11,26 b |
| BVAL610697 | Sırk | 10,92 b | IPKPHA4803 | Sırk | 17,35 ab |
| Rize-8 | Sırk | 9,81 b | Eskişehir taze | Sırk | 9,95 b |
| Rize-5 | Sırk | 5,30 b | IPKPHA4785 | Oturak | 6,48 b |
| IPKPHA4378 | Sırk | 9,77 b | IPKPHA5021 | Oturak | 5,62 b |
| IPKPHA169761 | Sırk | 16,48 ab | IPKPHA4739 | Oturak | 9,30 b |
| IPKPHA4716 | Sırk | 10,13 b | IPKPHA4396 | Oturak | 17,30 ab |
| Ayşekadınçalıyaçıkan | Sırk | 6,97 b | Siyah fasulye | Oturak | 12,04 b |
| Ayşekadın | Sırk | 9,06 b | IPKPHA177045 | Oturak | 9,55 b |
| IPKPHA316 | Sırk | 10,06 b | IPKPHA494 | Oturak | 11,56 b |
| IPKPHA12654 | Sırk | 12,69 b | Trabzon barbun | Oturak | 12,29 b |
| Basara çalı | Sırk | 12,04 b | Yerli 40 günlük | Oturak | 10,44 b |
| Rize-10 | Sırk | 11,53 b | IPKPHA5017 | Oturak | 10,90 b |
| IPKPHA4779 | Sırk | 13,55 b | Kanton | Oturak | 12,90 b |
| IPKPHA4398 | Sırk | 9,58 b | Mecidiye | Oturak | 13,75 b |
| Adana taze | Sırk | 13,50 b | IPKPHA4721 | Oturak | 10,98 b |
| IPKPHA4815 | Sırk | 15,70 b | IPKPHA5011 | Oturak | 13,63 b |
| IPKPHA4992 | Sırk | 13,39 b | Mercan | Oturak | 13,00 b |
| Manalı Trabzon | Sırk | 14,14 b | Önceler 98 | Oturak | 11,96 b |
| IPKPHA12651 | Sırk | 10,59 b | IPKPHA4386 | Oturak | 10,06 b |
| IPKPHA131 | Sırk | 9,78 b | Barbunya | Oturak | 10,05 b |
| Rize-6 | Sırk | 13,11 b | IPKPHA13761 | Oturak | 15,18 b |
| IPKPHA5002 | Sırk | 11,05 b | IPKPHA12763 | Oturak | 16,16 ab |
| IPKPHA12675 | Sırk | 13,23 b | IPKPHA4445 | Oturak | 17,28 ab |
| IPKPHA4384 | Sırk | 13,58 b | IPKPHA4972 | Oturak | 11,72 b |
| IPKPHA7167 | Sırk | 15,81 b | IPKPHA4402 | Oturak | 14,35 b |
| IPKPHA241 | Sırk | 16,46 b | Yağlı fasulye | Oturak | 13,78 b |
| Peru | Sırk | 10,62 b | IPKPHA4773 | Oturak | 14,18 b |
| IPKPHA7168 | Sırk | 28,81 a | IPKPHA4981 | Oturak | 7,91 b |
| IPKPHA132 | Sırk | 8,09 b | IPKPHA5001 | Oturak | 10,26 b |
| Aksaray ihlara | Sırk | 7,73 b | IPKPHA4414 | Oturak | 11,07 b |
| IPKPHA12671 | Sırk | 14,23 b | IPKPHA4736 | Oturak | 8,31 b |
| Yer | Sırk | 7,77 b | Yakutiye | Oturak | 10,07 b |

Genel Ortalama: % 11,82 cm; Sırk Tipi Ortalama: % 11,89 cm; Oturak Tipi Ortalama : % 11,73 cm

*) Benzer harf ile gösterilen genotip ortalamaları Tukey testine göre $P \leq 0,05$ hata sınırları içerisinde birbirinden farklıdır.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde NDF oranını, Koivisto et al. [52] soya fasulyesinde %43,5-72,8, Açıkgöz ve ark. [39] Bursa'da %36,2, yerfıstığında Kökten ve ark. [40] Bingöl'de %34,81-45,66, Akıncı [37] Kayseri'de %38,43-44,85, fiğde Kara ve Çomaklı [30] Erzurum'da %38,3-45,0, Yılmaz ve ark. [47] Doğu Akdeniz'de %50,47, Hashalıcı ve ark. [41] Kayseri'de %39,05-46,79, fasulyede Dejenea et al. [36] Etiyopya'da %64,8-73,9, Uslu ve Gedik [42] Kahramanmaraş'ta anasonda %44-52, Akbay ve ark. [51] Kahramanmaraş'ta maş fasulyesinde %55,6-56,65 olarak saptamışlardır. Bulgularımız ile araştırmacıların bulguları arasındaki farklılığın, çeşit, tür, genotip ve yetiştiricilik uygulamalarındaki farklılıklardan kaynaklandığı söylenebilir.

3.6. Asit Deterjan Lif (ADF) Oranı (%)

Fasulye genotiplerinin hasat artıklarında ADF oranı değerlerine ilişkin ortalamalar ve oluşan gruplar Tablo 7'de verilmiştir. Genotiplere ait ADF oranı ortalama değerleri %28,00-58,00 arasında değişim göstermiştir

(Tablo 7). En yüksek ADF oranı ortalaması IPKPHA12675 genotipinde %58,00 olarak saptanırken bunu %48,00 ile IPKPHA4972 genotipi, %46,00 ile IPKPHA4402 ve IPKPHA7167 genotipleri takip etmiş, en düşük ADF oranı ortalaması ise IPKPHA4716 ve IPKPHA316 genotiplerinde %28,00 olarak saptanmıştır.

ADF oranını Koivisto et al. [52] soya fasulyesinde %31,5-57,8, Açıkgöz ve ark. [39] (2013) Bursa'da %29,2, yerfıstığında Kökten ve ark. [40] Bingöl'de %29,60-39,11, Akıncı [37] Kayseri'de %26,56-34,61, fiğde Kara ve Çomaklı [30] Erzurum'da %28,4-35,0, Yılmaz ve ark. [47] Doğu Akdeniz'de %31,45, Hashalıcı ve ark. [41] Kayseri'de %30,01-37,14, fasulyede Dejenea et al. [36] Etiyopya'da %50,2-58,5, Uslu ve Gedik [42] Kahramanmaraş'ta anasonda %34-36, Akbay ve ark. [51] Kahramanmaraş'ta maş fasulyesinde %22,17-29,12 olarak saptamışlardır. Bulgularımızın araştırmacıların bulgularından farklı çıkması tür, genotipik farklılık ve ekolojik koşulların farklılığı ile izah edilebilir.

Tablo 6. Fasulye genotiplerinin kuru otlarında saptanan NDF oranı (%) ortalamaları ve oluşan gruplar.

| Genotipler | Tipi | Ortalama | Genotipler | Tipi | Ortalama |
|----------------------|------|------------|-----------------|--------|-----------|
| Artvin barbunya | Sırk | 55,36 h-o* | Rize-1 | Sırk | 50,91 m-p |
| Çubuk Trabzon | Sırk | 57,14 h-m | Rize-2 | Sırk | 58,18 g-l |
| IPKPHA429 | Sırk | 53,70 ı-p | Çalı | Sırk | 50,91 m-p |
| BVAL610697 | Sırk | 51,85 l-p | IPKPHA4803 | Sırk | 59,65 e-j |
| Rize-8 | Sırk | 53,57 j-p | Eskişehir taze | Sırk | 57,89 g-l |
| Rize-5 | Sırk | 53,70 ı-p | IPKPHA4785 | Oturak | 53,70 ı-p |
| IPKPHA4378 | Sırk | 59,32 f-k | IPKPHA5021 | Oturak | 55,55 h-o |
| IPKPHA169761 | Sırk | 55,35 h-o | IPKPHA4739 | Oturak | 60,00 e-j |
| IPKPHA4716 | Sırk | 52,63 l-p | IPKPHA4396 | Oturak | 48,21 p |
| Ayşekadınçalıyaçıkan | Sırk | 53,57 j-p | Siyah fasulye | Oturak | 55,36 h-o |
| Ayşekadın | Sırk | 50,88 m-p | IPKPHA177045 | Oturak | 51,78 l-p |
| IPKPHA316 | Sırk | 50,91 m-p | IPKPHA494 | Oturak | 50,91 m-p |
| IPKPHA12654 | Sırk | 49,09 op | Trabzon barbun | Oturak | 57,41 h-m |
| Basara çalı | Sırk | 56,67 h-m | Yerli 40 günlük | Oturak | 54,38 ı-p |
| Rize-10 | Sırk | 65,45 c-f | IPKPHA5017 | Oturak | 57,89 g-l |
| IPKPHA4779 | Sırk | 50,91 m-p | Kanton | Oturak | 52,83 k-p |
| IPKPHA4398 | Sırk | 48,15 p | Mecidiye | Oturak | 54,72 ı-p |
| Adana taze | Sırk | 59,65 e-j | IPKPHA4721 | Oturak | 51,85 l-p |
| IPKPHA4815 | Sırk | 50,88 m-p | IPKPHA5011 | Oturak | 51,78 l-p |
| IPKPHA4992 | Sırk | 64,28 c-g | Mercan | Oturak | 52,63 l-p |
| Manalı Trabzon | Sırk | 54,24 ı-p | Önceler 98 | Oturak | 55,55 h-o |
| IPKPHA12651 | Sırk | 50,00 m-p | IPKPHA4386 | Oturak | 59,65 e-j |
| IPKPHA131 | Sırk | 51,78 l-p | Barbunya | Oturak | 56,36 h-n |
| Rize-6 | Sırk | 50,88 m-p | IPKPHA13761 | Oturak | 57,89 g-l |
| IPKPHA5002 | Sırk | 57,14 h-m | IPKPHA12763 | Oturak | 61,40 d-g |
| IPKPHA12675 | Sırk | 80,00 a | IPKPHA4445 | Oturak | 64,28 c-g |
| IPKPHA4384 | Sırk | 54,38 ı-p | IPKPHA4972 | Oturak | 64,28 c-g |
| IPKPHA7167 | Sırk | 75,44 ab | IPKPHA4402 | Oturak | 66,07 c-e |
| IPKPHA241 | Sırk | 67,85 cd | Yağlı fasulye | Oturak | 56,36 h-n |
| Peru | Sırk | 51,85 l-p | IPKPHA4773 | Oturak | 60,34 e-ı |
| IPKPHA7168 | Sırk | 55,55 h-o | IPKPHA4981 | Oturak | 52,72 k-p |
| IPKPHA132 | Sırk | 50,91 m-p | IPKPHA5001 | Oturak | 64,28 c-g |
| Aksaray ıhlara | Sırk | 69,64 bc | IPKPHA4414 | Oturak | 54,54 ı-p |
| IPKPHA12671 | Sırk | 57,14 h-m | IPKPHA4736 | Oturak | 59,65 e-j |
| Yer | Sırk | 67,27 cd | Yakutiye | Oturak | 67,85 cd |

Genel Ortalama: % 56,81; Sırk Tipi Ortalama: % 56,66; Oturak Tipi Ortalama: % 57,00

*) Benzer harf ile gösterilen genotip ortalamaları Tukey testine göre $P \leq 0,05$ hata sınırları içerisinde birbirinden farklıdır.

3.7. Nispi Yem Değeri (NYD)

Nispi yem değeri, kaba yemlerin yem değerini tanımlamada kullanılan bir birimdir [53]. Kaba yem kalitesini belirlemede kullanılan NYD tek bir rakamdan oluşmaktadır. Nispi yem değeri ölçüsü otun fiziksel özelliği ve protein değeri hakkında bilgi vermemekte, protein ve fiziksel özellikleri ile birlikte kullanıldığında iyi bir ölçü oluşturmaktadır [54]. Hesaplama sonucu elde edilen bu rakam yemin değeri hakkında en iyi bilgiyi vermektedir ve kuru otun kalitesi ile ilişki kurmanın doğru ve etkili bir yoludur [55]. Nispi yem değerlerini sınıflandırmada kullanılmak üzere oluşturulan yem kalite standartları Tablo 8'in altında dipnot olarak verilmiştir [56].

Fasulye genotiplerinin kuru otları için hesaplanan nispi yem değerlerine ilişkin ortalamalar ve oluşan gruplar Tablo 8'de verilmiştir. Genotiplere ait nispi yem

değerleri 50,98-128,59 arasında değişim göstermiştir (Tablo 8). En yüksek nispi yem ortalaması IPKPHA4396 genotipinde 128,59 olarak saptanırken bunu 124,83 ile IPKPHA12654 genotipi, 122,99 ile IPKPHA316 genotipi takip etmiş, en düşük nispi yem ortalaması ise IPKPHA12675 genotipinde 50,98 olarak saptanmıştır. Nispi yem değerini yerfıstığında Kökten ve ark. [40] Bingöl'de 120,38-141,56, Kahramanmaraş'ta yaygın fiğde Binici [57] 145, Ova [58] 115,00-133,76, yem bezelyesinde Alhmedi [59] 134,95-140,81 ve Uslu [60] çemende 104,66-192,81 arasında saptamışlardır. Bulgularımız Kökten ve ark. [40], Binici [57], Alhmedi [59] ve Uslu'nun [60] bulduğu değerden düşük, Ova'nın [58] bulguları ile benzerlik göstermiştir. NYD değerlerinin, NDF ve ADF değerleri kullanılarak hesaplanan bir kalite özelliği olması dolayısıyla, NDF ve ADF değerlerinin düşük olması nispi yem değerinin artmasına sebep olmuştur.

Tablo 7. Fasulye genotiplerinin kuru otlarında saptanan ADF oranı (%) ortalamaları ve oluşan gruplar

| Genotipler | Tipi | Ortalama | Genotipler | Tipi | Ortalama |
|----------------------|-------|------------|-----------------|--------|-----------|
| Artvin barbunya | Sırık | 32,00 g-1* | Rize-1 | Sırık | 32,00 g-1 |
| Çubuk Trabzon | Sırık | 38,00 d-g | Rize-2 | Sırık | 36,00 e-h |
| IPKPHA429 | Sırık | 32,00 g-1 | Çalı | Sırık | 36,00 e-h |
| BVAL610697 | Sırık | 30,00 h1 | IPKPHA4803 | Sırık | 38,00 d-g |
| Rize-8 | Sırık | 32,00 g-1 | Eskişehir taze | Sırık | 40,00 c-f |
| Rize-5 | Sırık | 34,00 f-1 | IPKPHA4785 | Oturak | 38,00 d-g |
| IPKPHA4378 | Sırık | 38,00 d-g | IPKPHA5021 | Oturak | 36,00 e-h |
| IPKPHA169761 | Sırık | 34,00 f-1 | IPKPHA4739 | Oturak | 42,00 b-e |
| IPKPHA4716 | Sırık | 28,00 ı | IPKPHA4396 | Oturak | 30,00 h-ı |
| Ayşekadınçalıyaçıkan | Sırık | 32,00 g-1 | Siyah fasulye | Oturak | 36,00 e-h |
| Ayşekadın | Sırık | 30,00 h1 | IPKPHA177045 | Oturak | 32,00 g-1 |
| IPKPHA316 | Sırık | 28,00 ı | IPKPHA494 | Oturak | 30,00 h1 |
| IPKPHA12654 | Sırık | 30,00 h1 | Trabzon barbun | Oturak | 38,00 d-g |
| Basara çalı | Sırık | 32,00 g-1 | Yerli 40 günlük | Oturak | 32,00 g-1 |
| Rize-10 | Sırık | 34,00 f-1 | IPKPHA5017 | Oturak | 36,00 e-h |
| IPKPHA4779 | Sırık | 34,00 f-1 | Kanton | Oturak | 40,00 c-f |
| IPKPHA4398 | Sırık | 36,00 e-h | Mecidiye | Oturak | 42,00 b-e |
| Adana taze | Sırık | 36,00 e-h | IPKPHA4721 | Oturak | 40,00 c-f |
| IPKPHA4815 | Sırık | 36,00 e-h | IPKPHA5011 | Oturak | 38,00 d-g |
| IPKPHA4992 | Sırık | 38,00 d-g | Mercan | Oturak | 34,00 f-1 |
| Manalı Trabzon | Sırık | 32,00 g-1 | Önceler 98 | Oturak | 40,00 c-f |
| IPKPHA12651 | Sırık | 34,00 f-1 | IPKPHA4386 | Oturak | 40,00 c-f |
| IPKPHA131 | Sırık | 36,00 e-h | Barbunya | Oturak | 42,00 b-e |
| Rize-6 | Sırık | 32,00 g-1 | IPKPHA13761 | Oturak | 38,00 d-g |
| IPKPHA5002 | Sırık | 40,00 c-f | IPKPHA12763 | Oturak | 34,00 f-1 |
| IPKPHA12675 | Sırık | 58,00 a | IPKPHA4445 | Oturak | 40,00 c-f |
| IPKPHA4384 | Sırık | 34,00 f-1 | IPKPHA4972 | Oturak | 48,00 b |
| IPKPHA7167 | Sırık | 46,00 bc | IPKPHA4402 | Oturak | 46,00 bc |
| IPKPHA241 | Sırık | 38,00 d-g | Yağlı fasulye | Oturak | 40,00 c-f |
| Peru | Sırık | 36,00 e-h | IPKPHA4773 | Oturak | 42,00 b-e |
| IPKPHA7168 | Sırık | 32,00 g-1 | IPKPHA4981 | Oturak | 36,00 e-h |
| IPKPHA132 | Sırık | 36,00 e-h | IPKPHA5001 | Oturak | 44,00 b-d |
| Aksaray ihlara | Sırık | 34,00 f-1 | IPKPHA4414 | Oturak | 36,00 e-h |
| IPKPHA12671 | Sırık | 36,00 e-h | IPKPHA4736 | Oturak | 36,00 e-h |
| Yer | Sırık | 36,00 e-h | Yakutiye | Oturak | 38,00 d-g |

Genel Ortalama: % 36,28; Sırık Tipi Ortalama: % 35,15; Oturak Tipi Ortalama: % 37,8

*) Benzer harf ile gösterilen genotip ortalamaları Tukey testine göre $P \leq 0,05$ hata sınırları içerisinde birbirinden farklıdır.

4. SONUÇ

Ülkemizde üretilen kaba yem miktarı hayvanlarımızın yaşama payı kaba yem ihtiyaçlarını karşılamadan çok uzaktır. Genel olarak %8'den az ham protein içeren yemlerin, rumen mikroorganizmalarının normal faaliyetlerini sürdürmeleri için gerekli olan amonyağı karşılayamadığı bildirilmiştir [61]. Yine El-Shatnawi and Mohawesh [62], koyunların rasyondaki protein ihtiyacını yaşama payı için %7-9 arasında ve laktasyon dönemi için ise %10-12 olarak bildirmişlerdir. Bundan dolayı besleme amacı ile alternatif yem kaynağı olarak kullanılacak fasulye otunun ham protein değerleri incelendiğinde, %8'in altında protein içeren otların, hayvandaki rumen mikroorganizmalarının faaliyeti için tek başına yeterli olmayacağı söylenebilir. Dolayısı protein oranı açısından değerlendirildiğinde hayvan yetiştiricileri tarafından düşük proteinli fasulye otu kullanıldığında muhakkak yeme bir protein kaynağı ilave edilmelidir. Diğer bir ifade ile protein oranı %8'in

üzerinde olan fasulye hasat artığının doğrudan hayvan beslemede kullanılması, daha düşük orandaki hasat artıklarının ise karma yemlerde katkı maddesi olarak kullanılması uygun olabilir.

Araştırmada, genotipten kaynaklanan farklılıkların verim ve kaliteye yansımalarının yanı sıra, üretimin yapıldığı iklim koşullarının, genotiplerin olgunlaşma ve yüksek verimlerine katkıda bulunduğu saptanmıştır. Bununla birlikte, birim alandan daha fazla kuru madde verimi alınmasının yanı sıra kalite göstergesi olan protein oranı, verimi ve nispi yem değeri yüksek genotiplerin de seçimi önem arz etmektedir. İncelenen özellikler dikkate alındığında, IPKPHA4396 oturak tipi, IPKPHA316 sırık tipi, IPKPHA12654 sırık tipi, Manalı Trabzon sırık tipi, IPKPHA7168 sırık tipi ve IPKPHA4398 sırık tipi genotiplerin, araştırmada yer alan diğer genotiplere göre ot verimi, ham protein oranı, NDF ve ADF oranı ve nispi yem değeri bakımından daha üstün olduğu saptanmıştır.

Tablo 8. Fasulye genotiplerinin kuru otları için saptanan nispi yem değeri ortalamaları ve oluşan Gruplar¹

| Genotipler | Tipi | Ortalama | Genotipler | Tipi | Ortalama |
|----------------------|------|-------------|-----------------|--------|------------|
| Artvin barbunya | Sırk | 109,58 b-j* | Rize-1 | Sırk | 117,28 a-e |
| Çubuk Trabzon | Sırk | 97,02 g-q | Rize-2 | Sırk | 98,69 f-p |
| IPKPHA429 | Sırk | 112,55 a-h | Çalı | Sırk | 111,58 a-h |
| BVAL610697 | Sırk | 118,16 a-d | IPKPHA4803 | Sırk | 92,75 j-s |
| Rize-8 | Sırk | 111,43 a-ı | Eskişehir taze | Sırk | 94,58 h-q |
| Rize-5 | Sırk | 108,67 b-j | IPKPHA4785 | Oturak | 103,27 d-n |
| IPKPHA4378 | Sırk | 94,69 h-q | IPKPHA5021 | Oturak | 102,22 d-o |
| IPKPHA169761 | Sırk | 105,20 c-m | IPKPHA4739 | Oturak | 87,37 m-s |
| IPKPHA4716 | Sırk | 119,14 a-d | IPKPHA4396 | Oturak | 128,59 a |
| Ayşekadınçalıyaçıkan | Sırk | 111,43 a-ı | Siyah fasulye0 | Oturak | 104,30 d-n |
| Ayşekadın | Sırk | 120,20 a-d | IPKPHA177045 | Oturak | 115,50 a-f |
| IPKPHA316 | Sırk | 122,99 a-c | IPKPHA494 | Oturak | 120,13 a-d |
| IPKPHA12654 | Sırk | 124,83 ab | Trabzon barbun | Oturak | 96,58 g-q |
| Basara çalı | Sırk | 105,31 c-m | Yerli 40 günlük | Oturak | 111,03 a-j |
| Rize-10 | Sırk | 88,93 ı-s | IPKPHA5017 | Oturak | 98,07 f-p |
| IPKPHA4779 | Sırk | 114,66 a-g | Kanton | Oturak | 102,03 d-o |
| IPKPHA4398 | Sırk | 119,72 a-d | Mecidiye | Oturak | 95,84 h-q |
| Adana taze | Sırk | 95,18 h-q | IPKPHA4721 | Oturak | 103,95 d-n |
| IPKPHA4815 | Sırk | 111,64 a-h | IPKPHA5011 | Oturak | 107,11 b-l |
| IPKPHA4992 | Sırk | 97,02 g-q | Mercan | Oturak | 112,01 a-h |
| Manalı Trabzon | Sırk | 110,05 b-j | Önceler 98 | Oturak | 97,00 g-q |
| IPKPHA12651 | Sırk | 118,05 a-d | IPKPHA4386 | Oturak | 90,31 k-s |
| IPKPHA131 | Sırk | 109,68 b-j | Barbunya | Oturak | 93,23 ı-r |
| Rize-6 | Sırk | 119,40 a-d | IPKPHA13761 | Oturak | 95,56 h-q |
| IPKPHA5002 | Sırk | 94,29 h-q | IPKPHA12763 | Oturak | 94,81 h-q |
| IPKPHA12675 | Sırk | 50,98 u | IPKPHA4445 | Oturak | 84,63 o-s |
| IPKPHA4384 | Sırk | 107,08 b-l | IPKPHA4972 | Oturak | 74,76 st |
| IPKPHA7167 | Sırk | 65,74 t-u | IPKPHA4402 | Oturak | 75,68 r-t |
| IPKPHA241 | Sırk | 81,50 p-t | Yağlı fasulye | Oturak | 96,73 g-q |
| Peru | Sırk | 111,00 a-j | IPKPHA4773 | Oturak | 86,87 n-s |
| IPKPHA7168 | Sırk | 109,23 b-j | IPKPHA4981 | Oturak | 107,72 b-k |
| IPKPHA132 | Sırk | 111,58 a-h | IPKPHA5001 | Oturak | 79,27 q-t |
| Aksaray ihlara | Sırk | 83,57 p-t | IPKPHA4414 | Oturak | 104,33 d-n |
| IPKPHA12671 | Sırk | 99,37 e-p | IPKPHA4736 | Oturak | 95,18 h-q |
| Yer | Sırk | 84,37 o-s | Yakutiye | Oturak | 82,27 p-t |

Genel Ortalama 101,50; Sırk Tipi Ortalama: 103,97; Oturak Tipi Ortalama: 98,21

*) Benzer harf ile gösterilen genotip ortalamaları Tukey testine göre $P \leq 0,05$ hata sınırları içerisinde birbirinden farklıdır..

¹Nispi yem değeri puanlarının anlamı: "151'den büyükse "en kaliteli yem", 151-125 arasında ise "1. Sınıf yem", 124-103 arasında ise "2. Sınıf yem", 102-87 arasında ise "3. Sınıf yem", 86-75 arasında ise "4. Sınıf yem" ve 75'den küçükse "5. Sınıf yem".

Teşekkür

Bu çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından finansal olarak desteklenmiştir (Proje Numarası: 2018/3-13 YLS).

Not

Bu araştırma makalesi Ziraat Yüksek Mühendisi İbrahim Kılınç'ın yüksek lisans tez çalışmasının bir kısmından hazırlanmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Işık R. Bazı taze fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) genotiplerinin morfolojik ve moleküler karakterizasyonu [yüksek lisans tezi]. Konya: Selçuk Üniversitesi; 2012.
- [2] Şehirli S. Yemeklik dane baklagiller, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları:1089, Ders Kitabı: 314, Ankara; 1988.
- [3] Şehirli S. Türkiye'de yetiştirilen bodur fasulye çeşitlerinin tarla ziraatı yönünden önemli bazı morfolojik ve biyolojik vasıfları üzerinde araştırmalar. Ankara Üni. Zir. Fak. Yay., 474, Ankara; 1971.
- [4] Anonim. Bitkisel üretim istatistikleri. T.C. Başbakanlık Türkiye İstatistik Kurumu; 2018.

- [5] Anonim. Bitkisel üretim istatistikleri. T.C. Başbakanlık Türkiye İstatistik Kurumu; 2019.
- [6] Kuşvuran A, Nazlı Rİ, Tansı V. Türkiye'de ve batı karadeniz bölgesi'nde çayır mera alanları, hayvan varlığı ve yem bitkileri tarımının bugünkü durumu. G O P Ün. Zir. Fak. Derg. 2011;28(2),21-32.
- [7] Azkan N, Kaçar O, Doğangüzel E, Sincik M. Çöplü N. Bursa ekolojik koşullarında farklı ekim zamanlarının nohut hat ve çeşitlerinde verim ve verim öğeleri üzerine etkisi. Türkiye 3. Tarla Bitkileri Kongresi. Çayır Mera Yem Bitkileri ve Yemeklik Tane Baklagiller, Adana; 1999.
- [8] Uslu ÖS, Kaya M. Silaj: hayvancılık işletmelerinin en önemli kaba yem kaynağı. tarım ve hayvancılıkta yapılan çalışmalar ve güncel değişimler. İksad Yayınevi; 2020a. s.1-43.
- [9] Aredo TA, Musimba N. Study on the chemical composition, intake and digestibility of maize stover, tef straw and haricot bean haulms in Adami Tulu District, Ethiopia. Kasetsart J. Soc. Sci. 2003;37,401-407. <http://www.thaiscience.info/Journals/Article/TKJN/10898571.pdf>.
- [10] Ayoade J, Makhambere P, Bodzalekani M. Evaluation of crop residues as feeds for goats. 1. Voluntary intakes, digestibility and nitrogen utilization of groundnut and bean haulms. S. Afr. J. Anim. Sci. 1983;13,12-13.

- <https://www.ajol.info/index.php/sajas/article/view/139466>.
- [11] Ebro A, Tadesse T, Abebe T. The supplementation of haricot bean residue with lablab (*Lablab purpureus*) hay in the diet of Arsi bulls and heifers (*Bos indicus*). *Trop. Sci.* 2005;45,114–117.
- [12] López S, Davies DR, Giraldez FJ, Dhanoa M, Dijkstra J, France J. Assessment of nutritive value of cereal and legume straws based on chemical composition and in vitro digestibility. *J. Sci. Food Agric.* 2005;85,1550-1557.
- [13] Erskine W, Rihawi S, Capper B. Variation in lentil straw quality. *Anim. Feed Sci. Technol.* 1990;28,61–69.
- [14] Grings EE, Tarawali S, Blummel M, Musa A, Fatokun C, Hearne S et al. Cowpea in evolving livestock systems. In: Boukar, O., Coulibaly, O., Fatokun, C.A., Lopez, K., Tamò, M. (Eds.), *Innovative research along the cowpea value chain: proceedings of the fifth world cowpea conference on improving livelihoods in the cowpea value chain through advancement in science*, Held in Saly, <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/33516>; 2012. p. 322-333.
- [15] Larbi A, Dung D, Olorunju P, Smith J, Tanko R, Muhammad I et al. Groundnut (*Arachis hypogaea*) for food and fodder in crop-livestock systems: forage and seed yields, chemical composition and rumen degradation of leaf and stem fractions of 38 cultivars. *Anim. Feed Sci. Technol.* 1999;77,33–47.
- [16] Omokanye A, Onifade O, Olorunju P, Adamu A, Tanko R, Balogun R. The evaluation of dual-purpose groundnut (*Arachis hypogaea*) varieties for fodder and seed production at Shika, Nigeria. *J. Agric. Sci.* 2001;136,75–79.
- [17] Uslu ÖS, Kızılsimşek M, Balcı F. Kaba yem üretimi ve ihtiyacı yönünden Kahramanmaraş ilinin genel durumu. *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi.* 2020b;9(2),1-14.
- [18] Anonim. Kahramanmaraş meteoroloji il müdürlüğü verileri. Kahramanmaraş. 2018a.
- [19] Anonim. Sivas şarkışla toprak analiz laboratuvarı analiz sonuçları. Sivas. 2018b.
- [20] Kaçar B. Bitki ve toprağın kimyasal analizleri: II. bitki analizleri. Ankara Üniversitesi Basımevi: Ankara; 1972.
- [21] Van Soest PJ, Robertson JD, Lewis BA. Methods for dietary fibre, neutral detergent fibre and non-starch polysaccharides in relation to animal Nutrition. *J of Dairy Sci.* 1991;74,3583-3597.
- [22] Sheaffer CC, Peterson MA, Mccalin M, Volene JJ, Cherney JH, Johnson KD, et al. Acid detergent fibre, neutral detergent fibre concentration and relative feed value. North American Alfalfa Improvement Conference, Minneapolis; 1995.
- [23] Parlak AÖ. Bazı yapay mera karışımlarında ekim yöntemleri ve azot dozlarının yem verimi ve kalitesine etkileri [doktora lisans tezi]. Ankara: Ankara Üniversitesi; 2005.
- [24] Kutlu HR. Yem değerlendirme ve analiz yöntemleri. Ç.Ü. Ziraat Fak. Zootečni Bölümü, Ders Notu: Adana; 2008.
- [25] Anonim. Nitrogen Determination by Kjeldahl Method; 2019 [erişim tarihi 25 Aralık 2019]. https://www.itwreagents.com/uploads/20180114/A173_EN.pdf.
- [26] SAS. SAS Institute. SAS 9.4 user's guide. SAS Inst., Cary, NC; 2014.
- [27] Steel RGD, Torrie JH. Principles and procedures of statistics; McGraw-Hill: New York, NY: USA;1960.
- [28] Çil AN, Çil A, Yücel C, Açıkgöz E. 2007. Harran ovası koşullarında bazı bezelye (*Pisum sativum* L.) hatlarının verim ve verim özellikleri. Türkiye VII. Tarla Bitkileri Kongresi, 25-27 Haziran Erzurum; 2007.
- [29] Zeybek A. Bazı fiğ türlerine ait çeşitlerin Tekirdağ şartlarında verim ve tarımsal özelliklerinin belirlenmesi [yüksek lisans tezi]. Konya: Selçuk Üniversitesi; 2010.
- [30] Kara İ, Çomaklı B. Erzurum ilinde farklı dönemlerde hasat edilen adi fiğ, macar fiği ve yem bezelyesinde ot verimi ve ot kalitesinin değişimi [yüksek lisans tezi]. Erzurum: Atatürk Üniversitesi; 2013.
- [31] Önder Ö. Niksar/Tokat koşullarında kimi adi fiğ (*Vicia sativa* L.) çeşitlerinde farklı ekim zamanlarının ot ve tohum verimi ile verim özelliklerine etkisi [yüksek lisans tezi]. İzmir: Ege Üniversitesi; 2014.
- [32] Seydoşoğlu S. Diyarbakır ekolojik koşullarında bazı adi fiğ (*Vicia sativa* L.) genotiplerinin verim ve verim unsurlarının belirlenmesi üzerine araştırma. Türkiye Tar. Araş. Derg. 2014;1(2),117-127.
- [33] Erdoğdu İ, Sever A, Atalay A. Eskişehir koşullarında Macar fiği (*Vicia pannonica* Crantz.) hat ve çeşitlerinde yem ve tohum verimleri. T B M Araş. Ens. Derg. 2016;25(2),230–234.
- [34] Eviz Ş, Turan N, Zorer ÇŞ. Siirt şartlarında kışlık olarak ekilen bazı macar fiği çeşit ve hatlarının verim ve verim unsurlarını belirlenmesi [yüksek lisans tezi]. Siirt: Siirt Üniversitesi; 2016.
- [35] Budak F. Iğdır ekolojik şartlarında bazı Macar fiğ (*Vicia pannonica* Crantz) çeşitlerinin verim ve verim komponentlerinin belirlenmesi. KSÜ Doğa Bil. Derg. 2017;20,28-32.
- [36] Dejenea M, Dixonb RM, Duncanc AJ, Wolde-meskelc E, Walshd KB, McNeille D. Variations in seed and post-harvest residue yields and residues quality of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) as a ruminant feedstuff. *Animal Feed Sci. and Tech.* 2018;244, 42–55
- [37] Akıncı Y. Farklı soya çeşitlerinin ot verimi ve kalitesinin belirlenmesi [yüksek lisans tezi]. Kayseri: Erciyes Üniversitesi; 2019.
- [38] Güngör T, Başalan M, Aydoğan I. Kırıkkale yöresinde üretilen bazı kaba yemlerde besin madde miktarları ve metabolize olabilir enerji düzeylerinin belirlenmesi. A Ü Vet. Fak. Derg. 2008;55,111-115.
- [39] Açıkgöz E, Sincik M, Wietgreffe G, Sürmen M, Çeçen S, Yavuz T, et al. Dry matter accumulation and forage quality characteristics of different

- soybean genotypes. Turkish J of Agric. and For. 2013;37,22-32.
- [40] Kökten K, Kaplan M, Seydoşoğlu S, Özdemir S, Boydak E. Farklı yerfıstığı (*Arachis hypogaea*) çeşitlerinin kuru otlarına ait hayvan besleme değerlerinin belirlenmesi. Türk Tarım ve Doğa Bil. Derg. 2014;1(2),156-160.
- [41] Hashalıcı S, Uzun S, Özaktan H, Kaplan M. Kayseri kıraç koşullarında yetiştirilen bazı Macar fiği çeşitlerinin ot verimleri ve kalitelerinin belirlenmesi. E Ü Vet. Fak. Derg. 2017;14(2),113-123.
- [42] Uslu ÖS, Gedik O. Anason otunun yem katkı maddesi olarak kullanım potansiyelinin araştırılması. III. International Mediterranean Forest and Environment Symposium. 03-05 October Kahramanmaraş; 2019.
- [43] Uslu ÖS, Akbay F, Erol A. Yemlik bezelye ve yemlik bakla bitki kısımlarının kalite özellikleri ve mineral madde içeriklerinin belirlenmesi. Türk Doğa ve Fen Derg. 2020c;9(1),118-124.
- [44] Maneerat W, Prasanpanich S, Tumwasorn S, Laudadio V, Tufarelli V. Evaluating agro-industrial by-products as dietary roughage source on growth performance of fattening steers. Saudi J of Biol. Sci. 2015;22,580-584.
- [45] Nurfeta A, Tolera A, Eik LO, Sundstøl F. Feeding value of ensiled (*Ensete ventricosum*), *Desmodium intortum* hay and untreated or urea and calcium oxide treated wheat straw for sheep; 2007. Doi: 10.1111/j.1439-0396.2007.00784.x.
- [46] Acar R, Mülayim M. Konya'da bazı yem bitkilerinin doğrudan anıza ekim yöntemiyle ikinci ürün olarak yetiştirilmesi. Bahri Dağdaş Bit. Araş. Derg. 2014;1(2),20-25.
- [47] Yılmaz Ş, Özel A, Atak M, Erayman M. Effects of seeding rates on competition indices of barley and vetch intercropping systems in the Eastern Mediterranean. Turkish J of Agric. and For. 2015;9,135-143.
- [48] Çaçan E, Kökten K, Kaplan M, Yılmaz HŞ. Bazı adi fiğ hat ve çeşitlerinin (*Vicia sativa* L.) ot verimi ve ot kalitesi açısından değerlendirilmesi. Harran Tar. ve Gıda Bil. Derg. 2018;22(1):47-61.
- [49] [49] Brink M, Belay G. Plant resources of tropical africa 1- cereals and pulses, Wageningen, PROTA Foundation, Netherlands: Backhuys Publishers; 2006.
- [50] [50] Khatik KL, Vaishnava CS, Gupta L. Nutritional evaluation of green gram (*Vigna radiata* L.) straw in sheep and goats. Indian J. Small Rumin. 2007;3(2),196-198.
- [51] [51] Akbay F, Uslu ÖS, Erol A. Farklı zamanlarda ekilen maş fasulyesinin (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) bazı tarımsal özellikleri ve ot kalitesi üzerine bir araştırma. Türk Tarım-Gıda Bilim ve Tek. Derg. 2020;8(5):1160-1165.
- [52] [52] Koivisto JMTE, Devine GPF, Lane C, Sawyer A, Brown HJ. Forage soybeans (*Glycine max* L. Merr.) in the United Kingdom: Test of New Cultivars: Agronomie; 2003.
- [53] [53] Henning JC, Lacefield GD, Amaral-philips D. Interpreting Forage Quality Reports Cooperative Extension Service. ID-101; 2000.
- [54] [54] Ball DM, Hovelend CS, Lacefield GD. Forage quality in southern forages. Potash & Phosphate Institute. Norcross, Georgia; 1996. p.124-132
- [55] Tremblay M. A tool for determining alfalfa quality. Saskatchewan Agriculture and Food. Saskatchewan; 1998.
- [56] Rivera D, Parish J. Interpreting forage and feed analysis report. 2620, Mississippi State University; 2010.
- [57] Binici N. Kahramanmaraş şartlarında bazı fiğ (*Vicia* sp.) türleri ve buğday (*Triticum* sp.) karışım oranlarının ot verimi ve kalitesi üzerine etkileri [yüksek lisans tezi]. Kahramanmaraş: Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi; 2020.
- [58] Ova M. Kahramanmaraş şartlarında farklı olgunlaşma dönemlerinde biçilen bazı fiğ (*Vicia* sp.) türlerinin verim ve ot kalitelerinin belirlenmesi [yüksek lisans tezi]. Kahramanmaraş: Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi; 2020.
- [59] Alhamedi M. Kahramanmaraş şartlarında yem bezelyesinin (*Pisum sativum* L.) yulaf (*Avena fatua* L.) ile karışım oranlarının ot verimi ve kalitesi üzerine etkileri [yüksek lisans tezi]. Kahramanmaraş: Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi; 2021.
- [60] Uslu OS. Potential nutritive value of *Trigonella spicata* hay harvested at different maturity stages. Progr Nutr [Internet]. 2020Aug.19 [cited 2021Feb.11];23(2). Available from: https://mattioli1885journals.com/index.php/progres_sinnutrition/article/view/9944
- [61] Norton BW [Internet]. The nutritive value of tree legumes; 2003. [cited 2021Feb.11]. Available from: <http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/Publicat/Gutt-shel/x5556e0j.htm>. pp.1-10
- [62] El-Shatnawi MK, Mohawesh YM. Seasonal chemical composition of saltbush in semiarid grassland of Jordan. J of Range Manag. 2000;53:211-214.



Suruç'ta (Şanlıurfa-Türkiye) Bazı Şifalı Bitkilerin Geleneksel Kullanımları

Serhan YALÇIN¹, Hasan AKAN², Uğur ÇAKILCIOĞLU^{3*}

^{1,2} Harran Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye

³ Munzur Üniversitesi, Pertek Sakine Genç MYO, Tunceli, Türkiye

Serhan YALÇIN ORCID No: 0000-0002-6379-8748

Hasan AKAN ORCID No: 0000-0002-3033-4349

Uğur ÇAKILCIOĞLU ORCID No: 0000-0002-3627-3604

*Sorumlu yazar: ucakilcioglu@yahoo.com

(Alınış: 15.02.2021, Kabul: 22.04.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Anahtar Kelimeler
 Suruç,
 Tıbbi bitkiler,
 Geleneksel tedavi,
 Şanlıurfa,
 Turkey

Öz: Bu çalışma, 2019-2020 yılları arasında yapılmış olup, Şanlıurfa'nın Suruç ilçesi ve bazı köylerinde bölge halkı tarafından kullanılan tıbbi bitkilerin tespiti amacıyla yapılmıştır. 50 kaynak kişi ile yapılan görüşmeler sonucu 41 familya ve ait 78 takson tespit edilmiştir. Kaynak kişilerin demografik bilgileri, yerel bitkilerin isimleri, kullanılan kısımları ve hazırlama yöntemleri araştırılarak kayıt altına alınmıştır. Topladığımız bitkiler teşhisi yapıldıktan sonra Harran Üniversitesi herbaryumunda muhafaza edilmektedir. Ayrıca taksonların bilimsel isimleri yöresel isimleri ve kullanım değeri hesaplanıp tablo halinde sunulmuştur. Yaptığımız çalışmada en fazla takson içeren familyalar sırasıyla; *Lamiaceae* 14 takson (% 18), *Apiaceae* 6 takson (% 8), *Rosaceae* 6 takson (% 8), *Malvaceae* 5 takson (% 6) *Fabaceae* takson 4 (% 5), *Asteraceae* 4 takson (% 5) takson. En fazla takson içeren cinsler; *Alkanna* Tausch, *Hibiscus* L., *Lavandula* L., *Prunus* L., *Rosa* L., *Salvia* L. ve *Teucrium* L. dur. Bitkiler en fazla infüzyon ve dekoksasyon yapılarak kullanılmaktadır. Tıbbi amaçlar için en yoğun kullanılan bitki kısımları; çiçek, meyve, tohum, toprak üstü kısımları, tüm bitki, kök ve yapraklardır. Suruç'taki yabancı ve kültür bitkileri geleneksel olarak çeşitli hastalıkların tedavisinde kullanılır. Yapılan literatür taraması sonucunda, Suruç'ta kullanılan bitkilerin ülkemizin farklı yerlerinde benzer ya da farklı hastalıkların tedavisinde kullanıldığını görülmüştür.

Traditional Uses of Some Medicinal Plants in Suruç (Şanlıurfa-Turkey)

Keywords
 Medicinal plants,
 traditional use,
 Suruç,
 Şanlıurfa,
 Turkey

Abstract: This study was carried out between 2019 and 2020 years and was carried out to determine the medicinal plants used by the local people in Suruç district and some villages. As a result of interviews with 50 informant people, 41 families and 78 taxa were identified. The demographic information of the informant people, the names of the local plants, the parts used and the preparation methods were searched and recorded. After the identification of the collected plants, they are kept in a herbarium at Harran University. In addition, the usage value of the scientific and local names of taxa was calculated and presented in a table. In our study, the families with the most taxa are; *Lamiaceae* 14 taxa (18%), *Apiaceae* 6 taxa (8%), *Rosaceae* 6 taxa (8%), *Malvaceae* 5 taxa (6%) *Fabaceae* taxa 4 (5%) and *Asteraceae* 4 taxa (5%). Genus with the most taxa; *Mentha* L. has 3 taxa, *Alkanna* Tausch, *Hibiscus* L., *Lavandula* L., *Prunus* L., *Rosa* L., *Salvia* L. and *Teucrium* L. Plants are mostly used by infusion and decoction. The parts of the plant most used for medicinal purposes; flowers, fruits, seeds, aboveground parts, whole plant, roots and leaves. Wild and cultivated plants in Suruç are traditionally used in the treatment of various diseases. As a result of our literature review, it has been observed that the plants used in Suruç are used in the treatment of similar or different diseases in different parts of our country.

1. GİRİŞ

Bitkiler insanlar tarafından 19. yüzyılın ortalarına kadar başlıca tedavide kullanılan maddelerdi ve günümüzde de tıptaki rolleri hala geçerli olmakla birlikte tıp dışında da farklı alanlarda kullanımları devam etmektedir [1-4].

Etnobotanik insan-bitki ilişkilerini ifade etmektedir. Etnobotanik kelimesi, etno; insan ya da halk çalışması, botanik ise bitki bilimi anlamına gelmektedir. Etnobotanik araştırmalar deneme yanılma yoluyla ve uzunca bir süreçte, çağdan çağa aktararak günümüze kadar ulaşmış olan önemli bilgilerdir. Fakat teknolojinin gelişmesiyle ve şehir hayatına olan ilginin artmasıyla etnobotaniksel bilgilerin kaybolması sorunu gündeme gelmektedir. Gözleme ve geleneksel sözlü aktarıma dayanan bu mirasın köyden kente göçle doğadan kopuş ve kuşaklar arası iletişim eksikliği gibi nedenlerle genç nesillere aktarılmadan ve bilimsel olarak kaydedilmeden yok olduğu gözlenmektedir. Bu nedenle bu bilgilerin düzenli bir şekilde yazılı hale getirilmesi kaçınılmaz bir gerekliliktir [5-6].

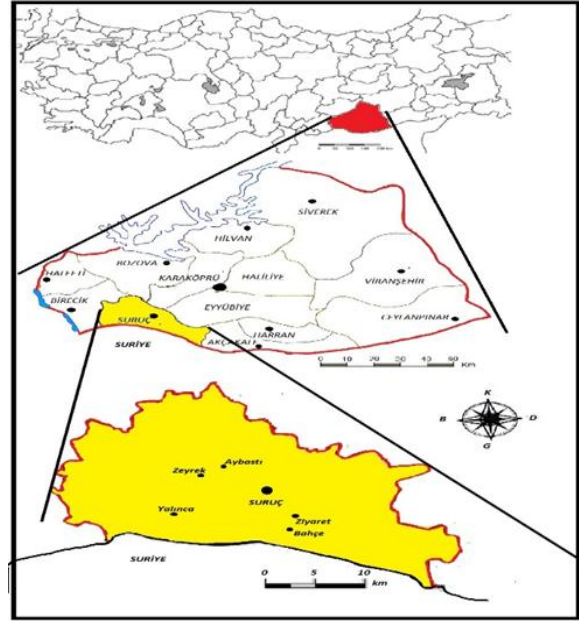
Ülkemizin floristik yapısı incelendiğinde sahip olduğu bitki zenginliğiyle dünyada önemli ülkeler arasında yer aldığını görülebilmektedir. Türkiye Bitkileri Listesi kitabındaki bilgiler doğrultusunda Türkiye’de 167 familya, 1320 cins ve bu cinslere ait toplam 11,707 takson bulunmaktadır. Bu taksonlardan 3,649’u ülkemiz için endemiktir. Dünyada tıbbi değer taşıyan ortalama 20,000 bitkinin ise yaklaşık 600’ü ülkemizde yetişmektedir [7-10].

Ülkemizde bitkisel tedaviye büyük bir ilgi vardır ve tıbbi bitkilerle ilgili bilgiler kuşaktan kuşağa aktararak günümüze kadar gelmiştir [11].

Ülkemizin zengin bitki örtüsü olmasına rağmen etnobotanik araştırma yapılmayan yöreler mevcuttur. Bu çalışma ile Suruç ve çevre köylerinde geleneksel etnobotanik bilgilerin tespit edilmesi, yapılacak etnobotanik çalışmalara kaynak olması ve bitki insan arasındaki ilişkiyi gelecekteki kuşaklara aktarması amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışma 2019-2020 yılları arasında yaklaşık iki yıl süren Şanlıurfa’nın Suruç (Şekil 1) ilçesinde ki bazı köylerde (Aybastı, Bahçe, Yalınca, Zeyrek ve Ziyaret) etnobotanik çalışmalar yapılmıştır. Bu köyler daha sonra mahalli idareler kanunu ile mahalle haline dönüştürülmüştür [12].



Şekil 1. Çalışma alanının haritası

Suruç ilçesi, Şanlıurfa ilinin 45 km Güneybatısındadır. İlçenin rakımı 500 metre civarındadır. Güvercik, Cudi ve Devres dağları ile çevrili olup güneyinde Suriye bulunmaktadır. İlçe nüfusu 100,000 civarındadır. Bölge “Yarı Kurak” iklim bölgesine girmektedir [13]. Yıllık ortalama sıcaklık 18 °C, yıllık ortalama yağış miktarı ise 457 mm’dir. Yazları sıcak ve kurak, kışları ise nispeten ılık geçer. Temmuz ve ağustos ayları bölgenin en sıcak dönemidir [14].

İlçenin yüzölçümünün yaklaşık %90’ını tarım alanları oluşturmaktadır olup %10’luk kısmını da orman, çayır, mera ve tarım dışı alanlar oluşturmaktadır. Suruç’ta buğday, arpa, mısır, pamuk ve baklagiller gibi bazı bitkilerin kültürü yapılmaktadır. Az miktarda da antepfıstığı, zeytin, susam, nohut, zeytin, sebze ve meyve yetiştiriciliği yapılmaktadır. Bölgede Suruç narı meşhur olup, adına festivaller düzenlenmektedir [15].

Bölgede şifalı bitkiler konusunda deneyimli olan bazı “şifacı” adı verilen kişiler ve 50 kaynak kişi ile görüşmeler yapılmıştır. Kaynak kişilerin demografik bilgileri Tablo 1’de verilmiştir. Suruç ve çevresinde de yerel halk yoğun olarak Kürtçe konuşmaktadır. Zazaca ve Arapça yörede çok az konuşulmaktadır. Kaynak kişilere, bitkinin yöresel ismi, hangi amaçla kullanıldığı, kullanılan kısmı ve kullanım şekli sorularak kayıt altına alınmıştır. Kullanılan bitki örnekleri toplanıp fotoğrafları çekilmiştir. Araştırmada elde edilen bitki örnekleri teşhisi yapıldıktan sonra, Harran Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Herbariyumu (HUH)’unda saklanmaktadır. Etnobotanik çalışmalar sonucu elde edilen bitkiler familya sırasına göre listelenmiştir. Tespit edilen bitkilerin familya isimleri, bilimsel ve yöresel isimleri, bitkinin kullanılan kısımları bitkilerin kullanım yeri ve şekli, bitkilerin kullanım değeri (KD) tablo halinde sunulmuştur (Tablo 2).

Bitkilerin teşhisinde Türkiye Florası ve Resimli Türkiye Florası isimli eserlerin çeşitli ciltlerinden yararlanılmıştır [16-20].

Tablo 1. Kaynak kişilerin demografik bilgileri

| No | Kaynak Kişi | Cinsiyet | Yaş | İkamet | Meslek/öğrenim durumu |
|----|-------------|----------|-----|---------|-------------------------------|
| 1 | İ. Yalçın | E | 50 | Merkez | Esnaf / Lise |
| 2 | M.T. Yalçın | E | 28 | Merkez | Esnaf / Lise |
| 3 | M. Yalçın | E | 25 | Merkez | Esnaf / Önlisans |
| 4 | R. Ateş | E | 31 | Merkez | Esnaf / Ortaokul |
| 5 | A. Ateş | E | 26 | Merkez | Esnaf / Lise |
| 6 | M. Şimşek | E | 56 | Merkez | Esnaf / Önlisans |
| 7 | N. Çankaya | E | 60 | Merkez | Esnaf / İlkokul |
| 8 | A. Çankaya | E | 25 | Merkez | Esnaf / Üniversite |
| 9 | M. Güneş | E | 55 | Merkez | Esnaf / İlkokul |
| 10 | M. Açıl | E | 42 | Aybastı | İmam / Önlisans |
| 11 | M. Akşimşek | E | 50 | Aybastı | Çiftçi / İlkokul |
| 12 | M. Akşimşek | E | 60 | Aybastı | Çiftçi / İlkokul |
| 13 | Ş. Akkaya | E | 64 | Aybastı | Çiftçi / Okumamış |
| 14 | M.E. Ülgen | E | 50 | Aybastı | İşçi / İlkokul |
| 15 | N. Kargal | E | 40 | Aybastı | Çiftçi / Okumamış |
| 16 | A. Akbalık | E | 56 | Aybastı | Çiftçi / İlkokul |
| 17 | İ.H. Akkuş | E | 71 | Aybastı | Emekli / Lise |
| 18 | Ö. Aksu | E | 32 | Bahçe | Ziraat Mühendisi / Üniversite |
| 19 | R. Aksu | E | 30 | Bahçe | Diş Hekimi / Üniversite |
| 20 | O. Aksu | E | 40 | Bahçe | Öğretmen / Üniversite |
| 21 | C. Aksu | E | 28 | Bahçe | İşçi / Lise |
| 22 | İ. Aksu | E | 70 | Bahçe | Çiftçi / İlkokul |
| 23 | M. Aksu | E | 75 | Bahçe | Çiftçi / Okumamış |
| 24 | İ. Aksu | E | 37 | Bahçe | İşçi / Ortaokul |
| 25 | O. Aksu | E | 28 | Bahçe | Çiftçi / İlkokul |
| 26 | E. Aksu | E | 26 | Bahçe | Öğrenci / Üniversite |
| 27 | A. Gülmüş | E | 27 | Bahçe | Çiftçi / Lise |
| 28 | A. Yalçın | E | 45 | Bahçe | Öğretmen / Üniversite |
| 29 | M. Aslan | E | 40 | Ziyaret | İmam / Üniversite |
| 30 | O. Birgül | E | 35 | Ziyaret | Ziraat Mühendisi / Üniversite |
| 31 | D. Birgül | E | 40 | Ziyaret | Mühendis / Üniversite |
| 32 | S. A. Taş | E | 65 | Ziyaret | Çiftçi / İlkokul |
| 33 | Ö. Çaklayan | E | 60 | Ziyaret | İşçi / İlkokul |
| 34 | O. Çaklayan | E | 40 | Ziyaret | İşçi / İlkokul |
| 35 | İ. Çaklayan | E | 45 | Ziyaret | İşçi / İlkokul |
| 36 | Ş. Yalçın | K | 65 | Yalınca | Ev Hanımı / Okumamış |
| 37 | V. Koştı | K | 63 | Yalınca | Ev Hanımı / Okumamış |
| 38 | F. Yavuzer | K | 70 | Yalınca | Ev Hanımı / Okumamış |
| 39 | F. Yalçın | E | 66 | Yalınca | Çiftçi / İlkokul |
| 40 | M. Yalçın | E | 70 | Yalınca | Muhtar / İlkokul |
| 41 | M. Laçın | E | 35 | Yalınca | Çiftçi / Okumamış |
| 42 | H. Laçın | E | 40 | Yalınca | Çiftçi / Okumamış |
| 43 | Z. Şahin | K | 70 | Yalınca | Ev Hanımı / Okumamış |
| 44 | A. Öge | E | 70 | Zeyrek | Çiftçi / Okumamış |
| 45 | Ş. Öge | E | 72 | Zeyrek | Emekli / İlkokul |
| 46 | H. Öge | E | 35 | Zeyrek | Esnaf / İlkokul |
| 47 | M. Öge | E | 30 | Zeyrek | İşçi / Ortaokul |
| 48 | M. Öge | E | 40 | Zeyrek | İşçi / İlkokul |
| 49 | M. Öge | E | 45 | Zeyrek | Esnaf / İlkokul |
| 50 | S. Öge | E | 40 | Zeyrek | Esnaf / İlkokul |

Yerel olarak bilinen türlerin göreceli önemini gösteren nicel bir yöntem olan kullanım değeri [21], aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır ve tabloda verilmiştir (Tablo 2).

Kullanım Değeri (KD) = A / B, burada KD, bir türün kullanım değerini ifade eder;

A: Takson başına atıf sayısı

B: Bilgi veren kişi sayısı

3. BULGULAR

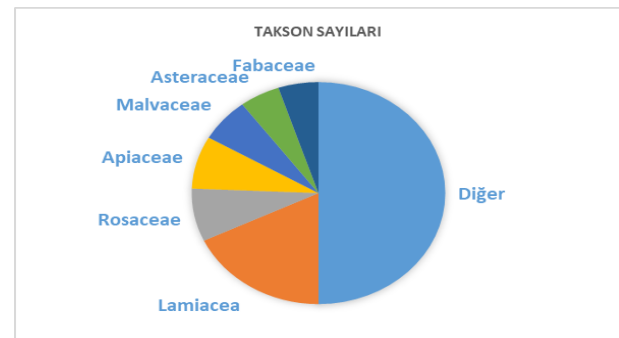
Suruç'ta yüz yüze yaptığımız araştırmada kaynak kişilerle yüz yüze görüşülmüştür (Şekil 2). Görüşme yaptığımız kaynak kişilerin yaş ortalaması 47 bulunmuştur. Yaşlı kişilerin eğitim durumu düşük ancak bitki kullanım deneyimlerinin fazla olduğu gözlenmiştir. Özellikle Aybastı mahallesinde emekli öğretmen İbrahim Halil Akkuş'un "eko dede" unvanıyla tanınan bir kişi olduğu, hatta "Doğa ve İnsan" isimli bir popüler dergi yayımladığı tespit edilmiştir. Bu kişilerin eğitim durumlarına baktığımızda 10 kişi (%20) okula gitmemiş, 19 kişi (%38) ilkokul mezunu, 3 kişi (%6) ortaokul mezunu, 6 kişi (%12) lise mezunu, 12 kişi (%24) üniversite mezunudur. Görüşme yapılan kaynak kişinin meslek durumlarına baktığımızda çiftçi %28, esnaf %24, işçi %16, ev hanımı %8 ve diğer meslekler %20 oranındadır.



Şekil 2. Bölge halkı ile görüşmeler

Suruç ilçesi ve bazı köylerde yapılan etnobotanik çalışmada yerel halkın 41 familyaya ait 78 taksonun kullanıldığı tespit edilmiştir (Tablo 2). Bölgemizde daha önce etnobotanik bir çalışma yapılmamıştır. Fakat araştırma alanımıza yakın yerlerde daha önceden birkaç çalışma vardır [22-27].

Çalışmamızda Lamiaceae 14 takson (%18) ile en fazla takson içeren familyadır. Diğer taksonlar sıra ile Apiaceae 6 takson (% 8), Rosaceae 6 takson (% 8), Malvaceae 5 takson (%6) Fabaceae takson 4 (%5), Asteraceae 4 takson (%5) takson içermektedir (Şekil 3).



Şekil 3. En fazla takson içeren familyalar

Tablo 2. Araştırma alanında kullanılan şifalı bitkiler

| Familiya | Bilimsel ad ve toplayıcı no | Yöresel ad | Kullanılan kısmı | Kullanım yeri ve şekli | KD |
|----------------|---|--|------------------|---|------|
| Amaranthaceae | <i>Chenopodium vulvaria</i> L. SY 1018 | Gihayiballuk | Tüm bitki | Siğil ve nasır için merhem halinde sürülür | 0.02 |
| Amaryllidaceae | <i>Allium sativum</i> L. SY 1025 | Sarımsak | Meyve | Hipertansiyon, kolesterol, bağırsak kurtları için tüketilir | 0.36 |
| Anacardiaceae | <i>Rhus coriaria</i> L. SY 1070 | Sumak | Meyve | İshal, mide rahatsızlıkları, iştah açıcı ve zehirlenmelerde yoğurtla yenir | 0.12 |
| Apiaceae | <i>Ammi visnaga</i> (L.) Lam. SY 1018 | Diş otu, Kürdanotu, Drankoz | Çiçek, Dal | Diş ağrıları için bitki çiğnenir. Böbrek taşlarını için infüzyonu kullanılır | 0.02 |
| Apiaceae | * <i>Coriandrum sativum</i> L. SY 1029 | Kişiş, Kizber, Kezber | Tohum, meyve | Dolaşım ve sindirim düzenleyici olarak bal ile karıştırılıp yenir | 0.02 |
| Apiaceae | * <i>Cuminum cyminum</i> L. SY 1035 | Kimyon, Kemun | Tohum, meyve | Kolesterol ve sindirim düzenleyici ayrıca bronşit için infüzyonu kullanılır | 0.04 |
| Apiaceae | <i>Eryngium campastre</i> L. SY 1045 | Boğa diken | Toprak üstü | Afrodizyak, balgam ve ödem söktürücü ayrıca böbrek taşlarını düşürmek amacıyla infüzyon kullanılır | 0.06 |
| Apiaceae | <i>Ferula orientalis</i> L. SY 1051 | Kingor | Kök | Afrodizyak, iltihap kurutucu ve kısırlığı önleyici amaçlar için infüzyonu kullanılır | 0.17 |
| Apiaceae | <i>Foeniculum vulgare</i> Mill. SY 1017 | Rezene, Boy | Meyve, Tohum | Süt arttırıcı, bebeklerde gaz giderici ve sakinleşici olarak infüzyonu kullanılır | 0.03 |
| Apiaceae | * <i>Pimpinella anisum</i> L. SY 1071 | Anason | Meyve, Tohum | Gaz giderici, iştah açıcı ve süt arttırıcı ayrıca hazımsızlık ve iştahsızlık için infüzyonu kullanılır | 0.09 |
| Asteraceae | <i>Achillea oligocephala</i> DC. SY 1088 | Civanperçemi | Toprak üstü | Akne, hemoroit, iltihap kurutucu, iştah açıcı, sancı kesici olarak infüzyonu kullanılır | 0.04 |
| Asteraceae | <i>Carthamus tinctorius</i> L. SY 1020 | Aspir, Haspir, Diken, Yalancı safran, Zafur | Çiçek | Adet söktürücü ve kabızlık için dekoksionu kullanılır | 0.05 |
| Asteraceae | <i>Helichrysum orientale</i> (L.) Vaill. SY 1041 | Altın otu, Ölmez çiçek | Toprak üstü | İdrar söktücü ve prostat için infüzyonu kullanılır | 0.10 |
| Asteraceae | <i>Matricaria chamomilla</i> L. SY 1009 | Papatya, Mayıs papatyası | Toprak üstü | Nezle, grip, bronşit ve nefes darlığı için infüzyonu kullanılır | 0.08 |
| Berberidaceae | <i>Bongardia chrysogonum</i> (L.) Spach SY 1135 | Gihayiğazzal | Yumru | İdrar yolları, hemoroit ve diyabette dekoksionu kullanılır | 0.04 |
| Boraginaceae | <i>Alkanna orientalis</i> (L.) Boiss. SY 1140 | Mitmitok, Fıfıso | Çiçek | Çocuklarda korku için infüzyonu kullanılır | 0.02 |
| Boraginaceae | <i>Alkanna tinctoria</i> (L.) Tausch SY 1016 | Havacıya otu, Havaco | Kök | Gastrit, ülser ve kabızlık için infüzyonu kullanılır | 0.04 |
| Brassicaceae | <i>Capsella bursapastoris</i> (L.) Medik. SY 1049 | Çobançantası, Çıngıraklı ot, Kuş otu, Kuşkuş otu | Toprak üstü | Adet düzenleyici, tansiyon düşürücü, damar açıcı olarak infüzyonu kullanılır | 0.06 |
| Cannabaceae | <i>Celtis australis</i> L. SY 1124 | Dağdağan | Meyve | Diyabet için taze meyveleri yenir | 0.14 |
| Capparaceae | <i>Capparis sicula</i> Duhamel SY 1131 | Keber | Meyve | Romatizma için meyveleri merhem haline getirilip sürülür. Kanser için infüzyonu kullanılır | 0.10 |
| Caprifoliaceae | <i>Valeriana officinalis</i> L. SY 1027 | Kediotu | Kök | Sancı kesici, uyku verici, yatıştırıcı, kalp çarpıntısı için dekoksionu kullanılır. Ezilen kökleri haricen yara tedavisinde de kullanılır | 0.06 |
| Cucurbitaceae | <i>Ecballium elaterium</i> (L.) A.Rich. SY 1123 | Ancurekera | Meyve | Sinüzit için meyve suyu burna damlatılır | 0.07 |
| Cupressaceae | <i>Juniperus communis</i> L. SY 1094 | Ardıç | Tohum | İdrar söktürücü, sindirim düzenleyici, balgam söktücü olarak tohumları ezilerek yoğurtla yenir. Egzama ve sedef hastalıklarında merhemi sürülür | 0.04 |
| Equisetaceae | <i>Equisetum arvense</i> L. SY 1061 | Atkuyruğu, Kırkkilitotu | Toprak üstü | İdrar söktürücü, öksürük, yara iyileştirici ve kan temizleyici olarak infüzyonu kullanılır | 0.02 |
| Ericaceae | <i>Erica vulgaris</i> L. SY 1076 | Taşakçilotu | Yaprak, Çiçek | Ödem ve böbrek taşı düşürmek için infüzyonu kullanılır | 0.02 |
| Euphorbiaceae | <i>Euphorbia macroclada</i> Boiss. SY 1128 | Heşuladevva | Tüm bitki | Prostat için dekoksionu kullanılır | 0.04 |
| Fabaceae | * <i>Arachis hypogaea</i> L. SY 1059 | Yer fıstığı | Tohum | Bağışıklık sistemini güçlendirici, direnç arttırıcı, kolesterol düzenleyici olarak yenir | 0.08 |

*Kütürü yapılan bitkiler

Tablo 2. (Devam) Araştırma alanında kullanılan şifalı bitkiler

| Familiya | Bilimsel ad ve toplayıcı no | Yöresel ad | Kullanılan kısım | Kullanım yeri ve şekli | KD |
|--------------|---|--|---------------------|--|------|
| Fabaceae | <i>Ceratonia siliqua</i> L. SY 1001 | Keçiboynuzu, Harnup | Meyve | Nefes darlığı, kansızlık, kabızlık için pekmezi yenir. Yara ve sığıllara sürülür | 0.04 |
| Fabaceae | <i>Glycyrrhiza glabra</i> L. SY 1019 | Meyan, Biyan, Biyam balı | Kök | Ülser, gastrit, balgam söktücü, sancı kesici olarak dekoksasyonu kullanılır | 0.31 |
| Fabaceae | <i>Trigonella foenum-graecum</i> L. SY 1048 | Çemen otu, Boyotu | Tohum | Diyabet, nefes darlığı, balgam söktürücü, ishal edici, kuvvet verici olarak toz olarak kullanılır | 0.02 |
| Hypericaceae | <i>Hypericum perforatum</i> L. SY 1050 | Sarı kantaron | Toprak üstü | Depresyon ve diyabet için infüzyonu kullanılır. Hazırlanan yağ yara ve yanıklarda kullanılır | 0.10 |
| Iridaceae | * <i>Crocus sativus</i> L. SY 1032 | Zahferan, Safran | Stilus | Gıdalarla birlikte yendiğinde kuvvet verici olarak kullanılmaktadır | 0.08 |
| Juglandaceae | <i>Juglans regia</i> L. SY 1034. | Ceviz, Koz, Goz | Meyve, Meyve kabuğu | Hafızayı güçlendirici, diyabet, kuvvet verici olarak yenir. Meyve kabukları difüzyonu haricen saç dökülmesi ve deri hastalıklarında kullanılır | 0.33 |
| Lamiaceae | <i>Lavandula angustifolia</i> Mill. SY 1065 | Lavanta | Çiçekli gövde | Sedef ve yaşlılığa bağlı olarak vücutta oluşan lekelerle karşı hazırlanan yağı kullanılır. | 0.12 |
| Lamiaceae | <i>Lavandula stoechas</i> L. SY 1073 | Karabaş otu, Korku otu | Çiçek | Çocuklarda korku, iştah açma, ağrı kesici, egzama, nefes açıcı, depresyon için infüzyonu kullanılır | 0.07 |
| Lamiaceae | <i>Mentha longifolia</i> (L.) L. subsp. <i>typhoides</i> (Briq.) Harley SY 1117 | Nane, Pung | Toprak üstü | Ateş düşürücü, mide rahatsızlıkları, nezle, grip, üst solunum yolları enfeksiyonları ve nefes acıcı olarak dekoksasyonu kullanılır | 0.18 |
| Lamiaceae | <i>Mentha x piperita</i> L. SY 1028 | Nane, Pung | Toprak üstü | Ateş düşürücü, mide rahatsızlıkları, nezle, grip, üst solunum yolları enfeksiyonları ve nefes acıcı olarak dekoksasyonu kullanılır | 0.29 |
| Lamiaceae | <i>Mentha pulegium</i> L. SY 1064 | Kaya yarpuzu, Punge tahte, Tülyü nane | Toprak üstü | Mide rahatsızlıkları, adet söktücü ve nefes acıcı olarak dekoksasyonu kullanılır | 0.19 |
| Lamiaceae | <i>Phlomis kurdica</i> Rech.f. SY 1115 | Gihayigunik, Guhbelok | Çiçek | Astım ve nefes acıcı olarak dekoksasyonu kullanılır | 0.02 |
| Lamiaceae | <i>Rosmarinus officinalis</i> L. SY 1006 | Kuşdili, Biberiye | Yaprak | Adet söktücü, zayıflatıcı, ağrı kesici, grip, soğuk algınlığı, bronşit, romatizma için infüzyonu kullanılır | 0.08 |
| Lamiaceae | <i>Salvia fruticosa</i> Mill. SY 1026 | Adaçayı | Yaprak | Üst solunum yolları ve böbrek hastalıklarında infüzyonu kullanılır | 0.10 |
| Lamiaceae | <i>Salvia hispanica</i> L. SY 1062 | Chia | Tohum | Zayıflamak için günde iki çay kaşığı tüketilir | 0.05 |
| Lamiaceae | <i>Teucrium polium</i> L. SY 1063 | Tealik, Meryemhort | Tüm bitki | Karın ağrısı ve gaz için infüzyonu kullanılır | 0.07 |
| Lamiaceae | <i>Teucrium pruinatum</i> Bois. SY 1106 | Mitemor, Korku otu | Tüm bitki | Bitki parçaları suya konup bekletilir. Korku için bu su içilir | 0.10 |
| Lamiaceae | <i>Thymbra spicata</i> L. SY 1033 | Zahter, zater, Kara Kekik, Yalancı kekik | Toprak üstü | Kolesterol, damar tıkanıklığı, antiseptik, uyarıcı, bronşit ve sinüzit için infüzyonu kullanılır | 0.23 |
| Lamiaceae | <i>Thymus fallax</i> Fisch. & C.A. Mey. SY 1046 | Kekik | Toprak üstü | Hazımsızlık, balgam söktürücü ve öksürük için infüzyonu kullanılır | 0.26 |
| Lamiaceae | <i>Vitex agnus-castus</i> L. SY 1036 | Hayıt | Tohum | Süt arttırıcı ve hormon dengelemek için infüzyonu kullanılır | 0.02 |
| Lauraceae | <i>Laurus nobilis</i> L. SY 1096 | Defne | Meyve Yaprak | Gaz giderici ve kabızlık için infüzyonu kullanılır. Meyveleri cilt besleyici, idrar artırıcı ve romatizma için haricen kullanılır | 0.04 |
| Linaceae | <i>Linum usitatissimum</i> L. SY 1086 | Keten | Tohum | Zayıflamak için tozu kullanılır | 0.04 |
| Lythraceae | <i>Punica granatum</i> L. SY1056 | Hınnar | Meyve | İshal kesici olarak kullanılır | 0.14 |
| Malvaceae | <i>Althaea officinalis</i> L. SY 1069 | Hatmi, Hiro | Çiçek, Yaprak | Nezle, bronşit için çiçeklerinin infüzyonu kullanılır. Kaşıntı için yaprakları ılık halde kompres yapılır | 0.12 |
| Malvaceae | <i>Hibiscus esculentus</i> L. SY 1055 | Bamya | Tohum | Kabızlık ve göğüs yumuşatıcı olarak bir tatlı kaşığı kullanılır | 0.03 |
| Malvaceae | <i>Hibiscus sabdariffa</i> L. SY 1068 | Hibiskus, Narçiçeği | Yaprak | Diyabet, nezle ve grip için infüzyonu kullanılır | 0.12 |
| Malvaceae | <i>Malva sylvestris</i> L. SY 1067 | Kömeç, Ebegümece, Develik, Tolik | Toprak üstü | Ağız ve diş temizliği için dekoksasyonu gargara yapılır | 0.15 |
| Malvaceae | * <i>Tilia platyphyllos</i> Scop. SY1054 | Ihlamur | Yaprak, Çiçek | Öksürük, grip, nezle, ateş düşürücü, stres, migren, ishal tedavisi için infüzyonu kullanılır | 0.22 |

*Kültürü yapılan bitkiler

Tablo 2. (Devam) Araştırma alanında kullanılan şifalı bitkiler

| Familiya | Bilimse ad ve toplayıcı no | Yöresel ad | Kullanılan kısım | Kullanım yeri ve şekli | KD |
|---------------|--|-----------------------------------|----------------------|---|------|
| Moraceae | <i>Morus nigra</i> L. SY 1082 | Karadut | Meyve | Aft için gargarası yapılır. Kan yapımı için pekmezi tüketilir | 0.12 |
| Nitrariaceae | <i>Peganum harmala</i> L. SY1052 | Üzerlik | Tohum | Bağırsak paraziti, adet söktürücü, sakinleştirici ve soğuk algınlığı için tüketilir | 0.04 |
| Oleaceae | <i>Olea europaea</i> L. SY 1053 | Zeytin | Yaprak | Bağışklık, kalp güçlendirici ve diyabet için infüzyonu kullanılır | 0.08 |
| Onagraceae | <i>Epilobium angustifolium</i> L. SY 1066 | Yakı otu | Yaprak | Prostat için infüzyonu kullanılır | 0.04 |
| Papaveraceae | <i>Fumaria officinalis</i> L. SY 1075 | Şahtere | Toprak üstü | İdrar arttırıcı, yatıştırıcı, karaciğer sedef için infüzyonu kullanılır | 0.04 |
| Papaveraceae | <i>Papaver somniferum</i> L. SY 1081 | Haşhaş | Yaprak, Tohum | Balgam söktürücü, uyku verici olarak infüzyonu kullanılır Ağrı için yaprakları merhem halinde sürülür | 0.10 |
| Pedaliaceae | * <i>Sesamum indicum</i> L. SY 1044 | Susam, Küncü | Tohum | Kilo aldırıcı, kuvvet verici olarak tüketilir | 0.11 |
| Platanaceae | <i>Platanus orientalis</i> L. SY 1022 | Çınar | Yaprak, Kabuk | Yanıklarda dekoksionu haricen kullanılır | 0.08 |
| Poaceae | * <i>Zea mays</i> L. SY 1002 | Mısır | Püskül | Kilo verdirici, idrar sökücü, kum düşürücü ve diyabet için infüzyonu kullanılır | 0.12 |
| Portulacaceae | <i>Portulaca oleracea</i> L. SY 1024 | Semizotu, Parpar | Toprak üstü | Yüksek tansiyon, kolesterol, diyabet, idrar sökücü, kilo verdirici, taş düşürücü, kabızlık ve bağışklık sistemini güçlendirmek için infüzyonu kullanılır | 0.16 |
| Ranunculaceae | <i>Nigella sativa</i> L. SY 1030 | Çörekotu, Kara çörek | Tohum | Kansızlık, süt arttırıcı, bağışklık sistemini güçlendirmek için yoğurtla yenir | 0.08 |
| Rhamnaceae | <i>Frangula alnus</i> Mill. SY 1040 | Acı çehre | Meyve | Diyabet, kolesterol, kilo ve yağ yakıcı, ödem giderici olarak tüketilir | 0.06 |
| Rosaceae | <i>Alchemilla vulgaris</i> L. SY 1042 | Aslanpençesi | Toprak üstü | Adet düzenleyici ve bedeni güçlendirmek için infüzyonu kullanılır | 0.10 |
| Rosaceae | <i>Prunus dulcis</i> (Mill.) D.A. Webb SY 1147 | Beivf | Meyve | Diyabet için meyve yenir | 0.12 |
| Rosaceae | <i>Prunus mahaleb</i> L. SY 1004 | Mahlep | Meyve | Diyabet için infüzyonu kullanılır | 0.07 |
| Rosaceae | <i>Crataegus monogyna</i> Jacq. SY 1047 | Alıç, Guviç | Çiçek, Meyve, Yaprak | İdrar arttırıcı, yatıştırıcı, sancı kesici tansiyon düşürmek için infüzyonu kullanılır | 0.14 |
| Rosaceae | <i>Rosa canina</i> L. SY 1008 | Kuşburnu | Meyvesi | İdrar arttırıcı, kuvvet verici olarak dekoksionu kullanılır | 0.09 |
| Rosaceae | <i>Rosa</i> ssp. SY 1015 | Gül | Petal | Çocuklarda sancı kesici olarak dekoksionu kullanılır | 0.05 |
| Rubiaceae | <i>Galium tricorutum</i> Dandy SY 1145 | Zımanhunk, Yoğurtotu, Yapışkanotu | Tüm bitki | Romatizma, baş ve diş ağrıları için dekoksionu kullanılır | 0.04 |
| Santalaceae | <i>Viscum album</i> L. SY 1092 | Ökseotu, Çekem | Meyve | Kabızlık, idrar arttırıcı, kusturucu, yatıştırıcı, yüksek tansiyonu düşürmek için infüzyonu kullanılır. Romatizma için haricen kullanılır | 0.08 |
| Sapindaceae | * <i>Aesculus hippocastanum</i> L. SY 1031 | Atkestanesi | Meyve | Hemoroit için merhem şeklinde sürülür | 0.06 |
| Urticaceae | <i>Urtica dioica</i> L. SY 1021 | Isırgan otu | Tohum, Yaprak | Ağrı kesici, ateş düşürücü, afrodisyak, hormon düzenleyici, idrar arttırıcı, iştah açıcı, kabızlık, kurt dökücü, kan temizleyici, diyabet ve tansiyon için infüzyonu kullanılır. Tohumları ise kanser tedavisi için tüketilir | 0.39 |

*Kütürü yapılan bitkiler

En fazla takson içeren *Mentha* L. cinsi olup 3 taksona sahiptir. *Alkanna* Tausch, *Hibiscus* L., *Lavandula* L., *Prunus* L., *Rosa* L., *Salvia* L. ve *Teucrium* L. cinsi 2 takson içerir. En sık kullanılan tıbbi bitkiler; *Allium sativum* L., *Glycyrrhiza glabra* L., *Juglans regia* L., *Lavandula angustifolia* Mill., *Mentha* sp., *Nigella sativa* L., *Portulaca oleracea* L., *Punica granatum* L., *Rhus coriaria* L., *Urtica dioica* L., *Teucrium polium* L. *Vitis vinifera* L., *Zea mays* L. dir.

Bitkiler en fazla infüzyon ve dekoksionu yapılarak kullanılmaktadır. Diğer bitki hazırlama yöntemleri ise

taze ve kuru tüketme, toz, yağ ve merhem haline getirmektir. Tıbbi amaçlar için kullanılan bitki kısımları; dal, çiçek, gövde, kabuk, meyve, petal, püskül, sitilus, tohum, toprak üstü kısımları, tüm bitki, kök, yaprak ve yumrudur.

Geleneksel olarak kullanılan şifalı bitkiler bölgede çoğunlukla diyabet, yüksek tansiyon, romatizma ve çeşitli ağrılar, kabızlık, hemoroit, kaşıntı, ateş düşürücü, nezle, grip, bronşit astım ve nefes darlığı, bulantı, idrar arttırıcı, böbrek taşı, sancı kesici, mide ve kalp rahatsızlıkları, kadın hastalıkları, kanser, kilo verdirme,

kolesterol düşürme ve cilt hastalıklarında kullanılmaktadır.

Bölgede diyabet için, *Bongardia chrysogonum* (L.) Spach., *Celtis australis* L., *Frangula alnus* Mill., *Hibiscus sabdariffa* L., *Hypericum perforatum* L., *Juglans regia* L., *Olea europaea* L., *Portulaca oleracea* L., *Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb, *Prunus mahaleb* L., *Trigonella foenum-graecum* L., *Urtica dioica* L., *Zea mays* L. kullanılmaktadır. Yüksek tansiyonu düşürmek amacıyla da *Allium sativum* L., *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik., *Crataegus monogyna* Jacq., *Portulaca oleracea* L., *Urtica dioica* L., *Viscum album* L. geleneksel olarak kullanılmaktadır.

Suruç ve çevresinde geleneksel olarak kullanılan bazı bitkilerin laboratuvar çalışmalarında farklı aktiviteler gösterdiği kayıt altına alınmıştır. Bu bitkilerden, *Rosa canina* meyvesinin antidiyabetik, antienflamatuvar, antinosiseptif ve antioksidan etki gösterdiği [28-29], *Foeniculum vulgare*, *Rhus coriaria* L. *Rosmarinus officinalis* L., *Salvia* ssp., antioksidan etki gösterdiği [30-31], *Urtica dioica* L. immünomodülatör, antifungal antidiyabetik, antimikrobiyal, antiülser and antianaljezik aktivite gösterdiği [32-35], *Helichrysum* türleri antienflamatuvar ve antinosiseptif aktivite gösterdiği [36], *Malva* türleri ise antioksidan ve antiülserojenik aktivite gösterdiği [37-38] rapor edilmiştir.

Türkiye'deki yerel bitkilerin isimleri özellikle yerel dillere göre değişiklik göstermektedir [39]. Suruç çevresindeki bitki adlarına da Kürtçe isimler verilmesi dikkat çekicidir. Araştırma alanımızda kullanılan bitkilerin literatür araştırmasında birçok bitkinin alandaki kullanımlara ve hazırlama yöntemlerine benzer ve farklı hastalıklar için kullanıldığı tespit edilmiştir [40-45].

Son yıllarda yapılan etnobotanik çalışmalara baktığımızda tıbbi ve gıda başta olmak üzere derleme çalışmalarda yoğunluktadır [46-54]. Kullanım değeri (KD) hesaplaması [20] son yıllarda yapılan etnobotanik çalışmada kullanılmıştır [55-58]. Çalışmamızın KD hesaplamasına göre; *Urtica dioica* L. (0.39), *Allium sativum* L. (0.36), *Juglans regia* L. (0.33), *Glycyrrhiza glabra* L. (0.31), *Mentha x piperita* L. (0.29), *Thymus fallax* Fisch. & C.A. Mey. (0.26), *Thymbra spicata* L. (0.23), *Tilia platyphyllos* Scop. (0.22), *Vitis vinifera* L. (0.20) en yüksek kullanım değerine sahip olduğu görülmüştür (Tablo 2).

4. SONUÇ

Çalışmamızda Suruç ve çevresinde bölge halkıyla görüşmeler yapılmıştır. Bölge insanı tıbbi amaçlar için yörede yetişen 41 familyaya ait 78 farklı yabancı ve kültürü yapılan bitkiyi kullanmaktadırlar. Yörede bitkiler çoğunlukla taze olarak infüzyon ve dekoksionu yapılarak kullanıldığı tespit edilmiştir. Fakat halk kullanıp şifa gördükleri tıbbi bitkileri gölgede kurdukları ve kış mevsiminde gerekli halde kullandıkları görülmüştür. Bölgede bitki türlerin göreceli önemini gösteren kullanım değeri hesaplanmış ve

ısırgan, sarımsak, ceviz ve meyan gibi bazı bitkilerin yüksek kullanım değerine sahip olduğu görülmüştür.

Bitki taksonların en yaygın olarak kullanılan kısımları, yapraklar, çiçek ve kökleridir. Bölgede üst solunum yolu hastalıkları, çeşitli ağrı durumlarında, diyabet, hemoroit, böbrek taşı ve cilt hastalıklarının tedavisinde birçok bitki kullanıldığı kayıt altına alınmıştır. Yöredeki bitki kullanım kültürü, hastanelere ve ilaca kolay ulaşım, gelişen ekonomik ve göç nedeniyle gün geçtikçe azalmaktadır. Ayrıca araştırma alanının doğal bitki örtüsü, otlama ve tarımsal faaliyet yüzünden tahrip edilmekte olup koruyucu önlemler alınması gerekmektedir. Şanlıurfa ve çevre illerde detaylı etnobotanik araştırması yapılmasına ihtiyaç vardır.

Tıbbi bitki kullanımı, insan sağlığını doğrudan etkilediği için özel önem taşımaktadır. Kayıt altına aldığımız bu bilgiler ilaç sanayinde araştırmalar için kaynak olacağı kanısındayız. Geleneksel olarak kullanılan bitkilerin kayıt altına alınması ve farmakolojik çalışmaların yapılması faydalı olacaktır.

Teşekkür

Yüksek lisans tezinden üretilen bu makale için maddi desteklerinden dolayı Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Koordinasyon Birimi (HÜBAP)'ne (Proje No 19110) ve bilgilerini bizimle paylaşan yöre halkına teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] Heinrich M. Ethnobotany and its role in drug development. *Phytother Res.* 2000;14:479-88.
- [2] Akan H, Balos MM, Aslan M. An ethnobotanical research on handmade musical instruments in Şanlıurfa, South East Anatolia, Turkey. *Biol Diver Conserv.* 2013;6:93-100.
- [3] Polat R, Satıl F, Selvi S. Havran ve Burhaniye (Balıkesir) yörelerinde el sanatlarında yararlanılan bitkiler üzerine etnobotanik araştırmalar. *Erciyes Üniv Fen Bil Enst Derg.* 2013; 29:1-6.
- [4] Polat R, Çakılcıoğlu U, Uluşan MD, Paksoy MY. Survey of wild food plants for human consumption in Elazığ (Turkey). *Indian J Tradit Knowled.* 2015;14:69-75.
- [5] Ertuğ F. Etnobotanik. Güner A., Ekim T. (Editörler) *Resimli Türkiye Florası (Cilt 1)*. İstanbul: ANG Vakfı, Flora Araştırmaları Derneği ve Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları; 2014;319-420.
- [6] Heinrich M, Barnes J, Gibbons S, Williamson EM, *Fundamentals of pharmacognosy and phytotherapy*. Edinburgh; Churchill Livingstone, 2004.
- [7] Öztürk M, Özçelik H. Doğu Anadolu'nun faydalı bitkileri (Useful plants of East Anatolia), SİSKAV (Siirt, İlim, Spor, Kültür ve Araştırma Vakfı). Ankara: Semih Ofset; 1991.
- [8] Baytop T. Türkiye'de bitkiler ile tedavi. İstanbul Eczacılık Fak, No: 40, İstanbul; İstanbul Üniv. Yayınları; 1984.

- [9] Baytop T. Therapy with medicinal plants in Turkey (Past and present). 2nd ed. Istanbul: Nobel Medicine Publication; 1999.
- [10] Güner A, Aslan S, Ekim T, Vural M, Babaç MT. Türkiye bitkileri listesi (Damarlı Bitkiler). İstanbul: Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmalar Derneği Yayınları; 2012.
- [11] Yıldırım Ş. Etnobotanik ve Türk Etnobotaniği. Kebikeç. 2004;17:175-93.
- [12] Muratoğlu T. Mahalli idareler mevzuatında 6360 sayılı kanunla yapılan değişiklikler. Dicle Üniv Hukuk Fak Derg. 2015;(20):59-96.
- [13] Akman Y. İklim ve biyoiklim. Ankara: Palme Yayınları; 2011.
- [14] TC. Şanlıurfa valiliği resmi kent rehberi; [alıntı 2020 Ekim 10]. Erişim adresi: http://urfafx.mekan360.com/iys_ilcelerimiz
- [15] Şahinalp MS. Fonksiyonları ve arazi kullanım problemleri açısından Suruç şehri. J Int Social Res. 2019;12(68):461-78.
- [16] Davis PH. Flora of Turkey and the East Aegean Island. Vol. 1-9, Edinburgh: Edinburgh Univ. Press; 1965-1985.
- [17] Davis PH, Mill RR, Tan K. Astragalus L. In: Flora of Turkey and the East Aegean Island. Vol. 10 (Suppl. I). Edinburgh: Edinburgh Univ. Press; 1988.
- [18] Güner A, Özhatay N, Ekim T, Başer, KHC. Flora of Turkey and the East Aegean Islands. Edinburgh, (Supple. 2). Edinburgh Univ. Press; 2000.
- [19] Güner A, Ekim T. Resimli Türkiye Florası. Cilt: 1, NGBB yayınları flora dizisi 2, İstanbul: Flora Araştırmaları Derneği ve Türkiye İş Bankası kültür yayınları; 2014.
- [20] Güner A, Kandemir A, Menemen Y, Yıldırım H, Aslan S, Ekşi G, Güner I, Çimen AÖ. Resimli Türkiye Florası. Cilt: 2, İstanbul: ANG Vakfı, NGBB yayınları; 2018.
- [21] Trotter RT, Logan MH. Informant consensus: a new approach for identifying potentially effective medicinal plants. In: Etkin NL. editors. Plants in indigenous medicine and diet, behavioural approaches. New York, Bredford Hills: Redgrave Publishing Company; 1986.
- [22] Akan H, Aslan M, Balos MM. Şanlıurfa semt pazarlarında satılan doğal bitkilerin etnobotaniği. Ot Sist Bot Derg. 2005;12(2):43-58.
- [23] Akan H, Korkut MM, Balos MM. Arat Dağı ve çevresinde (Birecik, Şanlıurfa) etnobotanik bir araştırma. Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Derg. 2008;20(1):67-81.
- [24] Akan H, Aydoğdu M, Korkut MM, Balos MM. An ethnobotanical research of the Kalecik mountain area (Şanlıurfa, South-East Anatolia). Biol Diver Conserv. 2013a;6:84-90.
- [25] Akan H, Balos MM, Tel AZ. Birecik (Şanlıurfa) yöresindeki bazı baklagil bitkilerin etnobotanik özellikleri. Adıyaman Üniv Tarım Araş ve Uyg Merk Uluslar Derg. 2013b;1(1):32-40.
- [26] Balos MM, Akan H. Zeytinbahçe-Akarçay (Birecik, Şanlıurfa) arasında kalan bölgenin etnobotanik özellikleri. Selçuk Üniv Fen Ed Fak Fen Derg. 2007;29(2):155-71.
- [27] Yalçın S, Akan H, Çakılcıoğlu U. Suruç İlçesindeki (Şanlıurfa-Türkiye) aktarlarda satılan şifalı bitkiler. Int J Nature Life Sci. 2021;5(1):40-51. Doi: 10.47947/ijnls.932374
- [28] Deliorman DO, Hartevioğlu A, Küpeli E, Yeşilada E. In vivo anti-inflammatory and antinociceptive activity of the crude extract and fractions from *Rosa canina* L. fruits. J Ethnopharmacol. 2007;112:394-400.
- [29] Orhan N, Aslan M, Hosbas S, Deliorman OD. Antidiabetic effect and antioxidant potential of *Rosa canina* fruits. Pharmacog Mag. 2009;5:309-15.
- [30] Oktay M, Gülçin İ, Küfrevioğlu Öİ. Determination of in vitro antioxidant activity of fennel (*Foeniculum vulgare*) seed extracts. LWT - Food Sci Technol. 2003;36:263-271.
- [31] Özcan M. Antioxidant activities of rosemary, sage, and sumac extracts and their combinations on stability of natural peanut oil. J Med Food. 2003;6:267-270.
- [32] Akbay P, Basaran AA, Undeger U, Basaran N. In vitro immunomodulatory activity of flavonoid glycosides from *Urtica dioica* L. Phytother Res. 2003;17:34-7.
- [33] Bnouham M, Merhfouf FM, Ziyyat A, Mekhfi H, Aziz M, Legssyer A. Antihyperglycemic activity of the aqueous extract of *Urtica dioica*. Fitoterapia. 2003;74:677-81.
- [34] Gülçin İ, Küfrevioğlu Oİ, Oktay M, Büyükkokuroğlu ME. Antioxidant, antimicrobial, antiulcer and analgesic activities of nettle (*Urtica dioica* L.). J Ethnopharmacol. 2004;90:205-15.
- [35] Hadizadeh I, Peivastegan B, Kolahi M. Antifungal activity of nettle (*Urtica dioica* L.), colocynt (*Citrullus colocynthis* L. Schrad), oleander (*Nerium oleander* L.) and konar (*Ziziphus spina-christi* L.) extracts on plants pathogenic fungi. Pakistan J Biol Sci. 2009;12:58-63.
- [36] Küpeli E, Tosun A, Bahadır Ö. Evaluation of anti-inflammatory and antinociceptive activities of *Helichrysum Gaertner* species (Asteraceae). Turk J Pharmaceut Sci. 2006;3:141-9.
- [37] Gürbüz I, Özkan AM, Yeşilada E, Kutsal O. Anti-ulcerogenic activity of some plants used in folk medicine of Pınarbaşı (Kayseri, Turkey). J Ethnopharmacol. 2005;101:313-8.
- [38] Dalar A, Türker M, Konczak I. Antioxidant capacity and phenolic constituents of *Malva neglecta* Wallr. and *Plantago lanceolata* L. from Eastern Anatolia Region of Turkey. J Herbal Med. 2012;2:42-51.
- [39] Mükemre M, Behçet L, Çakılcıoğlu U. Ethnobotanical study on medicinal plants in villages of Çatak (Van-Turkey). J Ethnopharmacol. 2015;166:361-74. Doi: 10.1016/j.jep.2015.03.040
- [40] Sargın SA, Akçiçek E, Selvi S. An ethnobotanical study of medicinal plants used by the local people of Alaşehir (Manisa) in Turkey. J Ethnopharmacol. 2013;150(3):860-74.
- [41] Hayta S, Polat R, Selvi S. Traditional uses of medicinal plants in Elazığ (Turkey). J Ethnopharmacol. 2014;154(3):613-23.

- [42] Kayabaşı NP, Tümen, G, Polat R. Ethnobotanical studies on useful plants in Manyas (Balıkesir/Turkey) region. *Biol Divers Conser.* 2016;9(3):58-63.
- [43] Mükemre M, Behçet L, Çakılcıoğlu U. Survey of wild food plants for human consumption in villages of Çatak (Van-Turkey). *Indian J Tradit Knowled.* 2016;15(2):183-91.
- [44] Bulut G, Korkmaz A, Tuzlacı E. The ethnobotanical notes from Nizip (Gaziantep-Turkey). *İstanbul J Pharm.* 2017;47(2):57-62.
- [45] Polat R. Ethnobotanical study on medicinal plants in Bingöl (City center) (Turkey). *J Herbal Med.* 2019;16:100211
- [46] Güneş S, Savran A, Paksoy MY, Koşar M, Çakılcıoğlu U. Ethnopharmacological survey of medicinal plants in Karaisalı and its surrounding (Adana-Turkey). *J Herbal Med.* 2017;8:68-75. Doi: 10.1016/j.hermed.2017.04.002.
- [47] Güneş S, Savran A, Paksoy MY, Çakılcıoğlu U. Survey of wild food plants for human consumption in Karaisalı (Adana-Turkey). *Indian J Tradit Knowled.* 2018;17(2):290-8.
- [48] Kayabaşı NP, Tümen G, Polat R. Wild edible plants and their traditional use in the human nutrition in Manyas (Turkey). *Indian J Tradit Knowled.* 2018;17(2):299-306.
- [49] Şahin-Fidan E, Akan H. Tek Tek Dağları Milli Parkı (Şanlıurfa-Türkiye) eteklerindeki bazı köylerde etnobotanik bir çalışma. *Bağbahçe Bil Derg.* 2019;6(2):64-94.
- [50] Çakılcıoğlu U, An ethnobotanical field study; Traditional foods production and medicinal utilization of *Gundelia L.* species in Tunceli (Turkey). *Indian J Tradit Knowled.* 2020;19(4):714-8.
- [51] Satıl F, Açar M. Ethnobotanical use of *Stachys L.* (Lamiaceae) taxa in Turkey. *Int J Nature Life Sci.* 2020;4(2):66-86.
- [52] Satıl F, Selvi S. Ethnobotanical features of *Ziziphora L.* (Lamiaceae) taxa in Turkey. *Int J Nature Life Sci.* 2020;4(1):56-65.
- [53] Yerebasan N, Kırçıl E, Yılmaz MS, Çakılcıoğlu A, Deniz V, Demirkıran D. A review of the traditional plant use culture in Elazığ (Turkey). *Int J Nature Life Sci.* 2021;5(1):1-10.
- [54] Polat R, Çakılcıoğlu U, Ertuğ F, Satıl F. An evaluation of ethnobotanical studies in Eastern Anatolia. *Biol Divers Conserv.* 2012;5(2):23-40.
- [55] Polat R, Çakılcıoğlu U, Uluşan MD, Paksoy MY. Survey of wild food plants for human consumption in Elazığ (Turkey). *Indian J Tradit Knowled.* 2015;14(1):69-75.
- [56] Polat R, Güner B, Yüce-Babacan E, Çakılcıoğlu U. Survey of wild food plants for human consumption in Bingöl (Turkey). *Indian J Tradit Knowled.* 2017;16(3):378-84.
- [57] Nadiroğlu M, Behçet L, Çakılcıoğlu U. An ethnobotanical survey of medicinal plants in Karlıova (Bingöl-Turkey). *Indian J Tradit Knowled.* 2019;18(1):76-87.
- [58] Kawarty AMAMA, Behçet L, Çakılcıoğlu U. An ethnobotanical survey of medicinal plants in Ballakayati (Erbil, North Iraq). *Turk J Bot.* 2020;44:345-57. Doi: 10.3906/bot-1910-39



Estimation of Upper Extremity Movement Performance in Stroke Patients with Artificial Learning Techniques

Mücahit ÇALIŞAN^{1*}, Muhammed Fatih TALU²

¹ Bingöl Üniversitesi, Enformatik Bölümü, Bingöl, Türkiye

² İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bingöl, Türkiye

Mücahit ÇALIŞAN ORCID No: 0000-0003-2651-5937

Muhammed Fatih TALU ORCID No: 0000-0003-1166-8404

*Sorumlu yazar: mcalisan@bingol.edu.tr

(Alınış: 16.02.2021, Kabul: 8.04.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Keywords
 Brunnstrom
 Staging,
 Stroke,
 Machine
 Learning,
 Accelerometer

Abstract: The main reason why people are directed to rehabilitation services after stroke-like neurological diseases are to bring individuals' daily abilities to a normal level. Measuring the activities of people in their daily lives ensures that these rehabilitation services progress more healthily. In our study, Brunnstrom Hemiplegia Recovery Staging, which is widely used by doctors to evaluate the movement function of stroke patients during rehabilitation, was examined. The study was specifically adapted to the upper extremity stage 4a movement of the Brunnstrom Staging. Daily movements of patients were evaluated with accelerometer sensors. With this methodology, sensor data was collected from 15 volunteer stroke patients and 80 healthy individuals. These sensor data were interpreted by the medical professional. Thus, consistency between movement data of healthy and sick individuals was analyzed. The data obtained as a result of the analysis process were examined with artificial learning methods and classified as healthy/unhealthy. The methodology of the study is suitable for research designed to increase upper / lower extremity performance in the daily life of individuals.

İnmeli Hastalarda Üst Ekstremitte Hareket Başarımının Yapay Öğrenme Teknikleri ile Kestirimi

Anahtar Kelimeler
 Brunnstrom
 Evrelemesi,
 İnme, Makine
 Öğrenmesi,
 İvmeölçer

Öz: İnme benzeri nörolojik hastalıklardan sonra kişilerin rehabilite hizmetlerine yönlendirilmesinin ana nedeni, bireylerin günlük yaşamdaki yeteneklerini normal düzeye çıkartmaktır. Kişilerin günlük yaşamlarındaki faaliyetlerini ölçmek bu rehabilitasyon hizmetlerinin daha sağlıklı ilerlemesini sağlamaktadır. Çalışmamızda doktorlar tarafından rehabilitasyon sırasında inme hastalarının hareket işlevini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan Brunnstrom Evrelemesi incelenmiştir. Çalışma özgül olarak Brunnstrom Evrelemesi testinin üst ekstremitte bölümü 4a hareketine uyarlanmıştır. Hastaların günlük hareketleri ivmeölçerler sensörleri ile değerlendirilmiştir. Bu çalışmada izlenen metodoloji ile gönüllü 15 inme hastası ve 80 sağlıklı bireyden sensör datası toplanmıştır. Elde edilen sensör verisi medikal uzman tarafından yorumlanmıştır. Böylece sağlıklı ve hasta bireylerin hareket verileri arasındaki tutarlılıklar analiz edilmiştir. Analiz işlemi sonucunda elde edilen veriler yapay öğrenme yöntemleriyle incelenmiş ve sağlıklı/sağlıksız şeklinde sınıflandırılmıştır. Çalışmanın metodolojisi kişilerin günlük yaşamlarında üst/alt ekstremitte performansını arttırmak için tasarlanmış araştırmalar için uygundur.

1. INTRODUCTION

Stroke, according to the World Health Organization (WHO), is ranked third among all causes of death in 2008, after heart disease and cancer. Also, it is the most common neurological disorder that causes disability in

adults [1]. Changing the lifestyle of individuals causes an increase in cerebrovascular disorders. Accordingly, it has become an important cause of death and disability worldwide. Prolonged life expectancy in developed countries has increased neurological diseases such as stroke. The prevalence of stroke disease in society over 60 years of age has been reported as 500-600 / 100000 in

western society and 900/100000 in Asian countries [2]. Prevention and treatment of stroke are very important in our country where the elderly population is increasing because the frequency of this disease in our country is around 176/100000 [2].

The proportion of people dying from diseases caused by stroke or moving away from society is increasing day by day around the world. This increase also causes a significant share of health expenses. Estimated direct or indirect spending for stroke is around \$ 73 million in the US, which is around \$ 64 million in Europe in 2010 [3, 4]. In Asian countries such as China, approximately 2 billion dollars of health expenditure is observed every year. Despite the progress made in the treatment of stroke diseases, this type of disease affects a serious population in society and causes significant physical losses in survivors. After the stroke, approximately 70% of patients experience impairment in upper limb functions and 40% suffer permanent loss in the affected upper limb functions [5].

The purpose of rehabilitation services for people with neurological problems such as stroke is to improve their skills not only in the clinic but also in daily life. The ultimate goal in rehabilitation; Despite current deficiencies, it is aimed at gaining the highest level of functional independence to the individual and increasing the quality of life. Editing the patient's rehabilitation prescription in the rehabilitation process depends on the assessments predicted by physical therapists. Of course, since this evaluation process is not quantitative, it is common for medical professionals to make different evaluations.

Research shows that intensive and repetitive exercises are more useful to improve the improvement of motor functions after stroke. In stroke rehabilitation, it is very important to perform the exercises fully, correctly and appropriately. For this reason, the systems to be used must follow the patient's movements accurately, precisely and appropriately and then give feedback on performance to the experts [6]. Due to the increase in medical expenditures and an insufficient number of rehabilitation specialists; Low-cost home treatment methods are needed for the rehabilitation of stroke patients. For this purpose, in addition to today's treatments, computer-based systems have been used in the rehabilitation of patients with stroke. This shows that the interest in wearable sensors is increasing day by day. Accelerometer sensors are of great interest in the field of rehabilitation. The different axes (x, y, z) of these sensors correspond to accelerations such as human motion and measure and record these movements in three dimensions. These devices, which are available on the market, can be used without any restrictions on people's daily activities. The World Health Organization divides the international function classification into two as clinical and non-clinical settings [7]. The accelerometer sensor provides a measurement of upper extremity performance in non-clinical settings. Our study describes the extremity measurement methodology that can be used in both clinical and non-clinical settings.

The methodology is based on the analysis of signals obtained from accelerometers connected to certain body parts. The sensors used are valid and reliable tools for measuring upper limb performance following stroke and similar neurological conditions. Of course, this performance measurement has certain difficulties. Converting raw accelerometer data to clinically relevant information is one of these challenges. The methodology proposed in the study can be used to differentiate healthy participants' upper limb performance from stroke participants.

When the related studies are examined, it is seen that the use of accelerometers and similar sensors increases day by day in medical applications. Evanthia E. Tripoliti et al. 6 accelerometers and 2 gyroscopes were used and 96.11% accuracy rate was obtained. During the study, accelerometers were attached to the wrist, ankles, chest and waist. Gyroscopes were attached to the participants' chest and waist [8]. G Rigas et al. proposed an automated method for both rest and motion/vibration assessment using accelerometers attached to different parts of the Parkinson's patient's body [9]. Sinziana Mazilu et al. a total of 6 accelerometer sensors were attached to the wrists, ankles and knees of the participants. In these studies, where they obtained 90% accuracy rate, they tried to detect Parkinson's disease from the speed of movement in hand and foot movements [10]. C Ahlrichs et al. achieved an accuracy rate of 98.7% by examining the movements and speed of individuals with the help of 3-axis sensors placed on the waist of the participants [11]. To classify hand movements with electromyography (EMG) sensors, which have a working logic close to accelerometer sensors, 2-channel EMG data has been classified with deep learning methods [12]. In addition, many researchers have used the accelerometer [13,14,15], gyroscope [16], handwriting and drawing samples [17], electromagnetic tracking [18]. A laser system that converts velocity has been developed to detect and evaluate tremor activity [19]. Also, most of the studies mentioned above have several limitations. For example, in most studies, some limitations, such as the collection of data only in inappropriate laboratory settings or using simulated data, do not make it possible to apply methods in real-life conditions.

In this study, the effect of Xsens sensors on the interpretation of upper limb movements in stroke patients was evaluated. Wearable sensors are attached to the body so that the accelerometer data of the upper limb activities can be collected. Sensors containing accelerometers, gyroscopes and magnetic field meters have high memory and processing power by using less energy. Since the exercise is targeted to be detected, only accelerometer sensor data is used. Accordingly, x, y, z acceleration values on three axes are recorded while performing the exercise. Machine learning methods were used to match the recorded accelerometer data to the diseased or healthy group. For this, the methodology of the study is as follows; to obtain the data, to pre-process the data, to build the network and to classify the exercise to the relevant group. The following section describes

the basic steps of the methodology. The results of the method are given in section 3 and these results are discussed in section 4.

2. MATERIALS AND METHODS

In this study, which includes accelerometer sensor-based exercise recognition, the methodology shown in Figure 2 was followed. Accordingly, accelerometer sensor data were collected from patients and healthy individuals who performed the relevant activity of the Brunnstrom test. These acceleration signals were pretreated and motion properties were calculated. Sensors are placed in the subjects' bodies in different positions. The sensor placement on the subjects was shown in Figure 1.

2.2. Data Groups

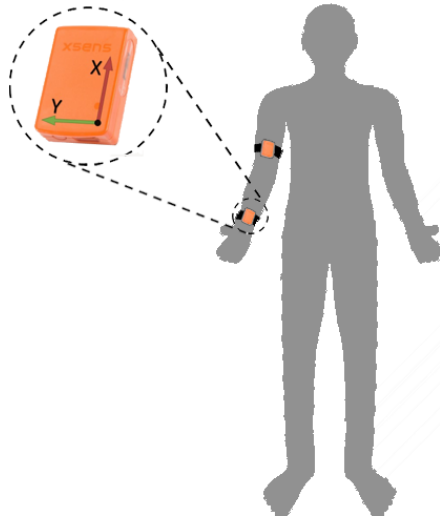


Figure 1. Sensor placement in the subjects' bodies

Various features related to time and frequency domain characteristics were extracted from the recorded signals to evaluate the relevant exercise of Brunnstrom Staging. Finally, it was determined which group of the individual's exercise belongs to by different classification methods. Today, there are many clinical evaluation methods such as the Fugle-Meyer method, Bobath Level Method, and Brunnstrom Staging [20]. Since the Brunnstrom Staging method has the advantage of simplicity and time saving, the Brunnstrom stage method was used as the evaluation criterion in this study.

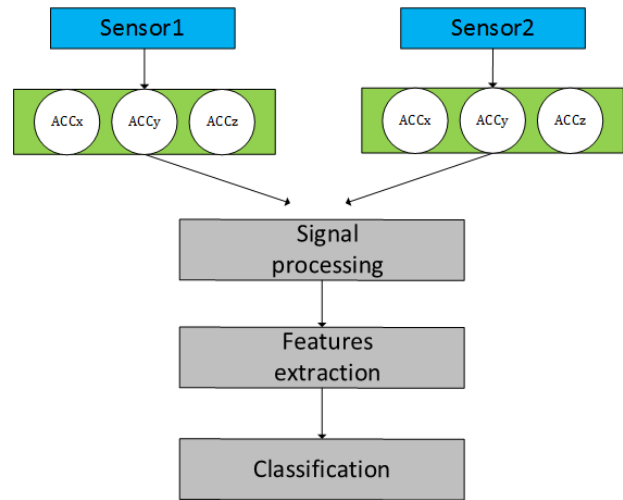


Figure 2. Recommended Exercise Recognition Process

2.1. Brunnstrom Motor Staging (BMS)

The Brunnstrom test, which evaluates the motor development of stroke patients, was described by Signe Brunnstrom in 1966. The purpose of the test is to identify the recovery stages observed in too many hemiplegic patients. In this staging, the upper limb and lower limb are evaluated separately and the healing process of the stroke patient is defined as 7 stages. The lowest stage according to this staging is stage 1 (flask, stage with no movement); the highest stage was determined as stage 7 (stage with normal motor function). High Brunnstrom stages show that motor development is better than other stages. Specifically, the Stage-4 movement of BMS was taken in the study. Stage 4 is given in Table 1.

Table 1. Brunnstrom Hemiplegia Recovery Staging (Stage-4)

| | |
|---------|--|
| Stage-4 | <p>Isolated movements different from motion synergies gradually emerge and become more evident. Spasticity decreases, but spasticity continues on isolated movements. Observed isolated movements:</p> <ol style="list-style-type: none"> Touching the hand to the back of the body and the sacral region 90-degree flexion of the shoulder with the elbow in extension Supination and pronation when the elbow is at 90 degrees flexion and the arm is close to the body |
|---------|--|

2.2. Data Groups

In the study, 15 stroke patients were evaluated and they were hospitalized to be rehabilitated in Bingöl State Hospital Physical Medicine and Rehabilitation Clinic between 01.09.2019-30.12.2019. In the study, data was collected from 80 healthy individuals. Thus, two separate data groups were created as Healthy and Patient.

The criteria in the people included in the research; they should not be over the age of 60, they should be within the first 1 year after stroke, and the most important is that the upper extremity is stage 3 and above according

to BMS. The demographic characteristics of the patients and healthy people by these criteria are given in Table 2. Not all patients have serious cognitive and communication problems. The situations that may cause problems before and during the experiments were taught to the patients in detail by the doctors.

Table 2. Demographic characteristics of patients and healthy people

| | Healthy | Patient |
|------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| Age (Year) | 25-45 | 20-60 |
| Disease period (Month) | - | 3-12 |
| Gender | Woman (%36.25) Man (%63.75) | Woman (%40) Man (%60) |



Figure 3. Physical Therapist's image while doing Brunnstrom Recovery Stage-4 exercise; (a) Exercise start position, (b) - (d) exercise intermediate movements, (e) Exercise end position

Accelerometers are attached to the wrist and elbow parts of the participant, and flexible sensor straps are used depending on whether the person is overweight or weak. Healthy participants were watched in the exercise video in Figure 3. However, the exercise has been demonstrated by the specialist to the patients. All individuals were asked to complete the exercise without any help to reflect their real movement functions. Before the experiments, the patients were asked to repeat the same movement several times to recognize the experimental process. During the experiments, all patients were asked to perform the movement 5 times and consecutively.

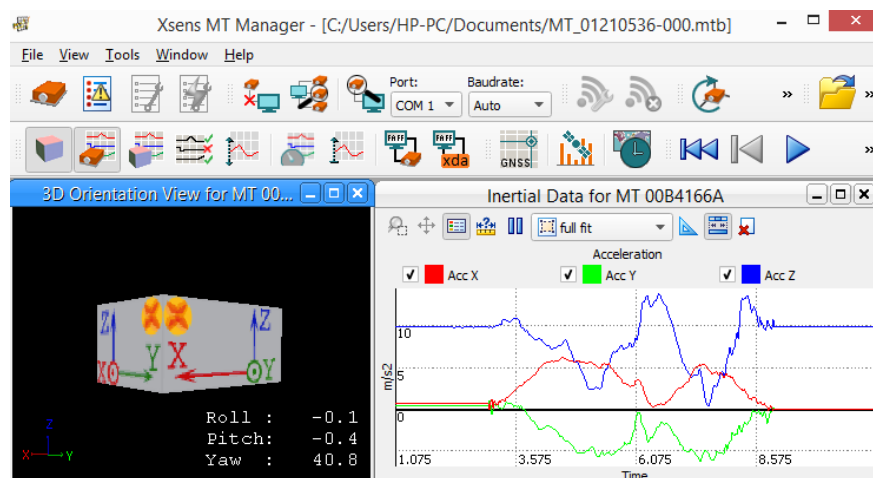
Before starting the stage 4 movement, the patient and healthy individuals were informed by the physiotherapist about the movement and exactly how to do the movement was shown. In Figure 3, it is seen that Xsens sensors are placed in the arm of the expert and the Stage-4 exercise is performed 5 times repeatedly. This movement was also recorded on video. Thus, even in environments where there is no expert person, people can see how to do the movement.

2.3. Data Set Construction

In this study, which aims to determine the relevant exercise of the Brunnstrom test, commercially available MTw inertial sensors from Xsens were used. This sensor can provide a 3-axis gyroscope, 3-axis accelerometers and 3-axis magnetometer data instantaneously. MTw, which can operate for 6 hours with a LiPo battery, can be easily placed on the body with the help of flexible hooks and loop straps. Data from MTw can be transferred to the computer with the help of a wireless adapter. To save the data transferred to the computer, MT Manager software published by Xsens free of charge was used. Figure 4 shows the interface of the MTw sensor and data acquisition software.



(a)



(b)

Figure 4. Xsens MTw Awinda sensor and software a) MTw motion tracker; b) MT Manager software

In the study, three-axis accelerometer data obtained from MTw was used to create the data set. MTw sensors are set to receive data at 100Hz sampling frequency. Thus, $100\text{Hz} \times 3 \text{ (axis)} = 300$ acceleration information was recorded per second. Some of the sensor data of the Stage-4 movement collected from a healthy individual is given in Table 3.

Table 3. Data of Xsens MTw accelerometer sensors

| Index | ACC_x | ACC_y | ACC_z |
|-------|-----------|----------|----------|
| 0 | -4.506073 | 8.561544 | 2.043696 |
| 1 | -4.486872 | 8.634863 | 2.032347 |
| 2 | -4.469610 | 8.505292 | 2.065711 |
| 3 | -4.484636 | 8.300303 | 2.133130 |
| ... | ... | ... | ... |

To obtain the data, 80 healthy and 15 patients with MTw sensors were asked to repeat the relevant exercise of the Brunnstrom test 5 times (to obtain reliable kinematics). Sensors are placed in the relevant parts of the arm determined by the physiotherapist. While exercise periods are done between 15-20 seconds in healthy individuals, this period naturally gets longer in sick individuals. Considering the age and stroke time of individuals, exercise times may vary from individual to individual. The time-domain representation of the Stage-4a exercise sensor data received with accelerometer signals from healthy and sick people is given in Figure 5.

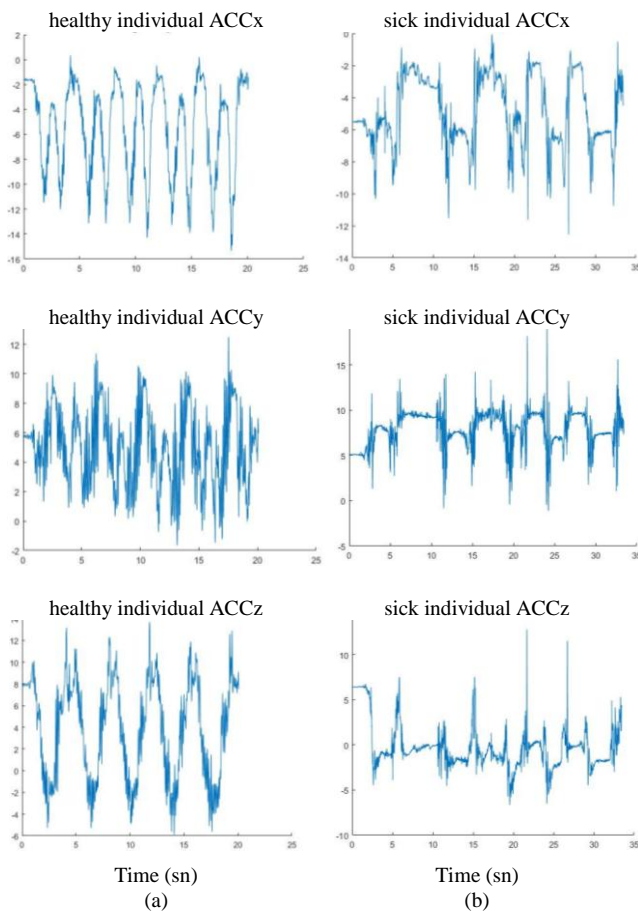


Figure 5. Time-domain signals of (a) Healthy and (b) Patient individuals with MTw sensor

The accelerometer signals given as two columns (a, b) in Figure 5 were taken from healthy and patient individuals. These received signals belong to one

random person from the healthy and patient clusters. Figure 5a column shows the data of a healthy individual and Figure 5b column shows the data of the patient. The received x, y, z coordinate signals are defined as properties. The local analysis deals with signal features in a small interval, such as a few seconds. The global analysis covers a wider range. When focusing on the local analysis part of the signals, a similar distance of the peak areas shows that the signal belongs to a healthy individual. The irregularity of the peak areas is clearly seen in patient individuals. When looking at the global analysis section, it is seen in healthy individuals that the signal has five repetitions. The number of repetitions cannot be determined in patient individuals.

As can be seen from the accelerometer signal shapes (x, y, z directions) given in Figure 5, it was observed that the signal progressed in a certain order during the Stage-4a movement in a healthy person. It was observed that there was a relatively random oscillating signal structure in the signals of the patient individuals.

2.4. Feature extraction

Real-time data from the accelerometer reduces data accuracy, as it contains noisy sensor samples. By using a median filter, this data can be transformed into a more useful way by removing noise. The median filter performs a nonlinear filtering operation in which a window moves over a signal, and the median value of the data in the window is output at each point. This value, which is in the middle of the data sorted from small to large, is expressed as the aggregation measure to the center.

The median of N data is $X_i, i = 1, \dots, N$ can be defined as X_{mdy} value for all y . X_{mdy} can always be selected as one of X_i .

$$\sum_{i=1}^N |X_{mdy} - X_i| \leq \sum_{i=1}^N |y - X_i| \quad (1)$$

As an example, the raw (blue line) and noise-reduced (orange line) data of healthy and patient individuals are shown in Figure 6. After filtering, noise-free data appears to be smoother than raw data. In both signals, the same part of the time domain was selected.

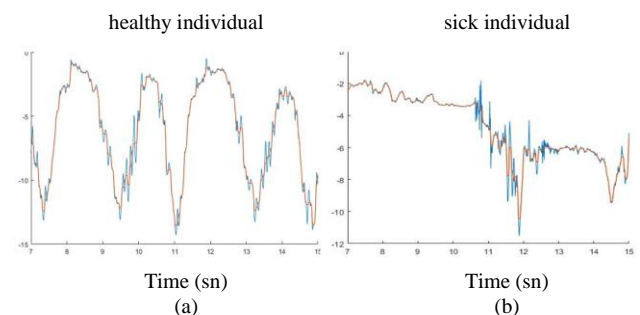


Figure 6. Time-domain signals of (a) Healthy and (b) Sick individuals

Since the upper limb movements of stroke patients are limited, they cannot complete the exercises properly.

This means that the sample data is included in some irrelevant data as well as useful raw data. As a result, variance, mean square root, maximum value, string length, etc. Some typical features, such as those that can represent the natural property of the motion function, must be removed. It is very important to deduce these features in terms of the efficiency of classification. In the study, feature extraction is performed for the time domain. In this study, mean acceleration values, deviation values of acceleration, peaks of the signal and local binary pattern (LBP) were used in the x, y, z axes. In Table 4, the signal properties received from the three axes of the two sensors are given.

Table 4. Features and explanations

| Explanations | Sensor 1 | Sensor 2 |
|---|--------------------------------|--------------------------------|
| Average acceleration values in x, y and z axes | μ_x, μ_y, μ_z | μ_x, μ_y, μ_z |
| Deviation values of acceleration in x, y and z axes | $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ | $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ |
| Peak peaks of the signal in x, y and z axes | F_x, F_y, F_z | F_x, F_y, F_z |
| Local binary pattern | LBP_x, LBP_y, LBP_z | LBP_x, LBP_y, LBP_z |

When performing Brunnstrom Stage-4 by individuals, activity is defined as the sum of absolute values of ACC signals in all directions.

$$Aktivite = \sum_i^n (|ACC_x^i| + |ACC_y^i| + |ACC_z^i|) \quad (2)$$

where ACC_x , ACC_y , ACC_z are the accelerometer components of the x, y, z axes, respectively; n is the number of samples of a given signal length. In this study, the following features were obtained.

Average acceleration values: The average vector between the three axes can be expressed as follows.

$$\bar{a}_i = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N a_i(t) \quad (3)$$

where i represents the axes ($i = x, y, z$)

Deviation values of acceleration: Standard deviation is used to capture the fact that the range of acceleration values of the activities of healthy and sick individuals is different.

$$S = \sqrt{\frac{1}{|W| - 1} \sum_{i=1}^{|W|} (a_i - m)^2} \quad (4)$$

where W is the length of the repetitive movement 4a. a_i is an example of acceleration. m is the average value of a_i .

Signal peaks: Returns a vector that is the local maximum (peaks) of the input signal vector. This peak is the data value that is larger than two adjacent instances. Returns the peaks of ACC_x , ACC_y , ACC_z in order F_x, F_y, F_z .

Local binary pattern: LBP captures the local distribution of the signal by comparing a sample with its neighbor and encoding the data into binary states. It is widely used for LBP image analysis and has proven to be very effective. Recently, researchers have also explored the effectiveness of LBP for a one-dimensional signal [21]. In one-dimensional LBP, a neighborhood window is defined on the accelerometer data. However, neighborhood values correspond to the previous and next readings in the accelerometer signal instead of the pixel proxies in the images. For each data sample in a signal, a binary code is generated by matching its value with the central value. This process is repeated on the entire signal. One-dimensional LBP formulation on an example is as follows.

$$LBP(x) = \sum_{i=0}^P F(t)2^i, \quad F(t) = \begin{cases} 1, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases} \quad (5)$$

where $t = P_i - P_c$. P_i represents the neighbor number, P_c represents the center point.

3. MACHINE LEARNING METHODS

In classification problems, it is important to select the appropriate classifier after the feature vectors are calculated. In the study, the movements of healthy and sick people are recognized. The task of motion recognition algorithms is to classify the input signal model into one of the given motion classes. In this study, K-Nearest Neighbors (KNN), Support Vector Machine (SVM) and Artificial Neural Networks Classifier (ANN) are used. In the study, the performance of these three classifiers was compared. KNN, SVM and ANN algorithms have been used successfully with varying success rates in defining Brunnstrom activities.

3.1. K-nearest neighbors (KNN)

KNN is one of the statistical classification algorithms used to classify objects according to the closest training examples in the property area. No real model or learning is made during the training phase, it only uses one instance of the search field to fill the class with known examples. Euclidean distance measurement was used to calculate the distance between the target sample and other samples in the property space. In the KNN algorithm, the training phase is very fast, but the testing phase is costly in both time and memory.

$$d(p, q) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - q_i)^2} \quad (6)$$

where $d(p, q)$ is the distance between samples p and q . p_i and q_i for example i . is the property and n is the number of properties.

3.2. Support vector machine (SVM)

SVM is a classifier derived from statistical learning theory. This classifier is a good choice for high-dimensional areas. In their standard formulations, SVMs are linear classifiers. Also, nonlinear classification can be accomplished by extending SVM using kernel methods. This classifier has been successfully applied to solve problems in many areas such as object, sound, fingerprint and handwriting recognition [21].

The KNN and SVM models used in this study are given in Table 5. Experimental applications were carried out for each of these models and the best classifier model was tried to be selected.

Table 5. Functions of KNN, SVM models

| k-NN Modelleri | SVM Modelleri |
|----------------|---------------------|
| Fine KNN | Linear SVM |
| Medium KNN | Quadratic SVM |
| Coarse KNN | Cubic SVM |
| Cosine KNN | Fine Gaussian SVM |
| Cubic KNN | Medium Gaussian SVM |
| Weighted KNN | Coarse Gaussian SVM |

3.3. Artificial Neural Networks (ANN)

Artificial Neural Network is a computational model consisting of interconnected artificial neurons. ANNs are able to model complex relationships between inputs and outputs. Similar to the KNN approach, the ANN is also a flexible and powerful architecture. ANN has the potential to be used for a range of different classification problems.

4. EXPERIMENTAL RESULT

In the study, the classification of the related activities of Brunnstrom Staging of healthy and sick individuals was performed using the accelerometer data. Patterns created from MTw sensor data were tested by KNN and SVM methods and their performances were compared. Reliable classification performance of the algorithms used in the study was provided with 10-fold cross-validation. It will provide an estimate of how well the algorithms perform overall. In this method, the data set is divided into ten equal sections, so that each section will have a balanced number of samples from all categories. 9 of them were used to train the classifier, and the rest were used to assess the effectiveness of the classifiers. The average of the classification performances obtained is considered the final performance of the system. The following accuracy measurement was used to evaluate the performance of the approaches.

$$Accuracy = \frac{TN + TP}{TP + TN + FP + FN} \times 100 \quad (7)$$

where TP, FP, TN and FN represent the number of true positives, false positives, true negatives and false negatives respectively.

In this study where only accelerometer data is used, the accuracy rates obtained according to different methods are shown in Figure 7. In this way, while showing the SVM, ANN and KNN methods according to different cross-validation on the x axis, the accuracy rates of the methods are shown on the y axis. The highest accuracy was obtained with the SVM method with 95.7%.

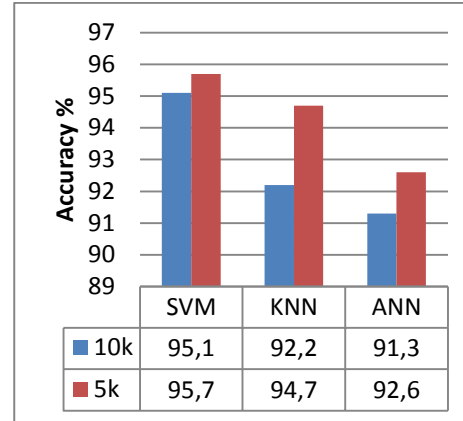


Figure 7. Classification accuracy by different algorithms

In this study, the confusion matrix obtained from different methods is shown in Table 6. 1 in the confusion matrix; shows the activity of sick individuals, 2 shows the activity of healthy individuals.

Table 6. The confusion matrix of KNN, SVM and ANN approaches

| | KNN | | SVM | | ANN | |
|---|--------------|----|--------------|----|--------------|----|
| 1 | 13 | 2 | 13 | 2 | 12 | 3 |
| 2 | 3 | 77 | 2 | 78 | 4 | 76 |
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| | Target Class | | Target Class | | Target Class | |

251

The accuracy obtained with twelve uses of KNN and SVM classifier models in total is given in Table 7.

Table 7. Accuracy rates for each model

| Model | Accuracy (%) |
|---------------------|--------------|
| Fine KNN | 94.40% |
| Medium KNN | 90.00% |
| Coarse KNN | 87.80% |
| Cosine KNN | 88.90% |
| Cubic KNN | 90.00% |
| Weighted KNN | 90.00% |
| Linear SVM | 94.40% |
| Quadratic SVM | 95.60% |
| Cubic SVM | 95.60% |
| Fine Gaussian SVM | 87.80% |
| Medium Gaussian SVM | 91.10% |
| Coarse Gaussian SVM | 90.00% |

5. RESULTS

This study used an experimental setup with the help of accelerometers to evaluate upper limb functions. Information was collected from patients and healthy individuals consisting of volunteers with the help of acceleration sensors. Classification processes of this

obtained information were carried out using machine learning algorithms. When the results are analyzed, success is achieved with appropriate matches. This situation is interpreted as choosing appropriate attributes and obtaining a suitable representation of high dimensional data space in a low dimension. It also aimed to evaluate the use of an upper limb in non-clinical settings. This experimental study, designed under the guidance of doctors, provided a reliable basis.

In future studies, remote evaluations of stroke patients performing rehabilitation exercises at home are planned by medical experts. Since the accelerometer sensors used in the study have flexible belts, the patient can continue his daily life at home with wearable sensors. The web interface will be designed for remote evaluation. Thus, patients who have to go to the rehabilitation center can be monitored remotely by providing remote monitoring. More data will be collected in the future to develop the prediction model so that it can be applied to other stages of the Brunnstrom Staging.

Limitations

This study has different limitations: (a) Standing motion of the patient brings the effect of arm swing. The accelerometer we use unilaterally cannot eliminate this effect. (2) The current accelerometers cannot distinguish the motion model of the user as motor learning. (3) The participants' leaving the hospital in certain periods will not be enough to reflect the performance of the upper limb throughout the day. (4) There is also the opinion that accelerometers may not be as sensitive as conventional assessments to detect functional improvement. (5) The volunteer group participating in the study constitutes a small sample. This situation brings a limitation in terms of the generalizability of the findings.

Information

The data in this study were collected from 15 stroke patients and 80 healthy individuals. We would like to thank the students of Bingöl University School of Physical Education and Sports who participated in this study to form a healthy cluster and our patients who devotedly support us to finish the experiments. We also thank the staff of the Bingöl State Hospital Physical Medicine and Rehabilitation Department, who provided detailed guidance and assistance during the experiments.

Declaration of Competing Interest

We declare that we do not have any commercial or associative interest that represents a conflict of interest in connection with the work submitted.

Ethics Statement

We declare that this study does not require any ethical approval and letter in connection with the work submitted.

REFERENCES

- [1] Go AS, Mozaffarian D, Roger VL, Benjamin EJ, Berry JD, Blaha MJ, et al. Heart Disease and Stroke Statistics - 2014 Update: A report from the American Heart Association. *Circulation* 2014. <https://doi.org/10.1161/01.cir.0000441139.02102.80>.
- [2] Songül DEVRİM SOYDEMİR. Acilde serebral inme endikasyonu ile yoğun bakım yatış kararı verilen kronik hemodiyaliz hastalarının demografik özellikleri, National institutes of health stroke skalası (nihss) ve charlson komorbidite skorlarının (ccs) diğer hastalar ile karşılaştırılma. 2015.
- [3] Lloyd-Jones D, Adams RJ, Brown TM, Carnethon M, Dai S, De Simone G, et al. Executive summary: Heart disease and stroke statistics-2010 update: A report from the american heart association. *Circulation* 2010. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.109.192667>.
- [4] Gustavsson A, Svensson M, Jacobi F, Allgulander C, Alonso J, Beghi E, et al. Corrigendum to "Cost of disorders of the brain in Europe 2010" [Eur. Neuropsychopharmacol. 21 (2011) 718-779]. *Eur Neuropsychopharmacol* 2012. <https://doi.org/10.1016/j.euroneuro.2012.01.001>.
- [5] Hancock N, Kilbride C. National clinical guideline for stroke. R Coll Physicians, UK 2012.
- [6] Lange B, Chang CY, Suma E, Newman B, Rizzo AS, Bolas M. Development and evaluation of low cost game-based balance rehabilitation tool using the microsoft kinect sensor. *Proc. Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. EMBS*, 2011. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2011.6090521>.
- [7] Rosenbaum P, Stewart D. The World Health Organization International Classification of Functioning, Disability, and Health: A Model to Guide Clinical Thinking, Practice and Research in the Field of Cerebral Palsy. *Semin Pediatr Neurol* 2004. <https://doi.org/10.1016/j.spen.2004.01.002>.
- [8] Tripoliti EE, Zervakis M, Fotiadis DI. Computer-based assessment of alzheimer's disease employing fMRI and/or EEG: A comprehensive review. *Mod. Electroencephalogr. Assess. Tech. Theory Appl.*, 2014. https://doi.org/10.1007/7657_2014_70.
- [9] Rigas G, Tzallas AT, Tsiouras MG, Bougia P, Tripoliti EE, Baga D, et al. Assessment of tremor activity in the parkinsons disease using a set of wearable sensors. *IEEE Trans Inf Technol Biomed* 2012. <https://doi.org/10.1109/TITB.2011.2182616>.
- [10] Mazilu S, Blanke U, Hardegger M, Troster G, Gazit E, Dorfman M, et al. GaitAssist: A wearable assistant for gait training and rehabilitation in Parkinson's disease. 2014 IEEE Int. Conf. Pervasive Comput. Commun. Work. PERCOM Work. 2014, 2014. <https://doi.org/10.1109/PerComW.2014.6815179>.
- [11] Ahlrichs C, Samà A, Lawo M, Cabestany J, Rodríguez-Martín D, Pérez-López C, et al. Detecting freezing of gait with a tri-axial accelerometer in Parkinson's disease patients. *Med Biol Eng Comput* 2016.

- <https://doi.org/10.1007/s11517-015-1395-3>.
- [12] Harun GÜNEŞ. Eeg/Emg Türü Zaman Serileri Kullanılarak Hareket Sınıflandırma İçin Derin Öğrenme Kullanımı. Fırat Üniversitesi, 2019.
- [13] Ossig C, Antonini A, Buhmann C, Classen J, Csoti I, Falkenburger B, et al. Wearable sensor-based objective assessment of motor symptoms in Parkinson's disease. *J Neural Transm* 2016. <https://doi.org/10.1007/s00702-015-1439-8>.
- [14] Patel S, Lorincz K, Hughes R, Huggins N, Growdon J, Standaert D, et al. Monitoring motor fluctuations in patients with parkinsons disease using wearable sensors. *IEEE Trans Inf Technol Biomed* 2009. <https://doi.org/10.1109/TITB.2009.2033471>.
- [15] Mamorita N, Iizuka T, Takeuchi A, Shirataka M, Ikeda N. Development of a system for measurement and analysis of tremor using a three-axis accelerometer. *Methods Inf. Med.*, 2009. <https://doi.org/10.3414/ME9243>.
- [16] Shull PB, Jirattigalachote W, Hunt MA, Cutkosky MR, Delp SL. Quantified self and human movement: A review on the clinical impact of wearable sensing and feedback for gait analysis and intervention. *Gait Posture* 2014. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2014.03.189>.
- [17] Rudzińska M, Izworski A, Banaszkiewicz K, Bukowczan S, Marona M, Szczudlik A. Quantitative tremor measurement with the computerized analysis of spiral drawing. *Neurol Neurochir Pol* 2007.
- [18] O'Suilleabhain PE, Dewey RB. Validation for tremor quantification of an electromagnetic tracking device. *Mov Disord* 2001. <https://doi.org/10.1002/mds.1064>.
- [19] Norman KE, Edwards R, Beuter A. The measurement of tremor using a velocity transducer: Comparison to simultaneous recordings using transducers of displacement, acceleration and muscle activity. *J Neurosci Methods* 1999. [https://doi.org/10.1016/S0165-0270\(99\)00091-6](https://doi.org/10.1016/S0165-0270(99)00091-6).
- [20] Carod-Artal FJ, Egido JA. Quality of life after stroke: The importance of a good recovery. *Cerebrovasc. Dis.*, 2009. <https://doi.org/10.1159/000200461>.
- [21] Hajibandeh N, Faghihi F, Ranjbar H, Kazari H. Classifications of disturbances using wavelet transform and support vector machine. *Turkish J Electr Eng Comput Sci* 2017. <https://doi.org/10.3906/elk-1511-124>.



Isolation and Molecular Characterization Of Antimicrobial Agent Producing Bacteria Isolated From Palandöken Mountain

Mustafa Özkan BALTACI¹

¹ Atatürk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Erzurum, Türkiye
 Mustafa Özkan BALTACI ORCID No: 0000-0003-4968-9016

*Sorumlu yazar: ozkanbaltaci@atauni.edu.tr

(Alınış: 17.02.2021, Kabul: 07.05.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Keywords

Antimicrobial substances, *Streptomyces*, Molecular characterization, Polyphasic approach

Abstract: *Streptomyces* is a genus of Gram-positive bacteria that grows in different habitats, and its shape takes after filamentous fungi. The most effective characteristic of *Streptomyces* is the ability to produce secondary metabolites, such as antivirals, antifungals, anti-hypertensives, antitumorals, and especially antibiotics. In this study, bacteria producing antimicrobial substances were isolated from soil samples collected from Palandöken Mountain. Test strains were identified using conventional (morphological, physiological and biochemical tests) and molecular methods (16S rRNA sequencing). Then, the antagonistic effect of these bacteria against pathogenic microorganisms was determined by disc diffusion method. As a result of analysis, it was found that two bacteria (AO1 and AO3) were similar to *Streptomyces violaceochromogenes*, one (AO2) to *Streptomyces ambofaciens* and other (AO4) to *Sphingomonas melonis* at a rate of 99%. According to conventional tests, all isolates were catalase positive, three were oxidase negative (except AO4). In addition, pH, NaCl and temperature values that isolates can growth were determined. Also, phylogenetic trees of the isolates were performed by the neighbor-joining method. Finally, the antimicrobial properties of bacteria were investigated. It was determined that the isolates generally showed high antimicrobial effect against *Escherichia coli* O157: H7 strain and the lowest antimicrobial effect was shown against *Staphylococcus aureus* strain.

Palandöken Dağı'ndan İzole Edilen, Antimikrobiyal Ajan Üreten Bakterilerin İzolasyonu Ve Moleküler Karakterizasyonu

Anahtar kelimeler

Antimikrobiyal maddeler, *Streptomyces*, Moleküler karakterizasyon, Polifazik yaklaşım

Öz: *Streptomyces*ler, farklı habitatlarda gelişen bir Gram-pozitif bakteri cinsi olup, şekli iplikli mantarlara benzer. *Streptomyces*'in en etkili özelliği antiviraller, antifungaller, anti-hipertansifler, antitümöraller ve özellikle antibiyotikler gibi sekonder metabolitler üretebilmesidir. Bu çalışmada, test suşları, geleneksel (morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal testler) ve moleküler yöntemler (16S rRNA sekanslama) kullanılarak tanımlandı. Daha sonra bu bakterilerin patojen mikroorganizmalara karşı antagonistik etkisi disk difüzyon yöntemi ile belirlendi. Analiz sonucunda, izole edilen dört bakteriden, ikisinin (AO1 ve AO3) *Streptomyces violaceochromogenes*'e, birinin (AO2) *Streptomyces ambofaciens*'e ve diğerinin ise (AO4) *Sphingomonas melonis*'e % 99 oranında benzer olduğu bulundu. Geleneksel testlere göre, tüm izolatlar katalaz pozitif, üçü oksidaz negatiftir (AO4 hariç). Daha sonra izolatların büyüebileceği pH, NaCl ve sıcaklık değerleri belirlendi. Ardından izolatların filogenetik ağaçları komşu birleştirme yöntemi ile yapılmıştır. Son olarak bakterilerin antimikrobiyal özellikleri araştırıldı. İzolatlar genel olarak *Escherichia coli* O157:H7 suşuna karşı yüksek antimikrobiyal etki gösterdiği ve en düşük antimikrobiyal etkinin *Staphylococcus aureus* suşuna karşı gösterildiği tespit edildi.

1. INTRODUCTION

Antibiotics are substances that are usually synthesized by living microorganisms such as some bacteria and

fungi, have a stopping or lethal effect on many microorganisms and are mostly used in the treatment of infectious diseases [1]. Especially in recent years, although the research and development activities of the

international pharmaceutical industry have increased every year, it is reported that there is a serious decrease in the number of newly discovered and patented drugs. Therefore, the antimicrobial activity of many *Streptomyces* species is important for the pharmaceutical industry. Antibiotics commonly found in nature; They play a regulatory role in the microbial population of soil, water, sewage and compost. In recent years, the emergence of many strains of pathogenic microorganisms has developed resistance to antibiotics, which poses a serious threat to public health. The truth is that some pathogenic microorganisms are resistant to all antibiotics in existence and cannot be cured. Therefore, completely new types of antibiotics are needed. Due to the resistance of pathogenic microorganisms to antibiotics, the treatment of infectious diseases is getting more difficult and material and moral loss in such diseases has been increasing day by day [2-4]. Increasing number of antibiotic-resistant strains due to misuse of antibiotics has led us to find new antibiotic compounds [5, 6]. Modern medicine has managed to overcome many life-threatening diseases, but the threat of antibiotic-resistant bacteria seems to be a never-ending challenge facing humanity. If no action is taken, by 2050 the death toll from antibiotic-resistant strains will be higher than deaths caused by cancer [7]. This dangerous situation, in which the wrong use of antibiotics is seen as the biggest reason, is tried to be overcome by various methods [8]. One of these methods is to find and synthesize new antimicrobial substances. As is known, molds and bacteria produce antibiotics [9]. The vast majority of microbial diversity (> 95%) is still undiscovered. It is clear that such an area that stands before us and is waiting to be discovered has great potential [10]. The regions where transportation is difficult and the human population is low where the chances of finding new species are higher. Isolation, identification and molecular characterization of bacteria producing antimicrobial metabolites from soil samples taken from summit of Palandöken mountain were performed in present study. Then their antagonistic effects on pathogenic microorganisms were determined.

In the light of all this information, our aim in this study, the molecular characterization and antimicrobial properties of bacteria isolated from Palandöken mountain were determined for the first time.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Collection of Samples

Soil samples from different heights of Erzurum, Palandöken Mountain, from a height of approximately 3000 meters, were collected in sterile containers and stored at room temperature until they were studied.

2.2. Isolation of Bacteria

1 gram of soil sample was placed in falcon tubes containing 50 ml sterile 0.9% NaCl. A serial dilution (dilution series from 100 to 10⁻⁷) was prepared. 100 µl of these dilutions were taken and spread on TSA agar plates. These petri dishes were left to incubate for 48

hours at 37 °C under aerobic conditions. Finally, the colonies formed on the petri dish were selected and their pure cultures were prepared [11]. It was determined that four out of twenty six bacteria isolated produced antimicrobial substances.

2.3. Morphological Physiological and Biochemical Characteristics of Bacteria

Oxidase reagent (Sigma 70439) was used for testing oxidase activity. Catalase activity was observed by the production of bubbles after the addition of a drop of 3 % (v/v) H₂O₂. Gram-reaction was carried out following the method performed by Adiguzel et al [12]. In order to determine temperature range for growth, test strains were grown in Tryptic Soy Broth (TSB) at 15, 20, 25, 30, 37, 40, 45, 50, and 55°C for 48 h. Growth at various NaCl concentrations (0–10 %, at intervals of 1.0 %) was determined in TSB medium. The pH range for growth was determined (4.0–11.0 at 0.5 unit intervals) in TSB medium All parameters (temperature, salt concentration and pH value) were performed in triplicate and measured at OD₆₀₀ nm [13].

2.4. Molecular Characterization of Bacteria

DNA isolation of strains were performed according to Wizard® Genomic DNA Purification Kit protocol. Briefly, for DNA isolation. the cell walls of the isolates were first lysed with lysozyme. Incubate at 37°C for 30–60 minutes. Samples were centrifuged at 13000 rpm and the supernatant discarded. Then 600 µl of Nuclei Lysis Solution, 3µl of RNase Solution and 200µl of Protein Precipitation Solution was added and centrifuged at 13000 rpm. The supernatant was transferred to tubes containing 600 µl isopropanol and centrifuged. Later, 70% ethanol was added to wash the DNA. Last DNA was dissolved in rehydration solution. The 16S rRNA region, was amplified using UNI16S-L: (5'-ATTCTAGAGTTTGATCATGGCTCA-3') and UNI16S-R: (5'-ATGGTACCGTGTGACGGGCGG TGTGTA-3') primers. 30 µL volume of PCR mixture containing, 17.1 µl ddH₂O, 3 µl 10X PCR buffer, 1.2 µl DMSO, 0.6 µl dNTP, 1.8 µl MgCl₂, 1.5 µl (10 µM) reverse primer, 1.5 µl (10 µM) forward primer, 3 µl Taq DNA polymerase and 3 µl template DNA [12]. PCR programme was given in Table 1. The amplified fragments were cloned into Escherichia coli JM101 strain with the pGEM-T Easy Cloning Vector (Promega, Southampton, UK) according to protocol of the manufacturer. After the cloning stage, plasmid isolation was carried out. The colonies which gave the positive result, were sequenced by the Macrogen Company (Netherlands). 16S rRNA sequence was compared with the other bacterial strains in the GenBank and EzTaxon (<http://blast.ncbi.nlm.nih>. and <http://www.eztaxon.org>), the similarity rate between them was designated. Considering the results of the study, a phylogenetic tree was constructed neighbor-joining method using the software package MEGA 4.0 [14].

Table 1. 16S rRNA PCR steps

| | Temperature (°C) | Time (min) | Cycle number |
|------------------|------------------|------------|--------------|
| Pre-denaturation | 94 | 2 | 1 |
| Denaturation | 94 | 1 | 36 |
| Annealing | 49 | 1 | 36 |
| Elongation | 72 | 2 | 36 |
| Last elongation | 72 | 5 | 1 |
| Storage | 4 | ∞ | |

2.5. Antagonistic Effects of Isolates Against Pathogens

Biomass was removed by centrifugation after isolates were grown in TSB medium. Then, the effect of culture fluids against pathogenic microorganisms was investigated using the disc diffusion method. Gram positive and Gram negative organisms were spread on the surfaces of Mueller Hinton agar media. Discs (diameter, 5 mm) were placed on the surface of each plate. Then centrifuged supernatant of AO1-AO4 loaded on discs. The plates were incubated at 37 °C for 24 hrs [15]. The antagonistic effects of the test strains were determined by measuring the zone diameters formed.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The most crucial problem in the treatment of infectious diseases is presence of antibiotic-resistant microorganisms due to widespread use of antibiotics in world. For this reason, in recent years, it has become important to search for new microorganisms that produce powerful antibiotics [16, 17]. *Streptomyces* are source of most antibiotics in the world and in this regard they represent a very important bacterial strain. They are found in almost all environments, from deep sea to high mountains [18-20]. In this study, it was found that three of four bacteria producing anti-microbial substances belong to the genus *Streptomyces*.

3.1. Conventional Analysis of Test Isolates

Four bacteria producing antimicrobial substances were isolated from soil samples collected from different points of Palandöken Mountain. These strains were encoded AO1, AO2, AO3 and AO4. As a result of the analysis, all isolates are catalase positive, and AO1, AO2, AO3 are oxidase negative but AO4 is oxidase positive. Details of conventional tests are given in Table 2.

Table 2. Conventional analysis results of isolates

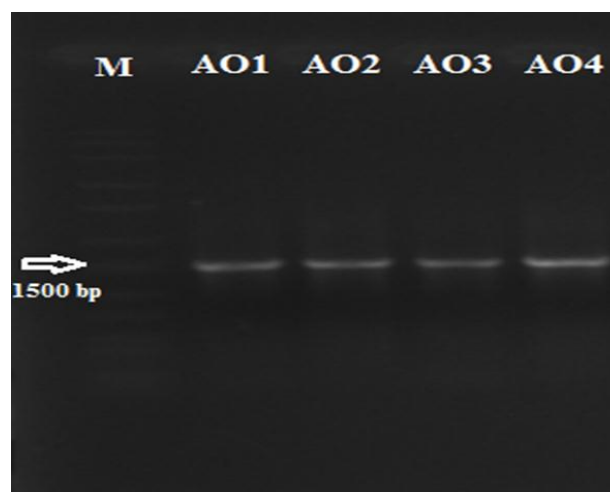
| | Oxidase | Catalase | pH | Temp. (°C) | NaCl (%) | Gram |
|-----|---------|----------|-----|------------|----------|------|
| OA1 | - | + | 5-9 | 10-45 | 0-8 | + |
| OA2 | - | + | 6-8 | 15-40 | 0-4 | + |
| OA3 | - | + | 4-9 | 10-45 | 0-6 | + |
| OA4 | + | + | 6-9 | 15-40 | 0-2 | - |

Zheng et al. reported that *Streptomyces ambofaciens* was oxidase negative and catalase positive [21]. Also, Baltaci

et al. stated that *Streptomyces violaceochromogenes* was oxidase negative and catalase positive [11]. Our data match the literature in this aspect.

3.2. Molecular Analysis

For molecular characterization of the isolated bacteria, DNA isolation was first performed and then 16s rRNA gene regions were amplified with PCR. The gel image is shown in Figure 1. The amplified gene regions were cloned into pGEM-T Easy Cloning Vector (Promega, Southampton, UK) and sent to Macrogen Company (Netherlands) for sequence analysis. As a result of the sequence analysis all the isolates contained 1409–1426 nucleotides. Later, the sequences were examined by BLAST, GenBank and EzTaxon Tools; results are shown in Table 3. Then, phylogenetic tree of isolated bacteria and standard strains was made using neighbor-joining method (Figure 2).

**Figure 1.** 16S rRNA PCR gel image of isolates

16S rRNA region, which would be substantial in terms of bacterial systematics, was amplified using UNI16S-L: (5'-ATTCTAGAGTTTGATCATGGCTCA-3') and UNI16S-R: (5'- ATGGTACCGTGTGACGGGCGG TGTGTA-3') primers. The primers used amplify a region of about 1500 base pair

Table 3. 16S rRNA gene sequences results and related species

| Bacteria strains | Related species | Similarity ratio | Base pair |
|------------------|---|------------------|-----------|
| OA1 | <i>Streptomyces violaceochromogenes</i> | %99 | 1425 bp |
| OA2 | <i>Streptomyces ambofaciens</i> | %99 | 1416 bp |
| OA3 | <i>Streptomyces violaceochromogenes</i> | %99 | 1426 bp |
| OA4 | <i>Sphingomonas melonis</i> | %99 | 1409 bp |

When the literature data are examined, it is seen that there are many *Streptomyces* species that are isolated from soil and produce antimicrobial substances.

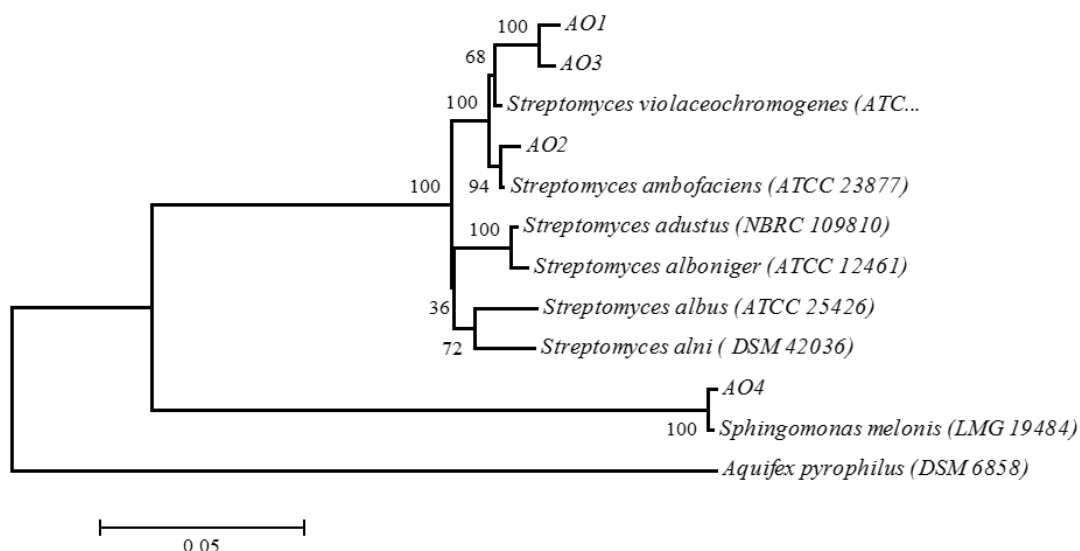


Figure 2. Based on 16S rRNA gene sequence data of the antimicrobial agent producing bacteria isolated from Palandoken mountain, the phylogenetic tree was constructed by the neighbor joining method. *Aquifex pyrophilus* was used as out-group. Bootstrap values based on 1000 replications are listed as percentages at branching points. The scale bar represented 0.05 divergence.

3.3 Determination of Antagonistic Effect

Disc diffusion method was used to determine the antagonistic effect of bacteria against pathogenic microorganisms. Results are given in Table 4.

Table 4. Antagonistic effect of isolates against pathogenic microorganism

| Pathogens | OA1 | OA2 | OA3 | OA4 |
|------------------------------------|---------|--------|---------|---------|
| <i>Yersinia pseudotuberculosis</i> | 1.8 cm | 3 cm | 1.4 cm | 0.5 cm |
| <i>Serratia marcescens</i> | 2 cm | 1.2 cm | 2.3 cm | 0.25 cm |
| <i>Klebsiella pneumoniae</i> | 2 cm | 0.8 cm | 2.1 cm | 0.55 cm |
| <i>Streptococcus pyogenes</i> | 1 cm | 3 cm | 0.6 cm | 0.6 cm |
| <i>Staphylococcus epidermidis</i> | 1 cm | 3 cm | 0.7 cm | 1.2 cm |
| <i>Staphylococcus aureus</i> | 0 cm | 0.1 cm | 0.2 cm | 0.35 cm |
| <i>Pseudomonas aeruginosa</i> | 1 cm | 1 cm | 1.6 cm | 1.3 cm |
| <i>Salmonella Typhimurium</i> | 0.85 cm | 0.3 cm | 0.85 cm | 1.5 cm |
| <i>Listeria monocytogenes</i> | 1 cm | 1 cm | 1 cm | 0.9 cm |
| <i>Escherichia coli O157:H7</i> | 3 cm | 2 cm | 3.5 cm | 3.2 cm |

As a result of disk diffusion analysis, It was determined that most resistant strain against test strains was *Staphylococcus aureus*, and the most sensitive bacteria was *Escherichia coli* O157: H7. There are many studies in literature showing that *Staphylococcus aureus* are resistant to *Streptomyces* [22-24]. Also many researchers reported that *Escherichia coli* O157: H7 is sensitive to *Streptomyces* [25, 26].

4. CONCLUSION

In conclusion, although the consumption of antibiotics is very common in our country, studies on the production of antibiotics from *Streptomyces* species from which the majority of antibiotics are obtained are quite limited.

Turkey is considered as a decent place for isolation of microorganism having ability to produce antimicrobial substances due its unique geographical location and various vegetation.

REFERENCES

- [1] Awais M, Shah AA, Hameed A, Hasan F. Isolation, identification and optimization of Bacitracin produced by *Bacillus* sp. Pakistan Journal of Botany. 2007;39(4):1303-12.
- [2] Burnham CAD, Leeds J, Nordmann P, O'Grady J, Patel J. Diagnosing antimicrobial resistance. Nat Rev Microbiol. 2017;15(11):697-703.
- [3] Yoneyama H, Katsumata R. Antibiotic resistance in bacteria and its future for novel antibiotic development. Biosci Biotech Bioch. 2006;70(5):1060-75.
- [4] Martinez JL. General principles of antibiotic resistance in bacteria. Drug Discov Today Technol. 2014;11:33-9.
- [5] Livermore DM, Antimicrobial BS. Discovery research: the scientific challenge of finding new antibiotics. J Antimicrob Chemoth. 2011;66(9):1941-4.
- [6] Gould IM, Bal AM. New antibiotic agents in the pipeline and how they can help overcome microbial resistance. Virulence. 2013;4(2):185-91.
- [7] Gupta A, Mumtaz S, Li CH, Hussain I, Rotello VM. Combatting antibiotic-resistant bacteria using nanomaterials. Chem Soc Rev. 2019;48(2):415-27.
- [8] Overbye KM, Barrett JF. Antibiotics: where did we go wrong. Drug Discov Today. 2005;10(1):45-52.
- [9] Cheesman MJ, Ilanko A, Blonk B, Cock IE. Developing New Antimicrobial Therapies: Are Synergistic Combinations of Plant Extracts/Compounds with Conventional

- Antibiotics the Solution? *Pharmacogn Rev.* 2017;11(22):57-72.
- [10] Vitorino LC, Bessa LA. Microbial Diversity: The Gap between the Estimated and the Known. *Diversity-Basel.* 2018;10(2).
- [11] Baltacı MO, Adigüzel A. Isolation, Identification and Molecular Characterization of Cellulolytic Bacteria from Rumen Samples collected from Erzurum Slaughter House, Turkey. *Res J Biotechnol.* 2016;11(2):32-8.
- [12] Adigüzel G, Faiz O, Sisecioglu M, Sari B, Baltacı O, Akbulut S, et al. A novel endo-beta-1,4-xylanase from *Pediococcus acidilactici* GC25; purification, characterization and application in clarification of fruit juices. *Int J Biol Macromol.* 2019;129:571-8.
- [13] Baltacı MO, Ay H, Akbulut S, Adigüzel G, Albayrak S, Omeroglu MA, et al. *Bacillus pasinlerensis* sp. nov., a thermophilic bacterium isolated from a hot spring in Turkey. *Int J Syst Evol Micr.* 2020;70(6):3865-71.
- [14] Baltacı MO, Genc B, Arslan S, Adigüzel G, Adigüzel A. Isolation and Characterization of Thermophilic Bacteria from Geothermal Areas in Turkey and Preliminary Research on Biotechnologically Important Enzyme Production. *Geomicrobiol J.* 2017;34(1):53-62.
- [15] Iglesias MB, Abadias M, Anguera M, Sabata J, Vinas I. Antagonistic effect of probiotic bacteria against foodborne pathogens on fresh-cut pear. *Lwt-Food Sci Technol.* 2017;81:243-9.
- [16] Fields FR, Lee SW, McConnell MJ. Using bacterial genomes and essential genes for the development of new antibiotics. *Biochem Pharmacol.* 2017;134:74-86.
- [17] Van der Meij A, Worsley SF, Hutchings MI, van Wezel GP. Chemical ecology of antibiotic production by actinomycetes. *Fems Microbiol Rev.* 2017;41(3):392-416.
- [18] Quinn GA, Banat AM, Abdelhameed AM, Banat IM. *Streptomyces* from traditional medicine: sources of new innovations in antibiotic discovery. *Journal of Medical Microbiology.* 2020;69(8):1040-8.
- [19] Waksman SA, Schatz A, Reynolds DM. Production Of Antibiotic Substances By Actinomycetes (Reprinted from. *Ann Ny Acad Sci.* 2010;1213:112-24.
- [20] Sarmiento-Vizcaino A, Espadas J, Martin J, Brana AF, Reyes F, Garcia LA, et al. Atmospheric Precipitations, Hailstone and Rainwater, as a Novel Source of *Streptomyces* Producing Bioactive Natural Products. *Front Microbiol.* 2018;9.
- [21] Zheng B, Han XX, Xia ZF, Wan CX, Zhang LL. *Streptomyces lopnurensis* sp nov., an actinomycete isolated from soil. *Int J Syst Evol Micr.* 2014;64:4179-83.
- [22] Jabila Mary TR, Kannan RR, Muthamil Iniyar A, Carlton Ranjith WA, Nandhagopal S, Vishwakarma V, et al. beta-lactamase inhibitory potential of kalafungin from marine *Streptomyces* in *Staphylococcus aureus* infected zebrafish. *Microbiol Res.* 2021;244:126666.
- [23] Balasubramanian S, Othman EM, Kampik D, Stopper H, Hentschel U, Ziebuhr W, et al. Marine Sponge-Derived *Streptomyces* sp. SBT343 Extract Inhibits Staphylococcal Biofilm Formation. *Front Microbiol.* 2017;8:236.
- [24] Hong HJ, Hutchings MI, Hill LM, Buttner MJ. The role of the novel Fem protein VanK in vancomycin resistance in *Streptomyces coelicolor*. *J Biol Chem.* 2005;280(13):13055-61.
- [25] Allen AD, Daley P, Ayorinde FO, Gugssa A, Anderson WA, Eribo BE. Characterization of medium chain length (R)-3-hydroxycarboxylic acids produced by *Streptomyces* sp JM3 and the evaluation of their antimicrobial properties. *World J Microb Biot.* 2012;28(9):2791-800.
- [26] Kim YG, Lee JH, Kim CJ, Lee JC, Ju YJ, Cho MH, et al. Antibiofilm activity of *Streptomyces* sp. BFI 230 and *Kribbella* sp BFI 1562 against *Pseudomonas aeruginosa*. *Appl Microbiol Biot.* 2012;96(6):1607-17.



Dipeptit Kaplı Manyetik Fe₃O₄ Nanopartikülünün Termal ve Dielektrik Özelliklerinin İncelenmesi

Eray ÇALIŞKAN^{1*}, Fatih BİRYAN², Kenan KORAN²

¹ Bingöl Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Bingöl, Türkiye

² Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, Elazığ, Türkiye

Eray ÇALIŞKAN ORCID No: 0000-0003-2399-4100

Fatih BİRYAN ORCID No: 0000-0001-9198-3329

Kenan KORAN ORCID No: 0000-0002-2218-7211

*Sorumlu yazar: ecaliskan@bingol.edu.tr

(Alınış: 14.03.2021, Kabul: 12.04.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Anahtar Kelimeler

Nanopartikül,
Dielektrik,
Termal özellik,
Organik Sentez

Öz: Bu çalışmada Manyetik Fe₃O₄ nanopartikülün yüzeyinin biyolojik olarak aktif ikincil bir katman ile modifiye edilmesi ve termal ve dielektrik özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Birlikte çöktürme yöntemiyle manyetik Fe₃O₄ nanopartikülleri hazırlanmış ve 3-aminopropiltrimetoksilan (APTS) ile modifiye edilmiştir. Daha sonra sitein ve alanin amino asitlerinden yeni bir amino asit konjugatı hazırlanmış ve Fe₃O₄@APTS manyetik nanopartikülüne peptit bağı ile bağlanmıştır. Bileşiklerin yapısı FT-IR, ¹H-NMR ve ¹³C-NMR teknikleri kullanılarak karakterize edildi. Termal özellikleri termogravimetrik analiz (TGA) yöntemi kullanılarak oda sıcaklığından 600 °C'ye kadar azot atmosferinde incelendi. Dielektrik özellikler alternatif akıma (AC) bağlı olarak 100Hz ve 20 kHz frekans aralığında oda sıcaklığında ölçüldü.

259

Investigation of Thermal and Dielectric Properties of Dipeptide Coated Magnetic Fe₃O₄ Nanoparticles

Keywords

Nanoparticles,
Dielectric,
Thermal properties,
Organic synthesis

Abstract: The aim of the study is to modify the surface of magnetic Fe₃O₄ nanoparticle with a biologically active secondary layer and to investigate its thermal and dielectric properties. Magnetic Fe₃O₄ nanoparticles were prepared by co-precipitation method and modified with 3-aminopropyltrimethoxysilane (APTS). Then, a new amino acid conjugate was prepared from cystine and alanine and engage to Fe₃O₄@APTS magnetic nanoparticle. The structure of the compounds was characterized by using FT-IR, ¹H and ¹³C NMR techniques and thermal properties were examined via thermogravimetric analysis (TGA) method in a nitrogen atmosphere from room temperature to 600 °C. Dielectric properties were measured at room temperature in the frequency range of 100Hz and 20 kHz depending on alternating current (AC).

1. GİRİŞ

Peptitler, kimya, biyokimya ve farmasötik araştırmalarda her zaman en önemli malzemelerden biri olmuştur. Son yıllarda yüksek verimli ve yüksek teknolojiye sahip eczanelerin yeni nesli olarak konjuge ilaçlara olan ilgi artmıştır [1-4]. Peptid-ilaç konjugasyonu alanında, kimyasal bileşikler ile çoğunlukla protein ipliklerinden ve amino asit birimlerinden oluşan biyolojik yapılar arasındaki amid bağı oluşumu önem kazanmıştır [5,6]. Farklı amino asitlerin/peptitlerin konjugatları biyolojik olarak aktif olmalarının yanı sıra ümit verici ilaç adayları olma gibi olağanüstü sonuçlar vermiştir [7]. Ayrıca

amino asit/peptit bazlı ilaçlar düşük toksisiteye, iyi hücre geçirgenliğe ve metabolik özelliklere sahiptir [8].

Son yıllarda nanoteknoloji alanında meydana gelen gelişmeler, nanopartiküllerin sentezlenmesine, karakterizasyonuna, fonksiyonel hale getirilmesine ve farklı alanlardaki uygulamalarda kullanılmasına olanak vermektedir [9-11]. Nanopartiküller, kimyasal reaksiyonlarda katalizörler ve birleştirme reaktifleri gibi önemli özelliklere sahiptir ve çeşitli amaçlara yönelik türler olarak çok fazla dikkat çekmiştir. Nano ölçekleri sayesinde bir kimyasal reaksiyonu katalizlemek için geniş bir yüzey alanına sahiptirler. Bu nedenle, bir reaksiyonun gerçekleştirilmesi için kısmi bir nanokatalizör miktarı yeterli olmaktadır. Heterojenlikleri

ve manyetik özellikleri sayesinde reaksiyon ortamından kolayca ayrılabilirler. Aynı zamanda nanopartiküllerin yüzeyleri, ikincil bir katman olarak çeşitli organik bileşikler veya silika gibi amorf yapılarla modifiye edilebilirler.

Manyetik nanopartiküller ilaç salınım sistemleri, biyomedikal uygulamaları olarak kullanımına ilişkin araştırmalar son zamanlarda artmıştır [12,13]. Özellikle manyetik nanopartiküllerin önemli bir üyesi olan Fe_3O_4 , son zamanlarda katalitik reaksiyonlar için geleneksel destek malzemelerine alternatif olarak ortaya çıkmıştır, çünkü bunlar reaksiyon sisteminden harici bir manyetik alanla kolayca geri kazanılabilir [14,15].

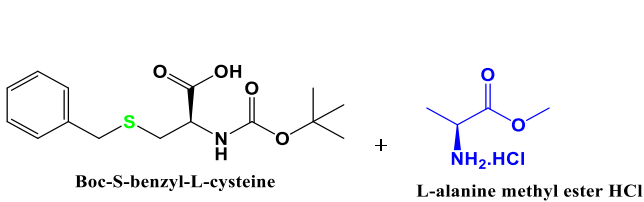
Bu çalışmada Manyetik Fe_3O_4 nanopartikülün yüzeyinin biyolojik olarak aktif ikincil bir katman ile modifiye edilmesi sonucu termal ve dielektrik özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç için öncelikle manyetik Fe_3O_4 nanopartikülleri hazırlanmış ve 3-aminopropiltrimetoksisilan (APTS) ile modifiye edilmiştir. Daha sonra sistein ve alanin amino asitlerinden yeni bir amino asit konjugatı hazırlanmış ve $Fe_3O_4@APTS$ manyetik nanopartikülüne amit bağı ile bağlanmıştır. Termal özellikleri incelemek amacıyla termogravimetrik analiz (TGA) yöntemi kullanıldı. Başlangıç ve son ürünün oda sıcaklığından $600\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar $10\text{ }^\circ\text{C}/\text{dk}$ ısıtma hızında kütle değişimleri incelendi. Dielektrik özellikler alternatif akıma (AC) bağlı olarak 100Hz ve 20 kHz frekans aralığında oda sıcaklığında ölçüldü.

2. MATERYAL VE METOT

Demir(III)klorürheksahidrat ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$), Demir(II)sülfateptahidrat ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$), sodyum hidroksit, tetrahidrofuran (THF), asetonitril (MeCN), 2-Kloro-4,6-dimetoksi-1,3,5-triazin (CDMT), 4-Metilmorfolin (NMM), Boc-S-benzil-L-sistein, L-alanin metil ester.HCl, 3-aminopropil trimetoksisilan (APTS) Sigma Aldrich'ten temin edilmiştir. FT-IR spektrumları için Thermo-ATR FT-IR spektroskopisi kullanıldı. NMR spektrumları AVANCE III 400 MHz Bruker NMR spektrometresi ile ölçülmüştür. Termal analizler Shimadzu DTG-60 birleşik sistem ile azot atmosferinde kaydedilmiştir.

2.1. Manyetik Fe_3O_4 Nanopartiküllerinin (MNP) Sentezi

Manyetik Fe_3O_4 nanopartikülleri literatürdeki metoda göre hazırlandı [16]. Bunun için 0.324 g $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ve 0.278 g $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 40ml suda çözünür ve $70\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 20



Şema 2. Boc-Cys-Ala-OMe dipeptit'in sentezi

dakika ısıtıldı. Bu çözelti manyetik karıştırıcı yardımıyla hızlı bir şekilde karışırken üzerine ilk olarak 5ml 1N NaOH ve ardından 5ml 3N NaOH çözeltisi damla damla eklendi. Ortamda siyah renkli Fe_3O_4 partikülleri oluştu. Katı partiküller süzgeç kağıdıyla süzülde. Santrifüj tüplerine alınan partiküller seyreltik HCl çözeltisi ile yıkanarak nötrleştirildi ve son olarak saf suyla yıkandı. Ardından $70\text{ }^\circ\text{C}$ 'de vakum altında kurumaya bırakıldı.

2.2. MNP' nin 3-aminopropil trimetoksisilan (APTS) ile Modifikasyonu

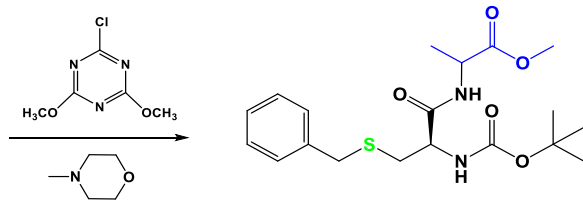
$Fe_3O_4@APTS$ nin hazırlanması literatürdeki metoda göre yapılmıştır [18]. 30 mL susuz toluen içerisinde 0.5 g MNP ultrasonik homojenizatörde yaklaşık 2 saat dispers edildi. Bu çözeltiye argon gazı atmosferinde 4 mL 3-amino-propil trimetoksisilan ve 4 mL piridin damla damla ilave edildi. Elde edilen karışım 72 saat reflaks edildi ve oda sıcaklığına soğutuldu. Miknatis yardımıyla manyetik kısım ayrıldı ve reaksiyona girmemiş APTS'yi uzaklaştırmak için sırasıyla, metanol, aseton ve hekzan ile ikişer defa yıkandı. Elde edilen katı önce oda sıcaklığında daha sonra $50\text{ }^\circ\text{C}$ 'de vakum altında kurutuldu.



Şema 1. Fe_3O_4 nanopartikülünün APTS ile modifikasyonu

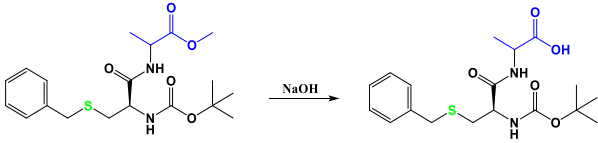
2.3. Boc-Cys-Ala-OMe Dipeptit'in Sentezi

1 g (3.21 mmol Boc-S-benzil-L-sistein, 0.676 g (3.85 mmol 2-Kloro-4,6-dimetoksi-1,3,5-triazin (CDMT), ve 0.448 g (3.21 mmol L-alanin metil ester.HCl bileşikleri içerisinde 30 mL Asetonitril (MeCN) bulunan tek boyunlu reaksiyon balonuna ilave edildi ve karıştırıldı. Oluşan süspansiyona 0.812 g (8.03 mmol, 2.5 Eq.) 4-Metilmorfolin (NMM) damlalık kullanılarak yavaş yavaş eklendi ve oda sıcaklığında karıştırıldı. TLC (6:4 EtOAc/n-hekzan) ile reaksiyon takip edilerek durduruldu (yaklaşık reaksiyon süresi 48 saat) [18]. Reaksiyon durdurulduktan sonra reaksiyonun çözücüsü MeCN bir kısmı buharlaştırıldı ve üzerine 30 mL su ilave edildi ve karıştırıldı. Karışımdaki katı kısım hızlı bir şekilde çözünerek berrak görünüm kazandı. Fakat kısa süre içinde çökme başladı. Çökenin tam olarak gerçekleşmesi için birkaç saat karıştırıldı. Çöken katı madde süzülerek kurumaya bırakıldı. Verim: %78.



2.4. Boc-Cys-Ala dipeptit'in sentezi

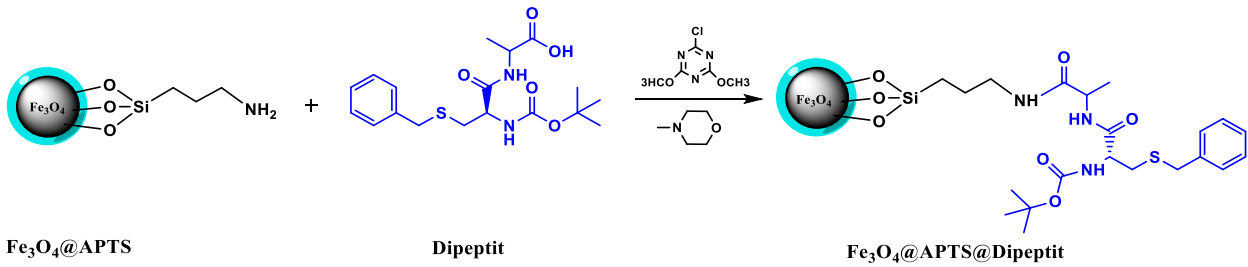
Boc-Cys-Ala bileşiğini elde etmek için hazırladığımız Boc-Cys-Ala-OMe bileşiğindeki metoksi grubu bazik ortamda kırıldı. Bunun için (1.0 mmol) Boc-Cys-Ala-OMe metanolde çözülerek reaksiyon balonuna eklendi ve buz banyosu ile 0 °C'ye getirildi. Daha sonra üzerine %8 lik NaOH çözeltisi (2M, 2.0 mmol, 5 mL) damlatma hunisi yardımıyla 30 dakikada ilave edildi. Ardından reaksiyon 6 saat oda sıcaklığında karıştırıldı. Reaksiyon ince tabaka kromatografisi (hekzan-etilasetat (5:3)) ile takip edilerek sonlandırıldı [19]. Reaksiyon durdurulduktan sonra karışımın pH'ı 3 olana kadar 0 °C'de 4N HCl çözeltisi ilave edildi. Bu aşamadan sonra MeOH vakum altında buharlaştırıldı. Karışıma yaklaşık 40 mL EtOAc ilave edilerek karıştırıldı. Çözünmeyen kısım süzülerek ayrıldı. Süzüntü MgSO₄ ile kurutuldu ve çözücüsü EtOAc döner buharlaştırıcıda uçuruldu. Elde edilen kısım kloroformda tekrar çözüldü ve n-hekzan içerisinde çöktürüldü. Çöken beyaz renkli katı madde süzülerek ayrıldı ve vakum altında kurutuldu. Verim %67.



Şema 3. Boc-Cys-Ala dipeptit'in sentezi

2.5. Fe₃O₄@APTS@Dipeptit Sentezi

0.1 g Fe₃O₄@APTS nanopartikülü tek boyunlu reaksiyon balonunda 40 mL asetonitril-etanol karışımında dispers edildikten sonra üzerine, 1.0 g (2.61 mmol Boc-Cys-Ala dipeptit ve 0.550 g (3.14 mmol 2-Kloro-4,6-dimetoksi-1,3,5-triazin (CDMT) bileşikleri ilave edildi ve karıştırıldı. Karışıma oda sıcaklığında 0.661 g (6.54 mmol, 2.5 Eq.) 4-Metilmorfolin (NMM) damlalık kullanılarak yavaş yavaş eklendi ve daha sonra 48 saat



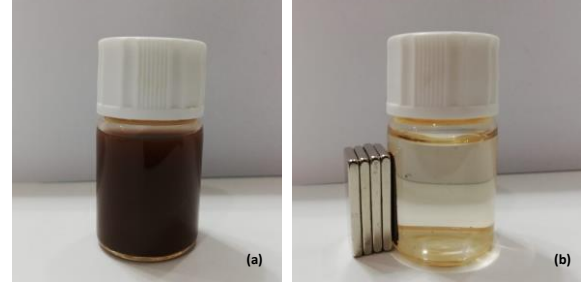
Fe₃O₄@APTS

Dipeptit

Fe₃O₄@APTS@dipeptit

Şema 4. Fe₃O₄@APTS@dipeptit sentez şeması

refleks edildi [18]. Miknatis yardımıyla manyetik kısım ayrıldı ve reaksiyona girmemiş reaktifleri uzaklaştırmak için sırasıyla, asetonitril ve etanol ile üçer defa yıkandı. Elde edilen katı önce oda sıcaklığında daha sonra 40 °C'de vakum altında kurutuldu.

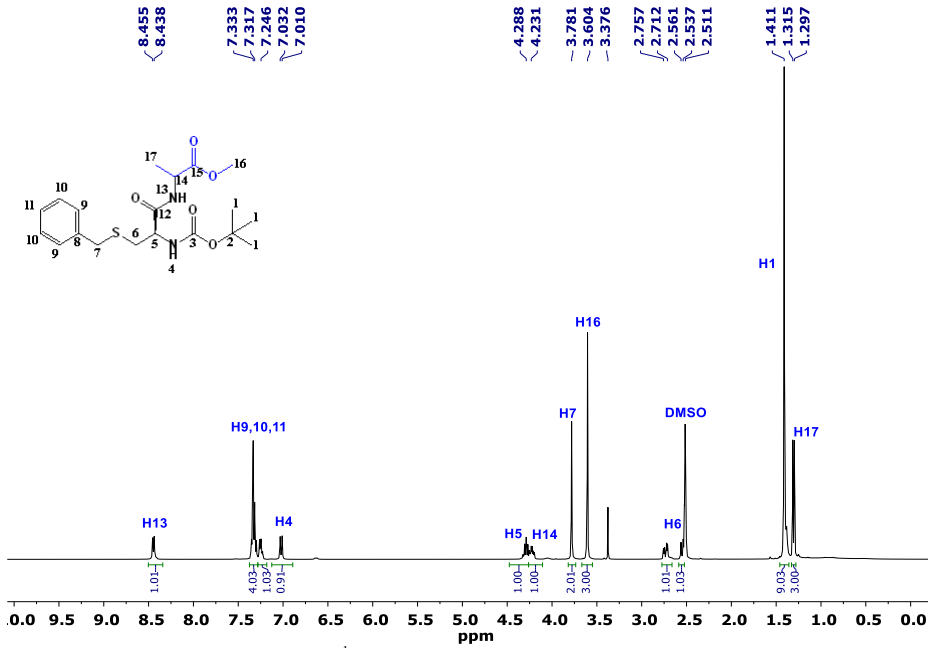
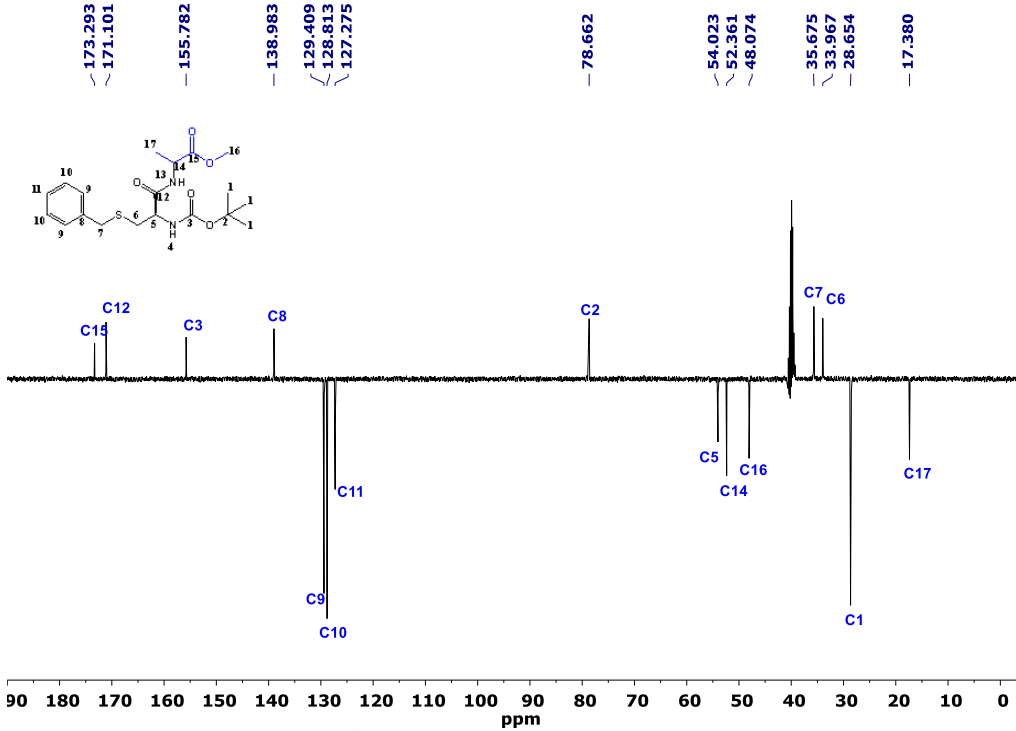


Şema 5. Fe₃O₄@APTS@dipeptit partikülünün manyetik ortamda ayrılması a) reaksiyon ortamı b) ayrılma sonrası

3. BULGULAR

3.1. Boc-Cys-Ala-OMe Dipeptit'in Karakterizasyonu

Boc-Cys-Ala-OMe dipeptiti'nin ¹H-NMR spektrumu Şekil 1' de verilmiştir. Bileşiğin yapısında toplam 13 farklı kimyasal çevreye sahip proton vardır ve spektrumundaki piklerin kimyasal kayma değerleri ve yarılmalari yapıyla uyum içindedir. Ayrıca piklerin integral yükseklikleri bileşikteki proton sayıları ile eşleşmektedir. Sistein amino asidindeki karboksil grubuna ait -OH pikinin kaybolması ve 8.43 ppm'deki -NH pikinin gözlenmesi, amit bağının oluşumunu desteklemektedir. Boc-Cys-Ala-OMe için ¹³C-NMR (APT) spektrumu Şekil 2'de verilmiştir. Bileşiğin yapısında bulunan ve 15 farklı kimyasal çevreye sahip karbon atomları spektrumda görülmektedir. APT tekniği ile çekilen spektrumun negatif bölgesinde -CH₃ ve -CH karbonları, pozitif bölgesinde -CH₂ ve -C karbon atomları görülmektedir.

Şekil 1. Boc-Cys-Ala-OMe dipeptit'in ¹H-NMR spektrumuŞekil 2. Boc-Cys-Ala-OMe dipeptit'in ¹³C-NMR (APT) spektrumu

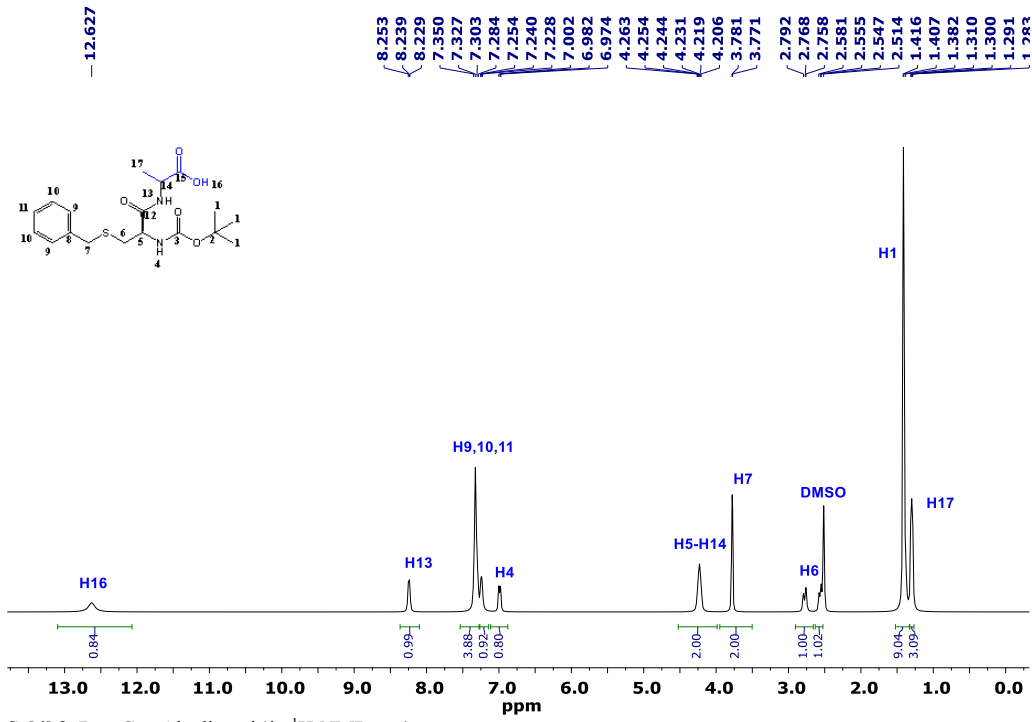
3.2. Boc-Cys-Ala dipeptit'in karakterizasyonu

Boc-Cys-Ala bileşiğinin ¹H-NMR spektrumu Şekil 3' te verilmiştir.

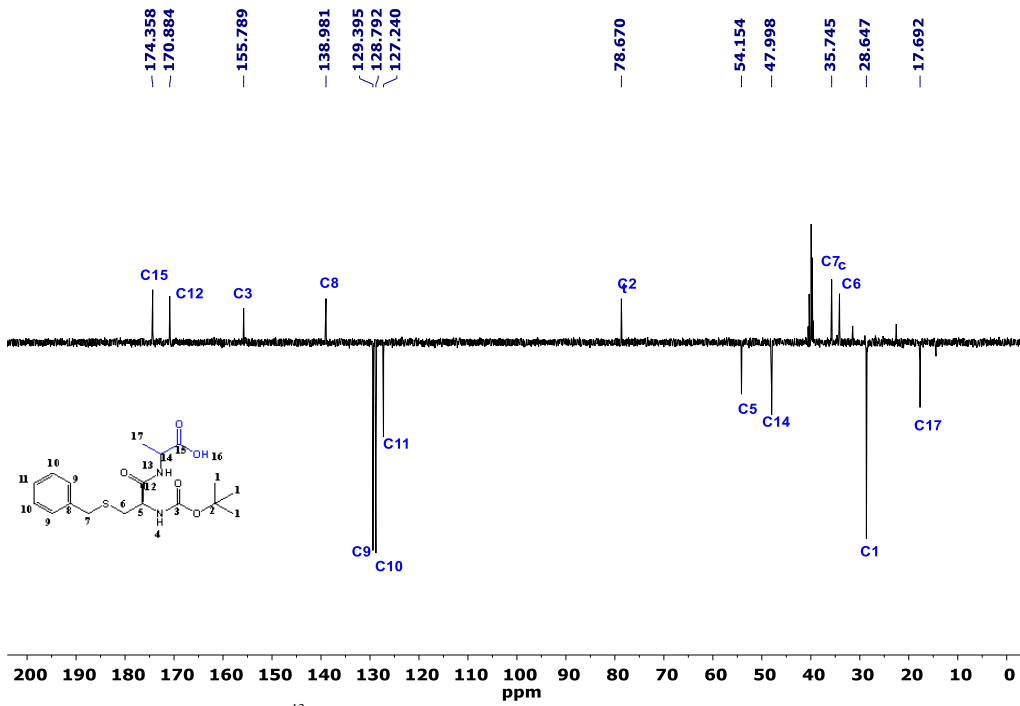
Boc-Cys-Ala-OMe bileşiğindeki metoksi grubunun kırılması sonucu 3.60 ppm'deki -OCH₃ protonları kaybolmuş ve 12.62 ppm'de karboksilik asit -OH piki yeni bir pik olarak net olarak görülmektedir. Ayrıca Şekil 4'te gösterilen ¹³C-NMR (APT) spektrumunda 52.36 ppm'deki metoksi karbonu da kaybolmuştur.

3.3. Fe₃O₄@APTS@Dipeptit'in Karakterizasyonu

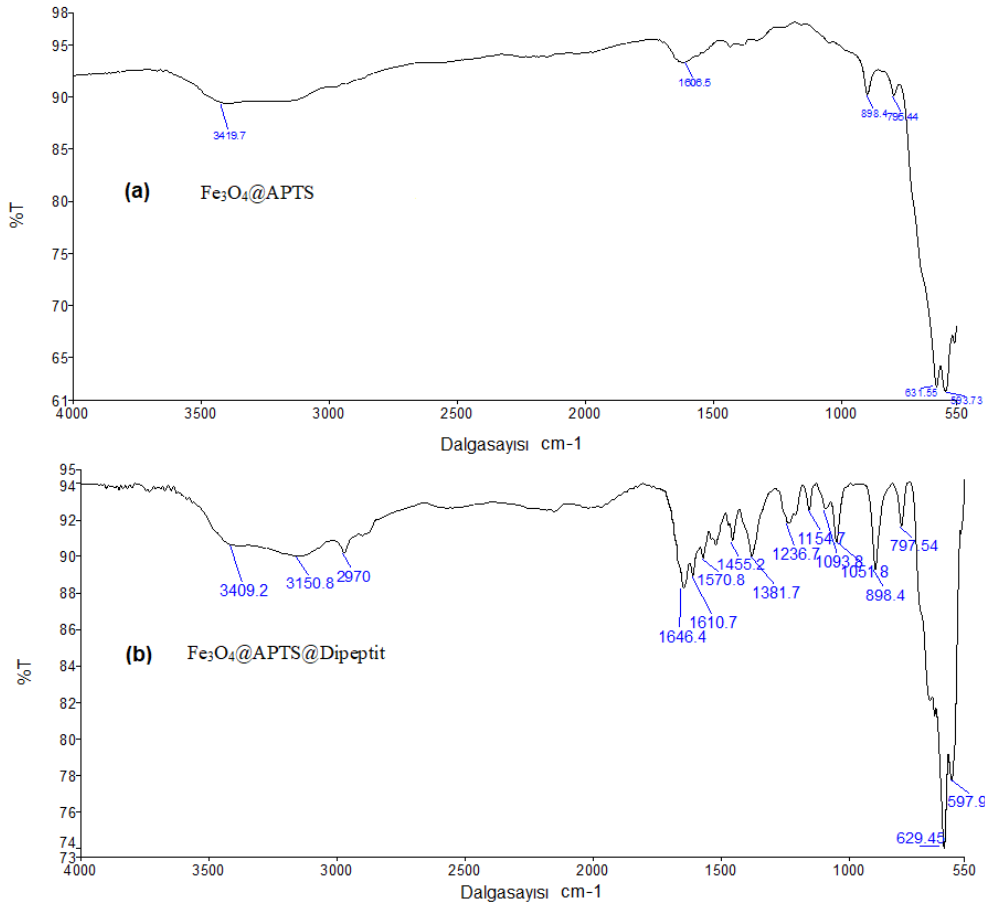
Fe₃O₄@APTS ve Fe₃O₄@APTS@Dipeptit nanopartiküllerine ait FT-IR spektrumları Şekil 5' te verilmiştir. Fe₃O₄@APTS@Dipeptit'e ait spektrumda 3409 cm⁻¹' de -NH gerilmesi, 2970 ve 2885 cm⁻¹' de alifatik -CH gerilmeleri, 1646 ve 1610 cm⁻¹' de amit karbonil pikleri, 1051 ve 1154 cm⁻¹'de APTS molekülündeki Si-O-Si asimetrik ve simetrik gelime titreşimleri dipeptit kaplı manyetik nanopartikülü karakterize eden en belirgin piklerdir. Ayrıca 597-629 cm⁻¹'de görülen şiddetli pikler ise manyetik Fe₃O₄ varlığını kanıtlayan Fe-O gerilme titreşimleridir.



Şekil 3. Boc-Cys-Ala dipeptit'in ¹H-NMR spektrumu



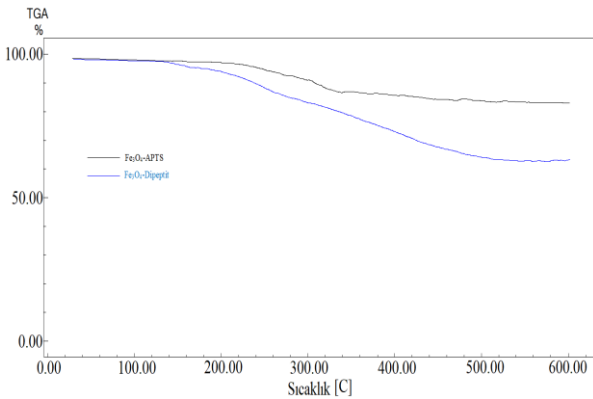
Şekil 4. Boc-Cys-Ala dipeptit'in ¹³C-NMR (APT) spektrumu



Şekil 5. $Fe_3O_4@APTS@Dipeptit$ ve $Fe_3O_4@APTS$ 'nin FT-IR Spektrumları

3.4. Termal Analiz

$Fe_3O_4@APTS@Dipeptit$ ve $Fe_3O_4@APTS$ nanopartiküllerinin termal bozunması TGA ölçümlerinden belirlendi. Bu amaçla 5 mg nanopartikül tozları azot gazı atmosferinde $10\text{ }^\circ\text{C}/\text{dk}$ ısıtma hızıyla sırasıyla oda sıcaklığından ve $600\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar ısıtılarak TGA eğrileri kaydedildi. Karşılaştırmalı TGA grafiği Şekil 6'da verilmiştir.



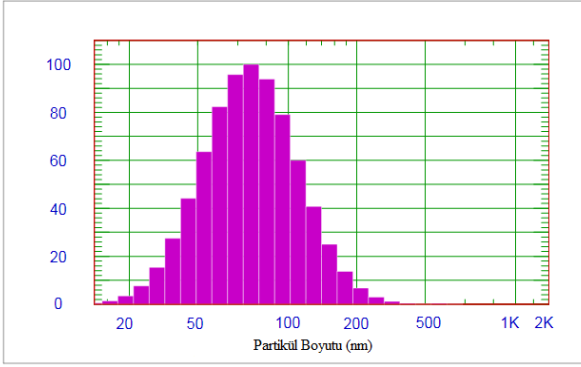
Şekil 6. $Fe_3O_4@APTS@Dipeptit$ ve $Fe_3O_4@APTS$ 'nin TGA eğrileri

$Fe_3O_4@APTS$ 'nin termogramına bakıldığında %15 lik bir kütle kaybı görülmektedir. Bu kütle kaybının nanopartikülün yüzeyinde bağlanmış organik grupların ayrışmasından kaynaklandığı düşünülmektedir [20]. Dipeptit kaplı manyetik nanopartikülün termogramı incelendiğinde ise aynı sıcaklık ve ısıtma hızındaki kütle

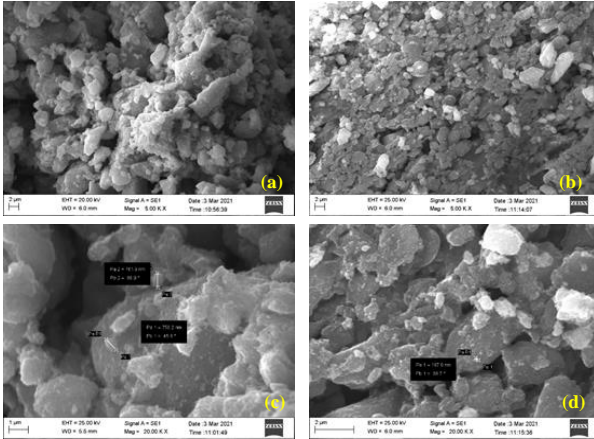
kaybının toplam %35 olduğu görülmektedir. Başlangıçtaki partikülün kütle kaybı değerini çıkardığımızda aradaki fark yapıya bağlanan dipeptit bileşiğinin ayrışmasından kaynaklanmaktadır. Aynı zamanda başlangıç bozunma sıcaklıkları da $Fe_3O_4@APTS$ ve $Fe_3O_4@APTS@Dipeptit$ nanopartikülleri için sırasıyla, $240\text{ }^\circ\text{C}$ ve $182\text{ }^\circ\text{C}$ olarak belirlenmiştir. Termal bozunma sıcaklığındaki bu fark nanopartiküle bağlanmış dipeptit'ten kaynaklanmaktadır.

3.5. $Fe_3O_4@APTS@Dipeptit$ 'in Tanecik Boyutu ve Yüzey Morfolojisi

Sentezlenen $Fe_3O_4@APTS@Dipeptit$ 'in partikül boyutunu ölçmek amacıyla ZPW388-V2.13 sistemi kullanıldı. Partiküller ölçümden hemen önce etil alkol içerisinde homojenizatör yardımıyla dispers edildi. Ardından tek kullanımlık uv küvetinde analizi yapıldı. Partikül dağılımına ait Gauss Eğrisi Şekil 7'de gösterilmiştir. Sentezlenen nanopartikülün tanecik boyutlarının $10\text{-}250\text{ nm}$ arasında olduğu ve %80'in üzerinde 100 nm 'den küçük olduğu belirlenmiştir.

Şekil 7. Fe₃O₄@APTS@Dipeptit'in partikül boyut dağılımı

Şekil 8'de nanopartiküllere ait SEM görüntüleri görülmektedir. Parçacık boyutu yaklaşık 50-100 nm olup, parçacıkların homojen dağılım gösterdiği açıkça görülmektedir. Yapı oldukça küresel bir yapıyı tercih etmektedir. Ayrıca EDX analizinde Fe₃O₄@APTS'ye dipeptit bağlandıktan sonra C, O ve N atomlarının bağlı yüzdesinde beklenildiği gibi artış gözlenmiştir.

Şekil 8. Fe₃O₄@APTS (a-c) ve Fe₃O₄@APTS@Dipeptit (b-d) nanopartikülünün SEM görüntüleri

3.6. Dielektrik Özellikleri

Dielektrik özelliklerin belirlenmesi için öncelikle toz hakkında nanopartiküller 5 ton basınç altında 13 mm çaplı disk haline getirildi. Hazırlanan bu disklerin kalınlıkları dijital kumpas yardımıyla hassas bir şekilde ölçüldü. Bilgisayar kontrollü HIOKI marka IM3536 model empedans analizör ile kapasitans (C_p), kayıp Faktörü (DF) ve konduktans (G_p) değerleri 1kHz ile 200 kHz aralığında kaydedildi.

Elde edilen sonuçlar neticesinde dielektrik sabiti (ϵ'), dielektrik kayıp (ϵ'') ve iletkenlik ($\log \sigma_{ac}$) değerleri Şekil 9'da gösterildiği gibi frekansa karşı grafiğe çizildi.

Dielektrik parametreleri aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplandı [21,22].

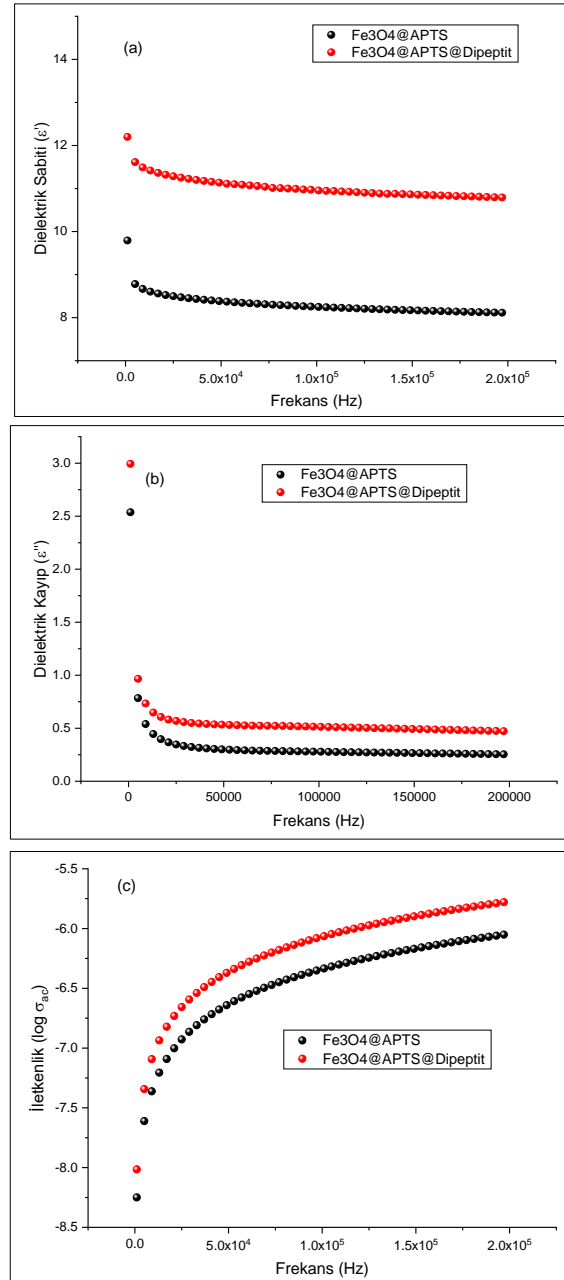
$$\epsilon' = C_p \frac{d}{A\epsilon_0} \quad (1)$$

$$\epsilon'' = \epsilon' DF \quad (2)$$

$$\sigma = G_p \frac{d}{A} \quad (3)$$

A: Numunenin alanı (m²); ϵ' : Dielektrik sabiti
C: Numunenin kapasitansı(F); ϵ'' : Dielektrik kayıp
d: Numunenin çapı (m)
 ϵ_0 : Boşluğun dielektrik sabiti (8.85×10^{-12} F/m)

Her iki partikül için frekansın artmasıyla birlikte dielektrik sabitin ve dielektrik kaybının frekans arttıkça azalması ve daha yüksek frekans değerlerinde sabit kalması olarak gözlemlenmiştir [23]. Bu durumun sebebi yüksek frekanslarda ara yüzey kutuplaşma mekanizması olmaz ve bu nedenle yüksek frekanslarda dielektrik sabiti düşük frekans bölgesindeki gibi ani düşüş göstermemektedir. Oda sıcaklığı ve 10 kHz deki dielektrik parametreleri Tablo 1 de özetlenmiştir



Şekil 9. Nanopartiküllerin a) dielektrik sabiti b) dielektrik kayıp c) ac iletkenlik değerlerinin frekansla değişim

Tablo 1. Partiküllerin 10 kHz 25 °C'deki dielektrik özellikleri

| Partikül | ϵ' | ϵ'' | σ_{ac} | $\log \sigma_{ac}$ |
|---|-------------|--------------|-----------------------|--------------------|
| Fe ₃ O ₄ @APTS | 8.649 | 0.509 | 4.81x10 ⁻⁸ | -7.31 |
| Fe ₃ O ₄ @APTS @Dipeptit | 11.469 | 0.706 | 8.96x10 ⁻⁸ | -7.04 |

4. SONUÇ

Bu çalışmada ilk olarak manyetik Fe₃O₄ nanopartikülü sentezledi ve 3-aminopropil trimetoksi silan ile modifiye edildi. Daha sonra sistein ve alanin aminoasitleri kullanılarak yeni dipeptit konjugatı sentezlendi. Fe₃O₄@APTS'ye sentezlenen dipeptit peptit bağı ile bağlandı. Organik bileşiklerin yapı karakterizasyonu ¹H ve ¹³C-NMR spektrumuyla yapıldı. Fe₃O₄@APTS@Dipeptit termal analiz yöntemlerinden TGA ve FT-IR spektroskopisi ile karakterize edildi. Ayrıca elde edilen nanopartikülün boyut analizi ve SEM görüntüleri alındı. Dipeptit kaplı manyetik nanopartikülün TGA analizinde 600 °C'ye kadar toplam %35 kütle kaybı gözlenirken bu değer Fe₃O₄@APTS için %15 olarak belirlenmiştir. İki partikül arasındaki %20'lik kütle kaybı farkı yapıya bağlanan dipeptit bileşiğinin ayrışmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca Fe₃O₄@APTS ve Fe₃O₄@APTS@Dipeptit nanopartikülleri için başlangıç bozunma sıcaklıkları sırasıyla, 240 °C ve 182 °C olarak belirlenmiştir. Dipeptitin bağlanmasıyla nanopartikül termal bozunma sıcaklığında 58 °C'lik bir azalma gözlemlenmiştir. Nanopartiküllerin dielektrik özellikleri oda sıcaklığında 1-200 kHz frekans aralığında incelenmiştir. Dielektrik sabiti ve dielektrik kayıp faktörü her iki partikül içinde frekans arttıkça azalmaktadır. Fe₃O₄@APTS için oda sıcaklığında 8,64 olarak hesaplanan dielektrik sabiti, dipeptit bağlandıktan sonra 11.46'ya yükselmiştir. Bu durumun uygulanan elektrik alanda dipeptitin yapısında bulunan polar grupların indüklenmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Fotticchia T, Vecchione R, Scognamiglio PL, Guarnieri D, Calcagno V, Natale CD, Attanasio C, Gregorio MD, Cicco CD, Quagliariello V, Maurea N, Barbieri A, Arra C, Raiola L, Iaffaioli RV, Netti PA. Enhanced Drug Delivery into Cell Cytosol via Glycoprotein H-Derived Peptide Conjugated Nanoemulsions. *ACS Nano*. 2017;11: 9802–9813.

[2] Zhang M, Hong S, Cai Q, Zhang M, Chen J, Zhang X, Icon O, Xu JC. Transcriptional control of the MUC16 promoter facilitates follicle-stimulating hormone peptide-conjugated shRNA nanoparticle-mediated inhibition of ovarian carcinoma in vivo. *Drug Delivery*. 2018; 25:797–806.

[3] Peterson E, Joseph C, Peterson H, Bouwman R, Tang S, Cannon J, Sinniah K, Choi SK. Measuring the Adhesion Forces for the Multivalent Binding of Vancomycin-conjugated Dendrimer to Bacterial Cell-Wall Peptide. *Langmuir*. 2018; 34:7135–7146.

[4] Lee SG, Kim CH, Sung SW, Lee ES, Goh MS, Yoon HY, Kang MJ, Lee S, Choi YW. RIPL peptide-conjugated nanostructured lipid carriers for enhanced intracellular drug delivery to hepsin-

expressing cancer cells. *Int. J. Nanomed.* 2018; 13:3263– 3278.

[5] Frutos S, Hernandez JL, Otero A, Calvis C, Adan J, Mitjans F, Vila-Perello M. Site-Specific Antibody Drug Conjugates Using Streamlined Expressed Protein Ligation. *Bioconjugate Chem.* 2018;29: 3503–3508.

[6] Blaskovich MAT, Hansford KA, Cooper MA. et al. Protein-inspired antibiotics active against vancomycin-and daptomycin-resistant bacteria. *Nat. Commun.* 2018;9: 22.

[7] Gadek TR, Nicholas JB. Small molecule antagonists of proteins. *Biochem. Pharmacol.* 2003; 65:1-8.

[8] Maleki A, Taheri-Ledari R, Rahimi J, Soroushnejad M, Hajizadeh Z. Facile Peptide Bond Formation: Effective Interplay between Isothiazolone Rings and Silanol Groups at Silver/Iron Oxide Nanocomposite Surfaces. *ACS Omega*. 2019;4(6):10629-10639.

[9] Moghimi SM, Hunter AC, Murray JC. Long-circulating and target-specific nanoparticles: theory to practice. *Pharmacol. Rev.* 2001;53(2):283-318.

[10] Schulz DL, Curtis CJ, Ginley DS. Surface Chemistry of Copper Nanoparticles and Direct Spray Printing of Hybrid Particle/Metallorganic Inks. *Electrochem. Solid-State Lett.* 2001;4(8):C58-C61.

[11] Panyam J and Labhasetwar V. Biodegradable nanoparticles for drug and gene delivery to cells and tissue. 2003;55(3):329-47.

[12] Singh K, Ohlan A, Bakhshi AK, Dhawan SK. Synthesis of conducting ferromagnetic nanocomposite with improved microwave absorption properties. 2010; 119:201-207.

[13] Chi Y, Yuan Q, Li Y, Tu J, Zhao L, Li N, Li X. Synthesis of Fe₃O₄@SiO₂-Ag magnetic nanocomposite based on small-sized and highly dispersed silver nanoparticles for catalytic reduction of 4-nitrophenol. *J Colloid Interface Sci.* 2012;383(1):96-102.

[14] Lien YH and Wu TM. Preparation and characterization of thermosensitive polymers grafted onto silica-coated iron oxide nanoparticles. 2008;326(2):517-521.

[15] Yamaura M, Camilo RL, Sampaio LC, Toma HE et al. Preparation and characterization of (3-aminopropyl) triethoxysilane-coated magnetite nanoparticles. 2004; 279:210-217.

[16] Hosseini F, Sadjadi MS, Farhadyar N. Fe₃O₄ nanoparticles modified with APTES as the carrier for (+)-(S)-2-(6-methoxynaphthalen-2-yl) propanoic acid (Naproxen) and (RS) 2-(3-benzoylphenyl)-propionic acid (Ketoprofen) drug. *Orient. J. Chem.* 2014;30(4).

[17] Deng H, Li X, Peng Q, Wang X, Chen J, Li Y. Monodisperse magnetic single-crystal ferrite microspheres. 2005; 44(18):2782-5.

[18] Garrett CE, Jiang X, Prasad K, Repic O. New observations on peptide bond formation using CDMT. *Tetrahedron Lett.* 2002;43(23):4161-4165.

- [19] Theodorou V, Skobridis K, Tzakos AG, Ragoussis V. A simple method for the alkaline hydrolysis of esters. 2007;48(46):8230-8233.
- [20] Jiakun X, Caixia J, Jun S, Fang W, Quan Z, Guolong S, Mi S. Synthesis and Characterization of Magnetic Nanoparticles and Its Application in Lipase Immobilization. Bulletin- Korean Chemical Society. 2013; 34:2408.
- [21] Gurgenç T, Biryant F. Production, thermal and dielectrical properties of Ag-doped nano-strontium apatite and nano h-BN filled poly(4-(3-(2,3,4-trimethoxyphenyl) acryloyl) phenyl acrylate) composites. J Polym Res. 2020; 27:194.
- [22] Gurgenç T. Structural characterization and dielectrical properties of Ag-doped nano-strontium apatite particles produced by hydrothermal method. J. Mol. Struct. 2021; 1223:128990.
- [23] Manjunath A, Deepa T, Supreetha NK, Irfan M. Studies on AC Electrical Conductivity and Dielectric Properties of PVA/NH₄NO₃ Solid Polymer Electrolyte Films Advances in Materials Physics and Chemistry. 2015; 5:295-301.



Rapid Characterization of Cell and Bacteria Counts using Computer Vision

Fatih AKKOYUN¹, Adem ÖZÇELİK^{1*}

¹ Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Aydın, Türkiye
 Fatih AKKOYUN ORCID No: 00000-0002-1432-8926
 Adem ÖZÇELİK ORCID No: 0000-0002-3124-795X

*Sorumlu yazar: aozcelik@adu.edu.tr

(Alınış: 24.03.2021, Kabul: 11.05.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Keywords
 Mechanical engineering,
 OpenCV,
 Machine vision,
 Cell counting

Abstract: The cell counting process is an important procedure for various cell and cell-related research applications. Many life science-related studies examine the cells to compare results concerning cell numbers and variations. Most of the related studies are conducted using manual counting methods. However, manual counting is difficult, time-consuming, and fallible. This study proposes an automated cell counting software using computer vision (CV) technology and experimental investigation for automated cell and bacterium counting. The software processes images for calculating cell/bacterium count, concerning pre-defined user parameters. In the experiments, cell and bacteria calculations are tested for single and mixed variations. Experimental results are examined by comparing manual and automated cell counting results. The accuracy of the software is found for calculating the cell count of a single and mixed cell/bacteria solution to be 99% and 98%, respectively. Also, the software can process video and camera streams in real-time. The computerized method is a good alternative due to providing accurate results and minimizing user-related errors. open-sourced CV software can be used in biomedical and fundamental biological research studies for rapidly determining target cell numbers.

Bilgisayarlı Görüş Kullanarak Bakteri ve Hücre Sayılarının Hızlı Karakterizasyonu

Anahtar Kelimeler
 Makine mühendisliği,
 OpenCV,
 Makine görüşü,
 Hücre sayımı

Öz: Hücre sayım işlemi, çeşitli hücre ve hücreler ile ilişkili araştırma uygulamalarında kullanılan önemli bir prosedürdür. Fen bilimleri alanında çoğu çalışmada hücreler incelenirken, hücre sayısı ve ilgili hesaplamalar ile sonuçların karşılaştırılması yapılmaktadır. Bu alandaki çalışmalarda yaygın olarak manuel olarak sayım yöntemi kullanılmaktadır. Ancak manuel sayım zaman alıcı, zorlu ve hataya meyilli bir ölçüm yöntemidir. Bu çalışmada, bilgisayarlı görüş (CV) teknolojisi kullanan otomatik hücre sayım yazılımı sunulmaktadır. Hücre ile bakteri örneklerinin otomatik sayımı deneysel çalışma yapılarak test edilmiş ve deneysel sonuçlar, manuel ve otomatik hücre sayımı yöntemlerinden elde edilen sonuçların karşılaştırılmasıyla incelenmiştir. Geliştirilmiş olan yazılım önceden tanımlanmış kullanıcı değişkenleri doğrultusunda, görüntüleri hücre/bakteri sayısını hesaplamak için incelemektedir. Yazılımın, tek türde hücre/bakteri için %99 ve karışık hücre/bakterilerde %98 sayım doğruluğuna ulaştığı görülmüştür. Buna ek olarak, aynı yazılım ile, video ve gerçek zamanlı kamera görüntüleri de aynı amaçla işlenebilmektedir. Bu çalışmada önerilmiş olan açık kaynak kodlu CV yazılımı, birçok araştırmacı tarafından, birçok çalışmada, otomatik olarak hücre sayımının yapılmasında kullanılabilir.

1. INTRODUCTION

Quantification of cells and bacteria is an important step in biomedical research [1,2]. For example, concentrations of different bacteria samples are essential for pathogen diagnostics, environmental biofilm characterization, and bioreactor process optimization [3,4]. Especially in cell culture processes and cell

analyses, the determination of viable and non-viable cell numbers is required for better characterizing the experimental conditions, and optimization of the cell culturing protocols [5,6]. Considering the shape complexity and heterogeneity of mixed sample solutions including cells and bacteria, accurate, rapid, and practical quantification of targeted cells and bacteria under optical microscopy is a valuable capability for fundamental research.

There are three general approaches to cell and bacteria counting. The first one is to use standard manual hemocytometers to count cells under an optical microscope [7]. In this approach, a special microscope slide with known grid dimensions and depth information is used to sample a cell solution which is usually diluted a factor of times. By counting the number of cells inside a reference grid within the fixed volume of the grid, the total number of cells in the initial solution is calculated. This method is labor-intensive as it relies on the counting of the cells manually by a user which can be a time-consuming process for quantification of a large number of samples. The second approach for cell and bacteria enumeration is to use automated cell counters which are commercially available from various companies [8]. Even though these commercial instruments make the cell counting very practical, they are commonly available to well-funded central labs due to their relatively higher costs compared to hemocytometers. The third approach is to use flow cytometers to count cells and bacteria [9]. Flow cytometer equipment is well-known for very high accuracies and abilities to count cells with different characteristics in a continuous manner. However, because of their extremely high costs and maintenance requirements, flow cytometers are only available in distinguished research facilities. There are also few open-sourced approaches [9] to counting cells using computer vision including ImageJ which is initially developed by the National Institute of Health of the United States of America [10]. ImageJ is free-to-use software that can be applied to count cells from a still image. However, the tools and settings of the general plugins can be limited and not suitable for cases that may require more than one threshold for counting mixed samples in the same image. In the low-resource-setting laboratories, standard hemocytometers are the only choice for quantification of cells and bacteria. Therefore, there is a need for an open-sourced, easy-to-use, practical, automated, and accurate method for counting cells and bacteria.

Image processing and target object/feature detection are increasingly becoming more practical with the advancement of computational hardware and software [11,12]. In this work, an open-sourced automated cell and bacteria counting method based on computer vision (CV) is demonstrated. Single-layer of cell/bacteria

solutions on glass slides are imaged under an ordinary bright-field optical microscope, and the still images are processed using C++ programming language and open-sourced computer library (Open CV). This method is successfully applied in simple and complex situations where cells and bacteria are mixed. Furthermore, viable and non-viable yeast cells are counted after staining the non-viable cells with methylene blue. The method presented here is tested to be a capable and reliable approach for precisely counting target samples, and can be used for cell and bacteria quantification in biomedical research.

2. MATERIALS and METHODS

A cell and bacteria counter software, which automatically calculates total cells/bacteria number is demonstrated. The developed software is designed to process images for counting cells using detected pixel count and a reference object area in pixel concerning predefined user parameters. The cell counting software has inputs including an image, a reference cell area in pixel, Hue Saturation Value (HSV) threshold, and Black-White (BW) threshold parameters. The output of the software is the counted cell numbers. A block diagram of the software is shown in Figure 1.

The cell counting process starts with image input. Initially, a color image is acquired by the software. In the second stage, a threshold is applied to the image concerning pre-defined HSV parameters, and new parameter values are also accepted via the Graphical User Interface (GUI) before processing the image. In the next stage, the thresholded color image is converted to the BW image. Then, Gaussian and blur filter is applied before finding the contours of the image. A second threshold is applied to the image for eliminating the background and separating the cells in the processed image. Detected contours are considered as an array and indices which include the area in pixel and the total contour number. Each contour represents a detected cell in this stage. A pre-defined user parameter is applied to calculate the total count of the cells which is an averaged area value of the target cells or bacteria in pixels. The detected total contour area is divided into the averaged area to obtain cell counting results. The flowchart of this solution is shown in Figure 2.

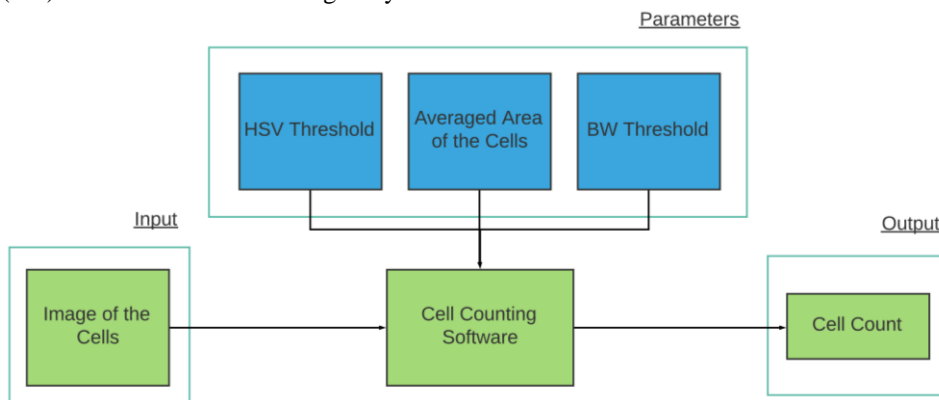


Figure 1. The block diagram of the cell counting process shows the input, pre-defined user parameters, and output

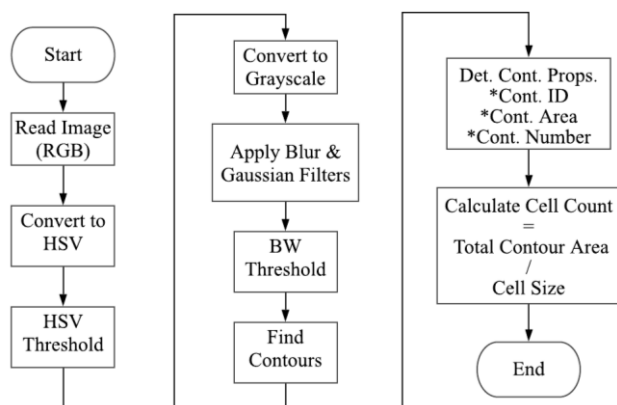


Figure 2. The flowchart of the cell counting process is given for illustration

Bacteria samples are prepared from *Enterococcus faecium* (*E. faecium*) which is a type of Gram-positive lactic acid bacteria. To prepare the bacteria suspension samples, the starter bacteria are kept in the nutrient broth overnight at 37 °C. Then, the bacteria cultures are washed and spun at 5000 RPM for 5 minutes in centrifuge followed by a phosphide buffer saline (PBS) wash. Finally, the washed bacteria sample is resuspended in PBS to be used in the experiments. In the cell experiments, yeast cells called *Saccharomyces cerevisiae* which are eukaryotic cells are prepared in a liquid suspension. For this, commercially available yeast cells are acquired and kept in warm water at around 30 °C for around 2 hours to activate the yeast cells. To prepare the dead yeast cells for viable-nonviable cell counting experiments, some of the yeast cell solutions are exposed to >70 °C for 5 minutes. Then, dead yeast

cells are stained by using a 0.01% methylene blue solution and incubated for about 5 minutes. After this, the stained cells are washed and re-suspended in deionized water. A mixture of live and dead cells is imaged for counting the viable and nonviable cells. Delivery of the cell solutions is achieved via a home-built syringe pump [13]. An inverted optical microscope (OX.2053-PLPH, Euromex, Netherlands) is used to acquire the still images of bacteria, the cell-bacteria mixture, and the viable and non-viable yeast cell solution. For the image collection, a 40x objective lens of the microscope is applied, and an HD-colored camera (HD- Ultra, Euromex, Netherlands) is used.

3. RESULTS and DISCUSSION

All the images are captured using the microscope camera with maximum of 6 MP resolution. Each image that is captured from the field of view of the microscope is recorded under the identical illuminated environment with a 40X objective lens. Bacterium, yeast cell, live, and dead cells in various combinations are counted using the software, and the results of the experiments are analyzed. As a test of the automated counting algorithm used in the software, spherical polystyrene particles with a diameter of 5 µm are used in suspensions from low (Figure 3a and b) to high concentrations (Figure 3c and d). For the lowest concentration, the actual and automatically counted numbers are found to be the same. For the highest concentration, a difference of 0.35% is the result of the actual value and average of counted values.

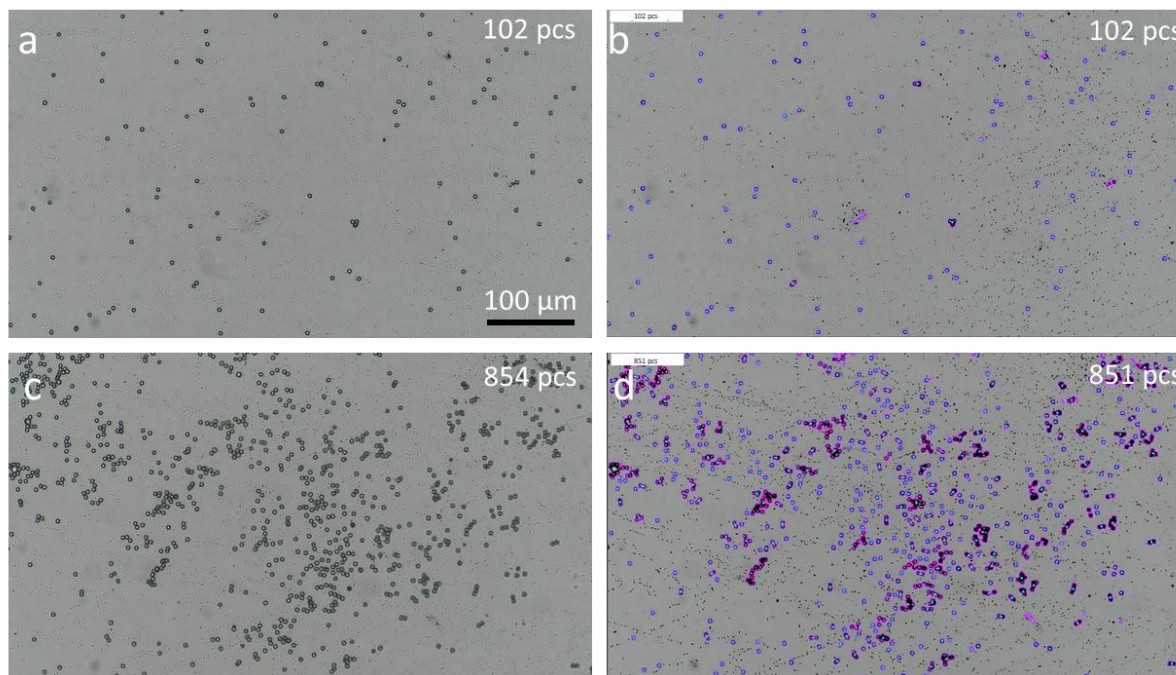


Figure 3. Manual and automated particle counting for testing the software. a. low concentration of the polymer particles, b. automated counting of the lowest concentration sample, c. the highest concentration sample, and d. automated counting of the highest concentration sample

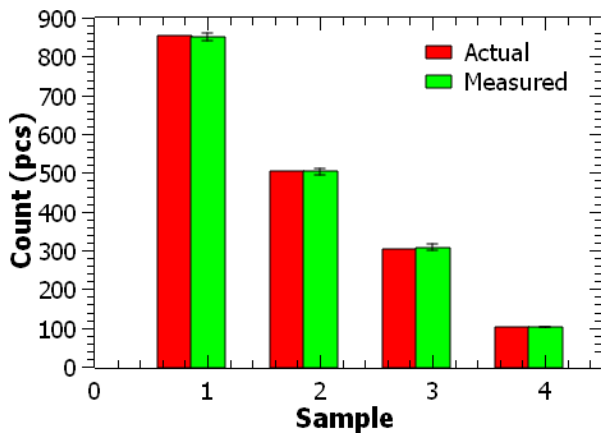


Figure 4. Actual and measured polymer particle numbers for 4 different concentrations are given. Error bars are generated from the standard deviation of 10 measurements

These images that are collected from increasingly more concentrated samples are measured both manually via manual cell counter plugin of ImageJ and automatically using the automated cell counting CV software. The manual cell counting plugin of the ImageJ allows individual marking and recording of different types of objects. This is a labor-intensive process that requires constant user input. The manual counting process is repeated at least three times for each image, and the average of these measurements is used as the actual numbers of the particles/cells/bacteria shown in an image. The error between these manual counts is found to be smaller than 1%. Initial testing experiments are conducted with the calibration suspensions of 5 μm polystyrene particles with four different samples with increasingly higher concentrations. These solutions are sampled after thoroughly aspirating the suspensions in Eppendorf tubes to avoid particle sedimentation. The numbers of actual and automated counts for the different concentrations are shown in Figure 4.

In Figure 5, a mixture of *E. faecium* bacteria and the yeast cells are imaged for automatically counting both bacteria and cells from the same sample. In the image processing for analysis of certain objects, the general process is to adjust and set a threshold value. However, this only shows the results of above or below the threshold value. For counting different objects in the image, additional operations are necessary, such as processing the same image with another filtering, cropping, and thresholding steps. In this study, for counting bacteria and cells in an image, multiple filters and multiple threshold operations are processed automatically. For this, different thresholds are applied for different-sized populations to obtain the numbers of smaller bacteria and larger cells as accurately as possible. For the yeast cell and bacterium concentration, the actual and automatically counted numbers are found to be very close due to the circular shape and high reflectance of the yeast cells under illumination. The software perfectly detected all yeast and the accuracy for the bacteria counting process was above 0.98.

In Figure 6, actual and measured bacterium and cell counts are given for comparison. The averaged measured bacteria number shows a deviation of 1.7 % from the actual bacteria count. Measured and actual cell counts show no deviation. The deviation observed in the bacteria counting is most likely due to the chain-forming nature of the bacteria which poses an additional challenge in precisely counting bacteria. For the viable and non-viable cell concentration, the actual and automatically counted numbers are found to be close. The accuracy of automated cell counting software was found to be 96% and 95% for viable and non-viable cells, respectively.

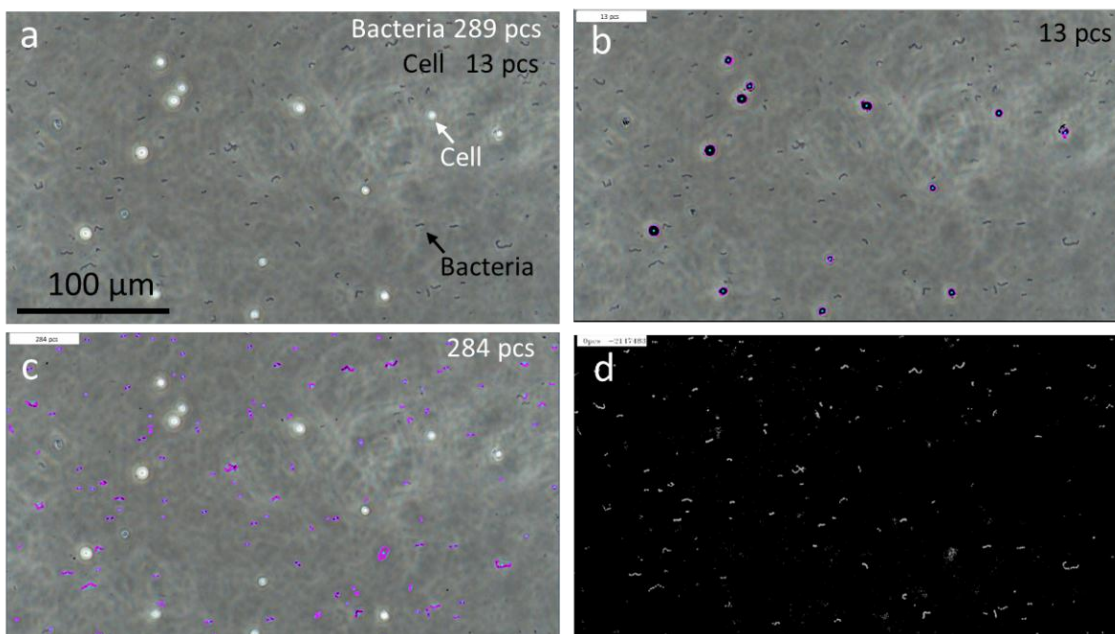


Figure 5. Mixed cell/bacterium counting. a. yeast cell and bacteria concentration, b. detected and counted yeast cells in the concentration, c. detected and counted bacteria in the concentration, and d. thresholded image with detected only bacteria

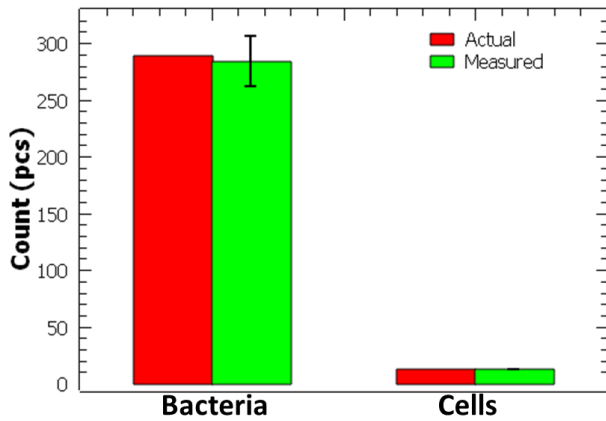


Figure 6. Actual and measured bacteria and yeast cell numbers are given. Error bars are generated from the standard deviation of 10 measurements

In Figure 7, a mixed population of dead and live cells is automatically counted. The stained dead (non-viable) cells appear as blue colored. In the counting viable and non-viable cell counting process, the acquired image is thresholded using HSV values and filtered with blurring. Then, the image is converted and filtered using the BW thresholding operation. After this, these two operations are recycled for counting viable and non-viable cells. As shown in Figure 8, the average number of measured non-viable cells deviates from the actual number is 4 %, and the automatically counted viable cell number deviates from the actual count by 4.9 %. These deviations are

both less than 5 % and account for reasonable accuracy of the automated cell counting. A possible explanation for higher than previous deviations that are observed in the bacteria and cell counting is the variation of the staining contract among non-viable cells and also their size irregularities appearing after the induced cell death process.

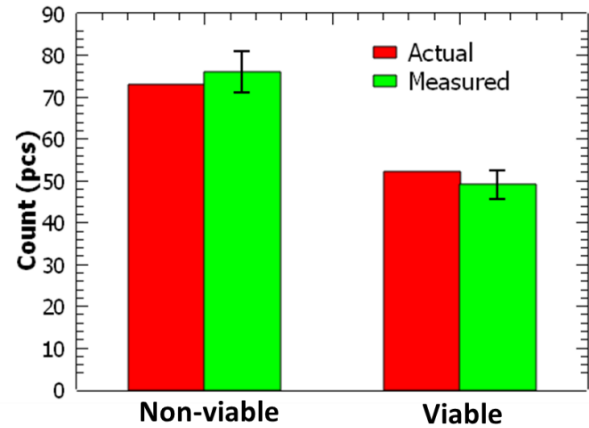


Figure 8. Actual and measured non-viable and viable yeast cell numbers are given. Error bars are generated from the standard deviation of 10 measurements

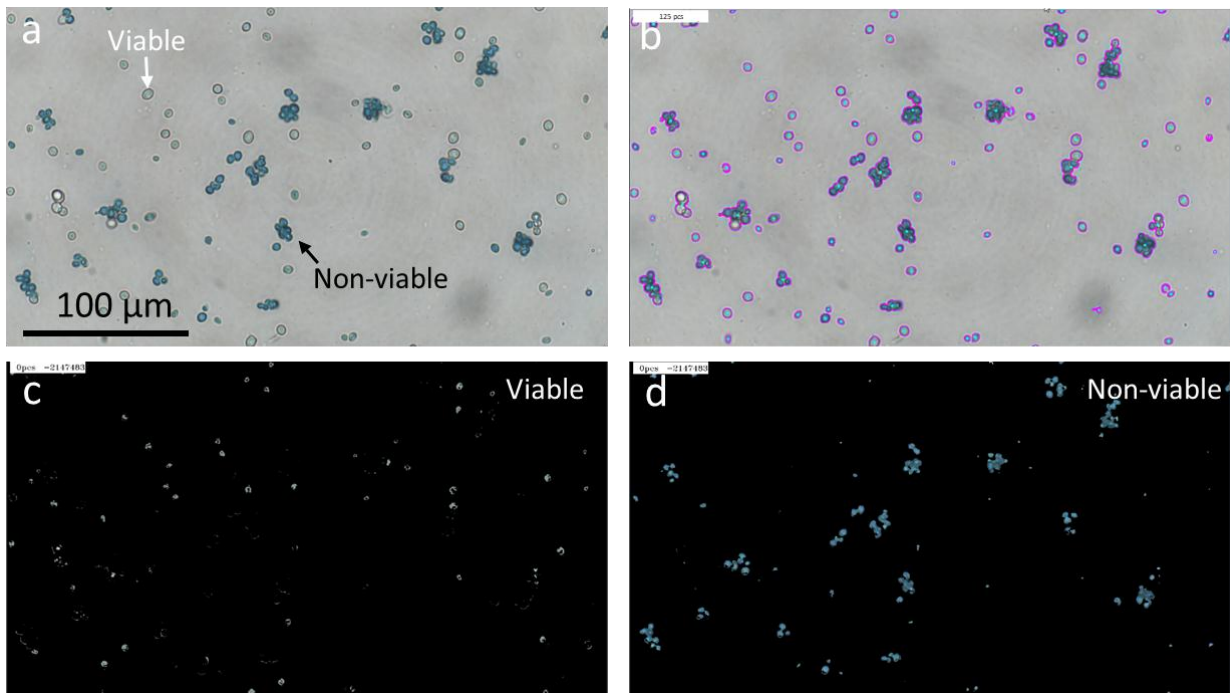


Figure 7. Mixed viable/non-viable cell counting. a. viable and non-viable yeast cell concentration, b. detected and counted viable cells in the concentration, c. thresholded image with only viable cells, and d. thresholded image with only non-viable cells.

4. CONCLUSION

Herein, an automated cell and bacteria counting method is demonstrated using OpenCV computer software. This software takes image inputs and calculates cell counts by applying thresholding and contouring processes on target cells. The software processes input images to detect the target object concerning the predetermined user parameters. The cell properties in pixels are calculated as output by evaluating the contour properties of the cells in the images. This method is successfully applied in counting microparticles, bacteria, and cells for simple low concentration samples and more complicated mixed and high concentration samples. Besides, viable and non-viable yeast cells are counted with less than 5% deviations from the actual numbers. The findings of this work indicate an accurate counting of mixed samples. This approach applied in this work can also be extended to counting different cell types in a flow-through setting using a high frame rate camera and image grabber hardware. Rapidly counting viable and non-viable cells is a valuable capability in fundamental research. The method demonstrated here presents a simple and open-sourced alternative to manual cell and bacteria counting for biomedical researchers.

ACKNOWLEDGMENT

The authors thank Mustafa Duran for fruitful discussions of the experimental design. This research was supported by Aydın Adnan Menderes University Research Fund. Project Number: MF-20002.

REFERENCES

- [1] Ongena K, Das C, Smith JL, Gil S, Johnston G. Determining cell number during cell culture using the Scepter cell counter. *J. Vis. Exp.* 2010;45:2204.
- [2] O'Brien J, Hayder H, Peng C. Automated Quantification and Analysis of Cell Counting Procedures Using ImageJ Plugins. *J. Vis. Exp.* 2016;117:54719.
- [3] Brown MR, Hands CL, Coello-Garcia T, Sani BS, Ott AIG, Smith SJ, et al. A flow cytometry method for bacterial quantification and biomass estimates in activated sludge. *J. Microbiol. Methods.* 2019;160:73–83.
- [4] Ricchi M, Bertasio C, Boniotti MB, Vicari N, Russo S, Tilola M, et al. Comparison among the Quantification of Bacterial Pathogens by qPCR, dPCR, and Cultural Methods. *Front. Microbiol.* 2017;8.
- [5] Cadena-Herrera D, Esparza-De Lara JE, Ramírez-Ibañez ND, López-Morales CA, Pérez NO, Flores-Ortiz LF, et al. Validation of three viable-cell counting methods: Manual, semi-automated, and automated. *Biotechnol. Reports.* 2015;7:9-16.
- [6] Piccinini F, Tesi A, Arienti C, Bevilacqua A. Cell Counting and Viability Assessment of 2D and 3D Cell Cultures: Expected Reliability of the Trypan Blue Assay. *Biol. Proced. Online.* 2017;19.
- [7] Freund M, Carol B. Factors Affecting Haemocytometer Counts Of Sperm Concentration In Human Semen. *Reproduction.* 1964;8:149–155.
- [8] Green R, Wachsmann-Hogiu S. Development, History, and Future of Automated Cell Counters. *Clin. Lab. Med.* 2015;35:1–10.
- [9] McKinnon KM. Flow Cytometry: An Overview. *Curr. Protoc. Immunol.* 2018;120.
- [10] Schneider CA, Rasband WS, Eliceiri KW. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nat. Methods.* 2012;9(7):671–5.
- [11] Onat C, Daskin M, Toraman S, Golgiyaz S, Talu MF. Prediction of combustion states from flame image in a domestic coal burner. *Meas. Sci. Technol.* 2021.
- [12] Golgiyaz S, Talu MF, Onat C. Görüntü İşleme ve Makine Öğrenmesi Yöntemleri ile Baca Gazı Sıcaklığının Tahmin Edilmesi. *Eur. J. Sci. Technol.* 2019;16:283–291.
- [13] Akkoyun F, Ozcelik A. A Simple Approach for Controlling an Open-Source Syringe Pump. *Eur. Mech. Sci.* 2020;4(4):166–170.



Termal Buharlaştırma Yöntemiyle Hazırlanan Al/TiO₂/p-Si Schottky Diyotun Elektriksel Özelliklerinin Sıcaklık ve Aydınlanma Şiddetine Bağlı İncelenmesi

Ömer SEVGİLİ^{1*}

¹ Bingöl Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Bingöl, Türkiye
 Ömer SEVGİLİ ORCID No: 0000-0003-1740-1444

*Sorumlu yazar: omersevgili06@gmail.com

(Alınış: 07.05.2021, Kabul: 24.05.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Anahtar Kelimeler

Termal buharlaştırma, TiO₂, Fotoakım, Sıcaklığa bağlılık, Aydınlanma şiddetine bağlılık, Elektriksel özellikler

Öz: Bu çalışmada kullanılan Al/TiO₂/p-Si Schottky Diyotu (SD) termal buharlaştırma yöntemi kullanılarak oluşturuldu. Aygıtın elektriksel özellikleri geniş sıcaklık aralığında ve farklı aydınlanma şiddetlerine bağlı olarak gerçekleştirildi. Sıcaklığa bağlı ölçümler 20 K adım aralıklarla 100 K ve 320 K aralığında gerçekleştirildi. Artan sıcaklıkla birlikte, aygıtın idealite faktörü değeri 4,878'den 2,305'e kadar azalmaktayken, engel yüksekliği ise 0,287 eV'den 0,714 eV'e kadar artmaktadır. Aygıt için elde edilen diyot parametreleri literatürdeki çeşitli yöntemlerle elde edilen benzer yapılarla karşılaştırıldı. Yerli oksit tabaka, kirlilikler, tüketim bölgesi kalınlığı gibi nedenlerden dolayı arayüzey durumlarının değerinin 10¹⁴ eV⁻¹cm⁻² mertebesinde olduğu sonucuna varıldı. Işık şiddetine bağlı olarak gerçekleştirilen ölçümlerde idealite faktörü değeri artan ışık şiddetiyle 2,238'den 2,868'e kadar artmaktayken, engel yüksekliği değeri 0,645 eV'den 0,574 eV'ye kadar azalmaktadır. Ayrıca yapının fotoakım-zaman grafiği çizilerek ışığa tepkisi incelendi ve aygıtın ışığa tepki süresinin 0,26 s'den az olduğu bulundu.

275

Investigation of Dependent on Temperature and Illumination Density Electrical Properties of Al/TiO₂/P-Si Schottky Diode Prepared by Thermal Evaporation

Keywords

Thermal evaporation, TiO₂, Photocurrent, Temperature dependence, Illumination intensity dependence, Electrical properties

Abstract: The Al/TiO₂/p-Si Schottky Diode (SD) used in this study was fabricated using the thermal evaporation method. The electrical properties of the device were carried out in a wide temperature range and different illuminance intensities. Temperature dependent measurements were carried out at between 320 K and 100 K step by 20 K. With the increasing temperature, the ideality factor value of the device decreases from 4.878 to 2.305 and the barrier height increases from 0.287 eV to 0.714 eV. The diode parameters obtained in this study were compared with similar structures obtained by various methods in the literature. It was concluded that the value of the interface states was the order of 10¹⁴ eV⁻¹cm⁻² due to reasons such as the local oxide layer, impurities, thickness of depletion layer. In measurements performed depending on the illuminance intensity, the value of the ideality factor increases from 2,238 to 2,868 with increasing illuminance intensity, while the barrier height value decreases from 0,645 eV to 0,574 eV. In addition, the photocurrent-time graph of the structure was drawn and its response to light was examined. The response time of the device to light was found to be less than 0.26 s.

1. GİRİŞ

Son yıllarda yapılan çalışmalar Metal-Yarıiletken (MY) kontak olarak bilinen Schottky diyotların (SD) aygıt teknolojisinde önemli bir yere sahip olmasından dolayı bu tip yapıların güvenilirliği ve performansı üzerine odaklanmış durumdadır [1–3]. Bundan dolayı MY tipi SD diyotlar metal ile yarıiletken arasında geleneksel olarak kullanılan SiO₂ gibi malzemeler yerine TiO₂,

HfO₂, ZnO ve Al₂O₃ gibi yüksek dielektriğe sahip alternatif arayüzey tabakaları kullanılarak Metal-Yalıtkan-Yarıiletken (MY) ya da Metal-Polimer-Yarıiletken (MPY) yapılar dönüşürmektedir [4–13]. SiO₂ ile karşılaştırıldığında bu arayüzey tabakalarının en önemli avantajı düşük arayüzey durumlarına sahip olmaları ve yüksek dielektrik geçirgenliğe sahip olmalarıdır. Bu tür yüksek dielektrik materyal kullanılması aygıtın yüksek idealite faktörü (n), seri direnci (R_s) ve arayüzey durumlarının (N_{ss}) azalmasını

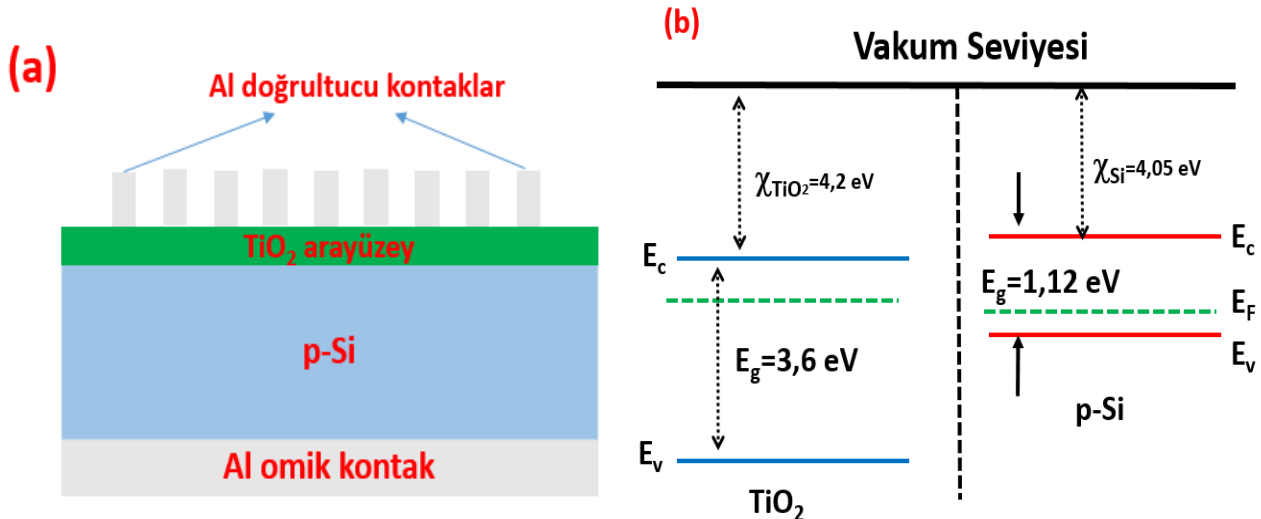
sağlar. Böylece aygıtın performansı ve güvenilirliği önemli ölçüde geliştirilebilir.

Yukarıda bahsedilen nedenlerden dolayı, yüksek dielektrik materyaller arasında, optik özellikleri ve ilginç kimyasal yapıya sahip olmasından dolayı Titanyum dioksit (TiO_2) diğer materyallere oranla araştırmacılar tarafından daha çok ilgi görüyor. Ayrıca TiO_2 kimyasal, optik ve elektrik özelliklerinden dolayı literatürde kapsamlı olarak incelenmektedir. TiO_2 iyi bilinen ve yarı iletken teknolojisinde en çok araştırılan materyallerden birisidir. Geniş bant aralığına (3.05 eV) sahip olan TiO_2 , düşük sızıntı akım yoğunluğu, yüksek termal stabilite ve yüksek dielektrik sabitinden dolayı SD, güneş pili ve sensör uygulamalarında potansiyel bir adaydır [10,11,14–16]. TiO_2 esas olarak katalizör destekleri, filtreler, kaplamalar, foto-iletkenler ve dielektrik malzemeler olarak uygulanır. TiO_2 tabanlı aygıtların performansı ve güvenilirliği özellikle metal-yarıiletken arayüzündeki TiO_2 tabakasının oluşumuna, tavlama sıcaklığına, arayüzünde arayüz durumlarının yoğunluğuna (N_{ss}), cihazların seri direncine (R_s) ve homojen olmama durumlarına bağlıdır. Lee ve ark. [17], arayüzey tabakasının büyümesi sonucu kaçak akımda azalma meydana geldiğini öne sürmüşlerdir.

Bu çalışmada, termal buharlaştırma yöntemiyle hazırlanan $\text{Al}/\text{TiO}_2/\text{p-Si}$ Schottky Diyotun elektriksel özellikleri incelendi. Aygıtın elektriksel özellikleri üzerine sıcaklık ve aydınlanma şiddeti etkisinin daha iyi anlaşılması adına bu fiziksel koşullardaki ölçümler geniş bir aralıkta gerçekleştirildi. Ayrıca elde edilen veriler, literatürde fabrikasyonu ve karakterizasyonu gerçekleştirilmiş TiO_2 arayüzeyine sahip çeşitli aygıtların elektriksel özellikleri ile karşılaştırıldı. Arayüzey durumları aygıtın elektriksel özelliklerini etkilediğinden bu durumların etkisini ayrıntılı incelemek için farklı sıcaklıklardaki $N_{ss}-(E_{ss}-E_c)$ grafiği çizilerek arayüzey durumlarının davranışını incelendi. Fotoaygıtlar için önemli bir parametre olan fotoyanıt, fabrikasyonu yapılan aygıtın fotoakım-zaman grafiği çizilerek incelendi.

2. MATERYAL VE METOT

$\text{Al}/\text{TiO}_2/\text{p-Si}$ SD'nin hazırlanması için öncelikle 1-10 $\Omega\cdot\text{cm}$ özdirençli, (101) yönelimli ve 500 μm kalınlıklı Boron katkılı p-Si ultrasonik banyoda sırasıyla beşer dakika boyunca aseton, isopropanol ve deiyonize su ile yıkandı. Yıkanan kristal kuru nitrojen gazı ile iyice kurutuldu. Kimyasal olarak temizlenen kristal hemen termal buharlaştırma sistemine alındı ve burada arka mat yüzeyin tamamına yaklaşık 10^{-6} Torr'da yüksek saflıkta (%99.999) Al buharlaştırıldı. Daha güvenilir ve daha düşük bir omik kontak elde etmek için Al kaplı kristal 450°C 'de 5 dk boyunca tavlandı. Böylelikle omik kontak oluşturulmuş oldu. Arayüzey tabakasını oluşturmak için ise omik kontağı oluşturulan kristalin ön yüzüne termal buharlaştırma sisteminde 10^{-6} Torr'da üzerinden akım geçen molibden flama yardımıyla toz haldeki TiO_2 (Sigma-Aldrich, ~25 nm ortalama parçacık boyutu, %99,5 saflık) buharlaştırıldı. Elde edilen bu arayüzey tabakasının kalınlığı (δ_i) 1 MHz'deki yalıtkan tabaka kapasitansından ($C_i = \epsilon_r\epsilon_0A/\delta_i$) yaklaşık 20.4 nm olarak hesaplanmıştır. Yük geçişinin yarıiletken taraftan metal tarafa geçişini kolaylaştırmak amacıyla doğrultucu ya da diğer adıyla Schottky kontağı yapmak için ise üzerinde 1 mm yarıçaplı gölge maske yardımıyla kristalin arayüzey kaplı tarafına termal buharlaştırma sisteminde 10^{-6} Torr'da yüksek saflıkta (%99.999) Al buharlaştırıldı. Böylece 1 mm çaplı ve yaklaşık 100 nm kalınlığında bir kontak elde edilmiş oldu. Böylelikle $\text{Al}/\text{TiO}_2/\text{p-Si}$ SD fabrikasyonu tamamlanmış oldu. Tamamlanan aygıtın şematik gösterimi ve enerji bant diyagramı Şekil 1 (a) ve (b)'de gösterilmiştir. Diyotun hem farklı sıcaklıktaki hem de farklı aydınlanma şiddetleri altındaki akım-grilim (I-V) ölçümleri Keithley 2400 source meter kullanılarak gerçekleştirildi. Sıcaklığa bağlı ölçümlerde aygıt iç ortamı karanlık olan bir kreyostat içerisine yerleştirilerek bilgisayar yardımıyla sıcaklık kontrolü sağlanarak her sıcaklıktaki I-V ölçümü tek tek gerçekleştirildi. Aydınlanma şiddetine bağlı ölçümler ise karanlık ve farklı aydınlatma koşullarında bir solar simülatör yardımıyla her aydınlatma şiddetindeki I-V ölçümleri tek tek gerçekleştirildi.

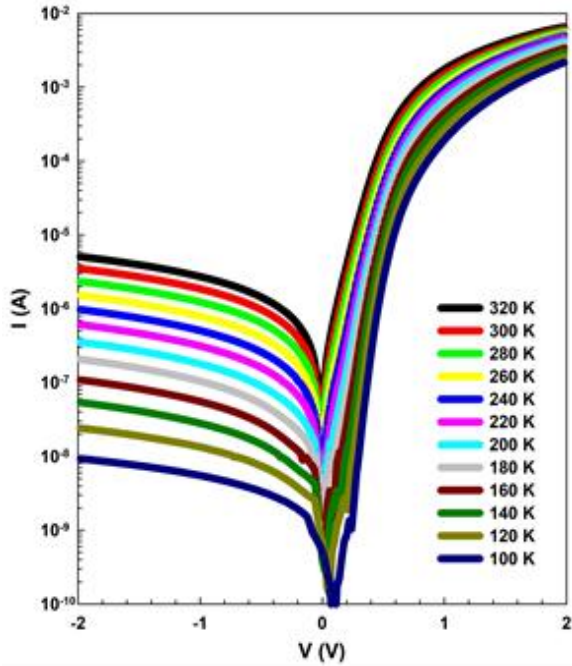


Şekil 1. $\text{Al}/\text{TiO}_2/\text{p-Si}$ SD'nin (a) şematik gösterimi (b) enerji bant diyagramı

3. BULGULAR

3.1. Sıcaklığa Bağlı Elektriksel Özellikler

Al/TiO₂/p-Si SD için sıcaklığa bağlı I-V ölçümleri 20 K adımlarla 100 K ile 320 K aralığında gerçekleştirildi. Aygıt için elde edilen I-V-T grafiği Şekil 2'de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi yaklaşık 0,5 V'den sonra arayüzey tabakası (TiO₂) ve p-Si kristalinin kalınlıklarının neden olduğu diyotunun seri direncinden (R_s) dolayı tüm sıcaklık değerleri için I-V-T grafiğinde lineerlik bozularak bir bükülme meydana geliyor [18,19]. Dahası, artan sıcaklıkla ve uygulanan gerilimle birlikte doğru beslemde akım değeri üsten olarak artıyor. Bu durum I-V grafiğinin bu şekilde davranışının sıcaklığa güçlü bir şekilde bağlı olduğunun göstergesidir. Doğrultma Oranı (DO) bir diyotun I-V grafiğinin doğrultma kalitesini belirler. Buna göre DO doğru beslem akımının (I_F) ters beslem akımına (I_R) oranı olarak tanımlanır. Aygıt için her bir sıcaklık değerinde ± 2V'de hesaplanan DO değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Hem Tablo 1 hem de Şekil 3'den görülüyor ki aygıt bütün sıcaklıklar için iyi bir DO değerine sahiptir ve sıcaklığın azalmasıyla birlikte DO değeri artmaktadır.



Şekil 2. Çeşitli sıcaklıklarda Al/TiO₂/p-Si SD için elde edilen I-V-T grafiği

Bir diyota uygulanan gerilim ile akım arasındaki ilişki genellikle Termiyonik Emisyon (TE) teorisi ile tanımlanır. TE'ye göre bu iki parametre arasındaki ilişki Eşitlik 1.'deki gibi verilir [16,20–22].

$$I = I_0 \exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) \quad (1)$$

Burada I₀ doyma akımı, n ise idealite faktörüdür ve bunlar aşağıdaki gibi tanımlanırlar [20,23–25];

$$I_0 = AA^*T^2 \exp\left(-\frac{q\Phi_{B0}}{kT}\right) \quad (2)$$

$$n = \frac{q}{kT} \frac{dV}{d(\ln(I))} \quad (3)$$

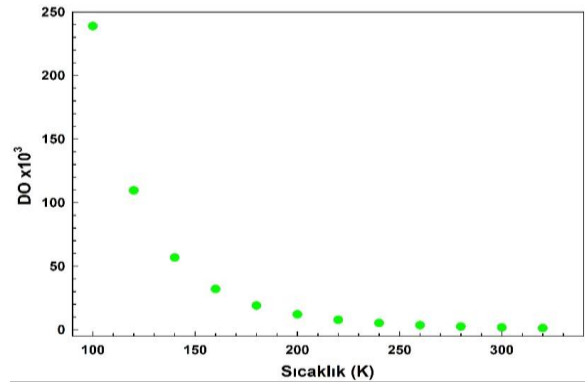
Burada A diyot alanı, A* Richardson sabiti (p-Si için 32 A cm⁻²K⁻²), k Boltzman sabiti (1,38x10⁻²³ J K⁻¹), T ise Kelvin cinsinden sıcaklıktır. Ayrıca Eşitlik 2.'de verilen Φ_{B0} sıfır beslemdeki engel yüksekliğidir ve aşağıdaki gibi tanımlanır [20,21,26];

$$\Phi_{B0} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{AA^*T^2}{I_0}\right) \quad (4)$$

Aygıtın I-V-T grafiğinin her bir sıcaklık değerleri için bu sıcaklıklara ait lineer bölgelerinin eğimleri, x eksenini kestiği noktalar ve Eşitlik 2.-4. kullanılarak hesaplanan n, I₀ ve Φ_{B0} değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

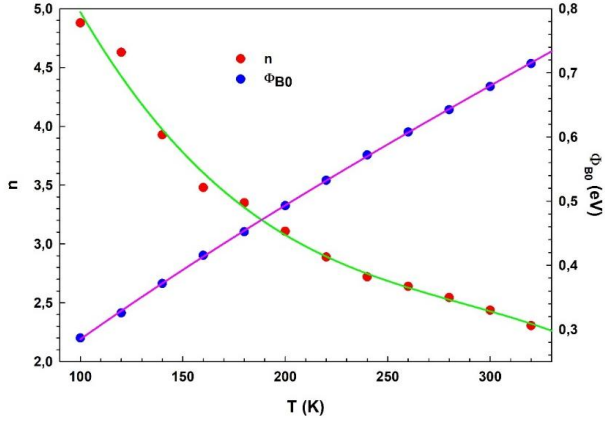
Tablo 1. Çeşitli sıcaklıklarda Al/TiO₂/p-Si SD için elde edilen n, I₀, Φ_{B0}, R_s ve R_{sh} değerleri

| T (K) | n | I ₀ (A) | Φ _{B0} (eV) | R _s (Ω) | R _{sh} (kΩ) | DO x10 ³ (± 2V) |
|-------|-------|------------------------|----------------------|--------------------|----------------------|----------------------------|
| 320 | 2,305 | 1,48x10 ⁻⁷ | 0,714 | 307,31 | 390,83 | 1,27 |
| 300 | 2,437 | 9,23x10 ⁻⁸ | 0,679 | 322,11 | 569,58 | 1,77 |
| 280 | 2,544 | 5,49x10 ⁻⁸ | 0,643 | 338,29 | 847,33 | 2,51 |
| 260 | 2,639 | 2,89x10 ⁻⁸ | 0,608 | 361,34 | 1303,14 | 3,61 |
| 240 | 2,720 | 1,45x10 ⁻⁸ | 0,572 | 388,20 | 2035,52 | 5,24 |
| 220 | 2,889 | 7,89x10 ⁻⁹ | 0,533 | 418,32 | 3254,14 | 7,78 |
| 200 | 3,107 | 3,91x10 ⁻⁹ | 0,493 | 460,62 | 5585,28 | 12,12 |
| 180 | 3,350 | 1,82x10 ⁻⁹ | 0,452 | 506,46 | 9616,87 | 18,99 |
| 160 | 3,479 | 5,38x10 ⁻¹⁰ | 0,416 | 569,48 | 18236,69 | 32,02 |
| 140 | 3,928 | 2,11x10 ⁻¹⁰ | 0,372 | 647,88 | 36812,01 | 56,82 |
| 120 | 4,628 | 7,68x10 ⁻¹¹ | 0,326 | 751,03 | 82240,56 | 109,51 |
| 100 | 4,878 | 9,12x10 ⁻¹² | 0,287 | 894,45 | 213631,6 | 238,84 |



Şekil 3. DO'nun sıcaklığa bağlı değişimi.

Tablo 1 ve Şekil 4'ten de görüldüğü gibi sıcaklık artmasıyla n değeri azalırken Φ_{B0} değeri artmaktadır. Bu da gösteriyor ki hem n değeri hem de Φ_{B0} değeri uygulanan sıcaklık değerlerine güçlü bir şekilde bağlıdır. Temel olarak, akım iletimi sıcaklıkla ilişkili bir süreçtir. Bundan dolayı elektronlar daha düşük sıcaklıklarda düşük engelden geçebilirken daha yüksek sıcaklıklarda yüksek engeli aşabilecek yeterli enerjiye sahip olduklarından dolayı yüksek engelden geçebilirler. Dahası, artan sıcaklıkla birlikte engel yüksekliğindeki artış, sıcaklık ile ilişkili tuzakların ve rekombinasyon merkezlerinin meydana gelmesi yoluyla TiO₂/p-Si metal-yarıiletken yapıların tükenme bölgesindeki donör konsantrasyonundaki azalma ile açıklanabilir [27].

Şekil 4. n ve Φ_{B0} değerlerinin sıcaklık ile ilişkisi

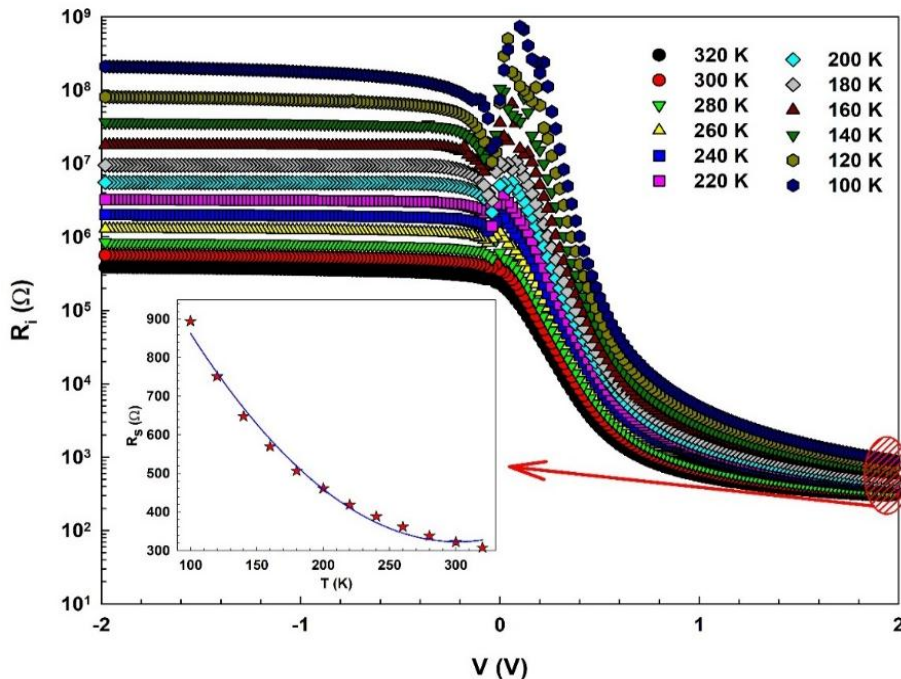
Termal kaplama haricinde çeşitli yöntemler kullanılarak TiO_2 arayüzey tabakası oluşturulması literatürde mevcuttur [14,28–31]. Farklı yöntemler kullanılarak oluşturulan TiO_2 arayüzeyine sahip SD'ler için TE teorisi kullanılarak elde edilen n, I_0 ve Φ_{B0} değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi oda sıcaklığı ve civarında yapılan ölçümlerde arayüzey tabakasını oluşturmak için kullanılan yöntemin farklılığı n, I_0 ve Φ_{B0} değerlerini etkilemiştir. Bu çalışmada oluşturulan aygıtın temel diyot parametreleri literatürdeki diğer yöntemlerle elde edilenler ile karşılaştırıldığında n değeri yüksek olarak elde edilmişken engel yüksekliği diğerlerine kıyasla daha küçük bulunmuştur.

Tablo 2. Çeşitli yöntemler kullanılarak oluşturulmuş TiO_2 arayüzeyine sahip SD için TE kullanılarak elde edilen n, I_0 ve Φ_{B0} değerleri

| Diyot | Arayüzey Kaplama Yöntemi | T (K) | n | I_0 (A) | Φ_{B0} (eV) | Referans |
|----------------------------------|--------------------------------|---------------|-------|------------------------|------------------|------------|
| Al/ TiO_2 /p-Si | Termal kaplama | Oda sıcaklığı | 2,437 | $9,23 \times 10^{-8}$ | 0,679 | Bu çalışma |
| Al/ TiO_2 /p-Si | Atomik tabaka kaplama | Oda sıcaklığı | 1,04 | - | 0,80 | [14] |
| Au/ TiO_2 (rutile)/n-Si | DC magnetron püskürtme yöntemi | 295 | 2,59 | - | 0,72 | [28] |
| Al/ TiO_2 /p-Si | Daldırma süreç yöntemi | 300 | 1,51 | $1,64 \times 10^{-8}$ | 0,722 | [29] |
| Al/ TiO_2 /n-Si | Spin-coating | 300 | 1,93 | $1,83 \times 10^{-11}$ | 0,93 | [30] |
| Ni/n- TiO_2 /p-Si/Al | Darbeli lazer biriktirme | 300 | - | - | 0,59 | [31] |

Diyotların ideallikten sapmasına neden olan bir başka parametre de yapının direncidir (R_i). Aygıt için Ohm Yasası [20] ($R_i = dV/dI$) kullanılarak hesaplanan R_i -V grafiği Şekil 5'te verilmiştir. Doğru öngerilimlemedeki R_i değeri yapının seri direncine (R_s) karşılık gelirken ters öngerilimdeki R_i değeri ise yapının şönt direncine (R_{sh}) karşılık gelir. İdeal durumda R_s değeri oldukça küçük olması gerekirken R_{sh} değeri oldukça büyük olması gerekir. Aygıt için R_i 'nin doğru ve ters beslemdeki değerleri kullanılarak hesaplanan R_s ve R_{sh}

değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Ayrıca R_s 'nin sıcaklıkla ilişkisi Şekil 5'in içerisinde verilmiştir. Bu şekilden ve Tablo 1'den görüldüğü gibi azalan sıcaklıkla birlikte yapının R_s değeri artmaktadır. Daha düşük sıcaklıklarda daha düşük termal enerjiye sahip elektronların varlığından dolayı, bariyeri geçen serbest taşıyıcı konsantrasyonu azalacak ve akım iletimi, daha düşük bariyer yüksekliğine sahip yamalar boyunca hakim olacaktır. Böylece R_s değeri artacaktır.

Şekil 5. Çeşitli sıcaklıklarda Al/ TiO_2 /p-Si SD için elde edilen R_i -V grafiği

Arayüzey durumları (N_{ss}) bir diyotun elektrik ve dielektrik özelliklerini etkiler ve idealden sapmasına neden olur. Yani arayüzey tabakası ve yarıiletken arasında yerleşmiş N_{ss} 'lerin varlığı aygıtın akım-gerilim ve kapasitans-gerilim ölçümlerine etki eder. N_{ss} enerjiye bağlı değişim grafiği aşağıdaki eşitlikler ve doğru beslem I-V verileri kullanılarak hesaplanabilir [32,33].

$$n(V) = \frac{q}{kT} \left\{ \frac{V - IR_s}{\ln\left(\frac{I}{I_0}\right)} \right\} \quad (5a)$$

$$\phi_e = \phi_{B0} + \left(1 - \frac{1}{n(V)}\right) (V - IR_s) \quad (5b)$$

$$E_{ss} - E_v = q(\phi_e - V) \quad (5c)$$

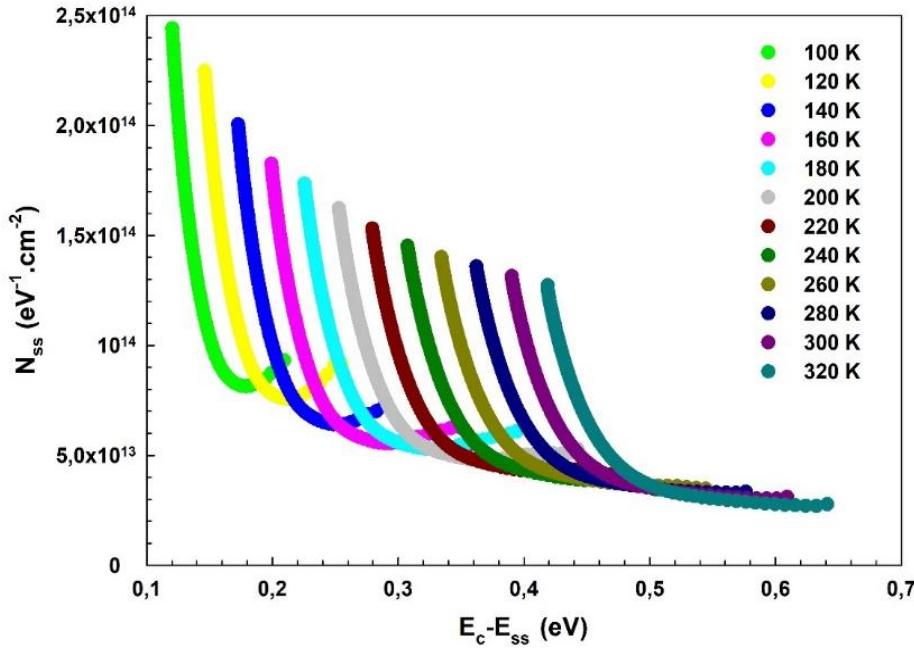
$$N_{ss}(V) = \frac{1}{q} \left\{ \frac{\epsilon_i}{\delta_i} (n(V) - 1) - \frac{\epsilon_s}{w_D} \right\} \quad (5d)$$

Burada ϕ_e efektif engel yüksekliği diğer parametreler literatürde belirtilmiştir [34–37]. Eşitlik 5a.-5d. kullanılarak aygıt için elde edilen $N_{ss} - (E_{ss} - E_v)$ grafiği Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6'dan da görüldüğü gibi, arayüzey tabakasından dolayı sarkan bağlar pasifleşmiştir ve verilen enerji bölgesinde diyot için N_{ss} değerleri düşüktür. Ayrıca, arayüzey tabakası hem taşıyıcıların metal-yarı iletken bağlantısından içeri girmesini engeller hem de yarı iletken yüzeydeki aktif sarkan bağları etkisiz hale getirir [38]. Metal ile

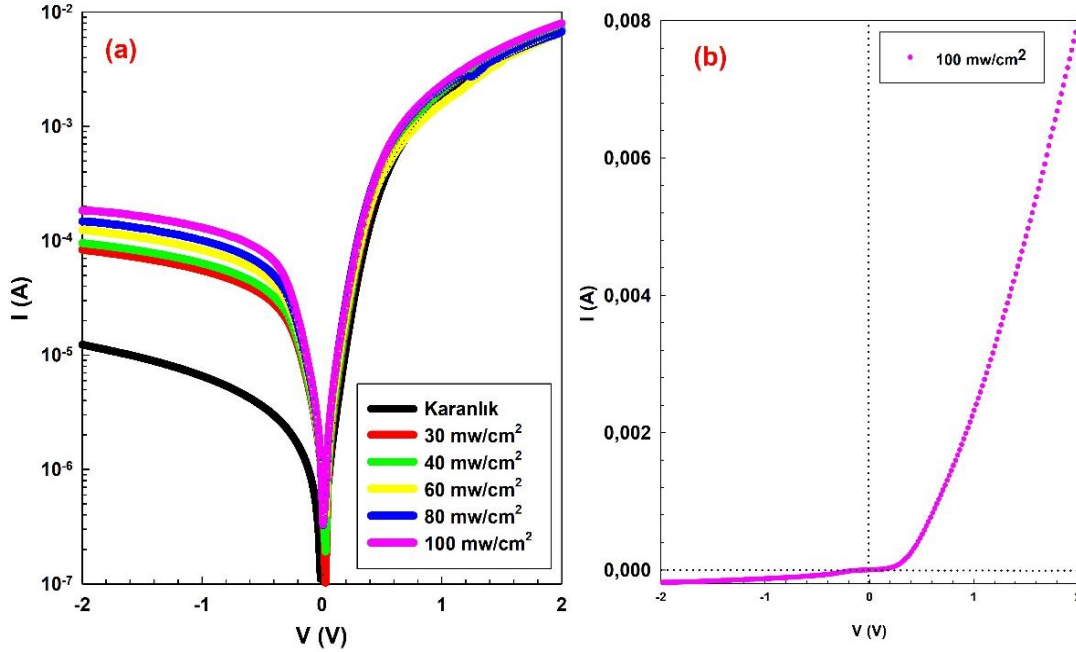
yarıiletken arasında doğal yolla oluşan ince bir yerli oksit tabaka, kirlilikler, tüketim bölgesi kalınlığı ve arayüzey tabakasının yüksek dielektrik değere sahip olması arayüzey durumlarının yüksek olmasına neden olur.

3.2. Aydınlanma Şiddetine Bağlı Elektriksel Özellikler

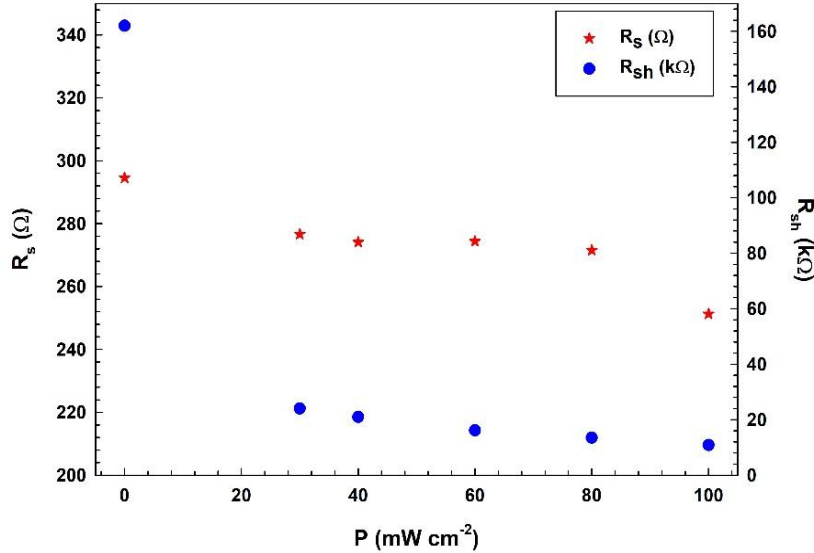
Fabrikasyonu gerçekleştirilen aygıtın çeşitli aydınlanma şiddetine bağlı yarı logaritmik I-V grafiği Şekil 7 (a)'da gösterilmiştir. Şekil 7 (b)'de ise aygıtın 100 mW cm^{-2} 'deki linner I-V grafiği verilmiştir. Şekil 7 (a)'da görüldüğü gibi özellikle ters beslemde akım aydınlanma şiddetine bağlı olarak artıyor. Çünkü böyle ışığa maruz kalan bir yapıda ters beslemde akımın artması, yarıiletkendeki taşıyıcıların ışığa maruz kaldıklarında valans bandından iletim bandına geçmesiyle gerçekleşir. Sonucunda da ters beslem akımı artar. Çeşitli aydınlanma şiddetleri altında aygıt için TE teorisi (Eşitlik 1.-4.) ve Ohm yasası kullanılarak elde edilen temel elektriksel parametreler Tablo 3'de verilmiştir. Tablodan da görülüyor ki, ışık şiddetine bağlı olarak idealite faktörü artarken engel yüksekliği azalıyor. Ayrıca hem R_s hem de R_{sh} değerinin aydınlatma şiddetine bağlı değişimi Şekil 8'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi aydınlatma şiddetinin atmasıyla beraber aygıtın hem R_s 'nin hem de R_{sh} 'in değişiklik olmaktadır.



Şekil 6. Çeşitli sıcaklıklarda Al/TiO₂/p-Si SD için elde edilen $N_{ss} - (E_{ss} - E_v)$ grafiği



Şekil 7. Al/TiO₂/p-Si SD'un (a) çeşitli aydınlatma şiddeti altında yarı-logaritmik I-V grafiği (b) 100 mW cm⁻²'deki lineer I-V grafiği



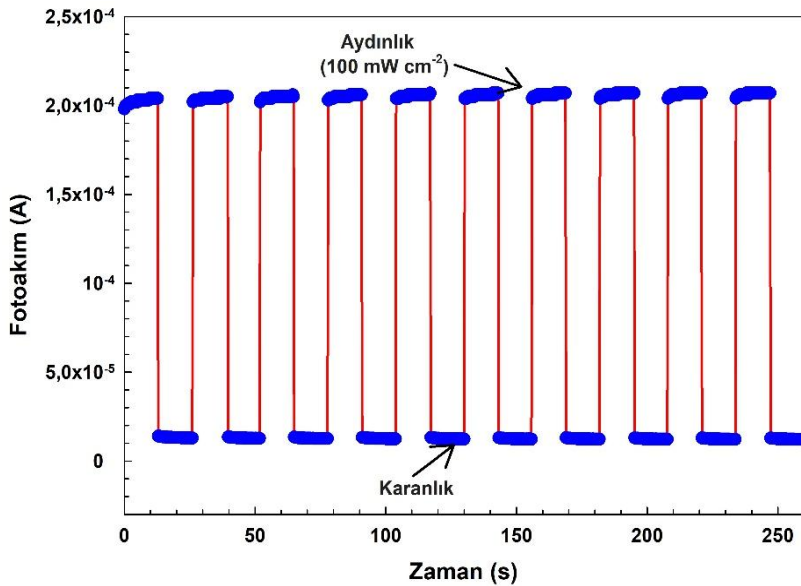
Şekil 8. R_s ve R_{sh} değerinin farklı aydınlatma yoğunluğuna göre değişimi

Tablo 3. Çeşitli aydınlatma şiddetlerinde Al/TiO₂/p-Si SD için elde edilen n, I₀, Φ_{B0}, R_s ve R_{sh} değerleri

| P (mW/cm ²) | n | I ₀ (A) | Φ _{B0} (eV) | R _s (Ω) | R _{sh} (kΩ) |
|-------------------------|-------|-----------------------|----------------------|--------------------|----------------------|
| 0 | 2,238 | 3,39x10 ⁻⁷ | 0,645 | 294,55 | 161,96 |
| 30 | 2,548 | 7,54x10 ⁻⁷ | 0,624 | 276,66 | 24,01 |
| 40 | 2,584 | 8,73x10 ⁻⁷ | 0,620 | 274,12 | 21,01 |
| 60 | 2,739 | 1,19x10 ⁻⁶ | 0,612 | 274,34 | 16,13 |
| 80 | 2,826 | 1,72x10 ⁻⁶ | 0,603 | 271,54 | 13,52 |
| 100 | 2,868 | 5,28x10 ⁻⁶ | 0,574 | 251,29 | 10,87 |

Aygıtın elektron-hol rekombinasyonunu incelemek için -2 V'ta fotoakım-zaman grafiği çizilmiş ve Şekil 9'da verilmiştir. Ölçüm anahtar açık (100 mW cm⁻²) ve anahtar kapalı konumda yapılmıştır. Anahtar açık konuma getirildiğinde artan serbest yük taşıyıcılarından dolayı akım aniden artıyor ve maksimum değerine ulaşıyor [39–42]. Anahtar kapatıldığı zaman yük taşıyıcılarının tuzaklanması sonucu akım aniden minimum değerine ulaşıyor ve anahtar açık konuma

getirene kadar sabit kalıyor [39–42]. Aydınlanma yoğunluğuna yanıt, yükselme süresi ve düşme süresi değerlendirilerek elde edildi. Hem yükselme hem de düşüşteki gerçek tepki sürelerinin yaklaşık 0,26 saniyesinden az olduğu bulundu. İki bitişik veri noktası arasında ölçülen zaman aralığı, ekipmanın zamansal çözünürlüğü ile sınırlıdır. Hızlı yanıt, elektron-hol çiftlerinin yüksek verimli bir üretimini ve ayrılmasını ortaya çıkarır.



Şekil 9. Al/TiO₂/p-Si SD'un -2 V' da 100 mW cm⁻² aydınlatma şiddeti altında fotoakım-zaman grafiği

4. SONUÇ

Bu çalışmada termal buharlaştırma yöntemi kullanılarak elde edilen Al/TiO₂/p-Si SD'nin elektriksel özellikleri hem sıcaklık hem de aydınlanma şiddetine bağlı olarak incelendi. n , I_0 , Φ_{B0} ve R_s gibi temel diyot parametreleri hem aydınlanma hem de sıcaklığa bağlı olarak hesaplandı. Sıcaklığa ve aydınlanma şiddetine bağlı sonuçlar gösterdi ki idealite faktörü, n aydınlanma şiddeti arttıkça artarken sıcaklık arttıkça azalıyor. Φ_{B0} aydınlanma şiddeti arttıkça artarken sıcaklık arttıkça azalıyor ve R_s ise hem aydınlatma şiddeti hem de sıcaklık arttıkça azalıyor. Sıcaklığa bağlı arayüzey durumları incelendi ve N_{ss} değerinin 10^{14} eV⁻¹ cm⁻² sınırında olduğu gözlemlendi. N_{ss} 'in böyle yüksek çıkması oksit tabaka, kirlilikler ve tüketim bölgesi kalınlığına atfedildi. Ayrıca fabrike edilen diyotun aydınlanma şiddetine bağlı ışığa tepkimesi incelendi.

KAYNAKLAR

- [1] Çiçek O, Tecimer HU, Tan SO, Tecimer H, Altındal Ş, Uslu I. Evaluation of electrical and photovoltaic behaviours as comparative of Au/n-GaAs (MS) diodes with and without pure and graphene (Gr)-doped polyvinyl alcohol (PVA) interfacial layer under dark and illuminated conditions. *Composites Part B: Engineering*. 2016;98:260–8.
- [2] Uslu H, Altındal Ş, Tunc T, Uslu İ, Mammadov TS. The Illumination Intensity and Applied Bias Voltage on Dielectric Properties of Au/Polyvinyl Alcohol (Co, Zn-Doped)/n-Si Schottky Barrier Diodes. *Journal of Applied Polymer Science*. 2011;120:322–8.
- [3] 3. Soylu M, Yakuphanoglu F. Photovoltaic and interface state density properties of the Au/n-GaAs Schottky barrier solar cell. *Thin Solid Films*. 2011;519(6):1950–4.
- [4] Zhang SX, Kundaliya DC, Yu W, Dhar S, Young SY, Salamanca-Riba LG, et al. Niobium doped TiO₂: Intrinsic transparent metallic anatase versus highly resistive rutile phase. *Journal of Applied Physics*. 2007;102(1):1–5.
- [5] Leng YX, Huang N, Yang P, Chen JY, Sun H, Wang J, et al. Influence of oxygen pressure on the properties and biocompatibility of titanium oxide fabricated by metal plasma ion implantation and deposition. *Thin Solid Films*. 2002;420–421:408–13.
- [6] Truong L, Fedorenko YG, Afanaşev V V., Stesmans A. Admittance spectroscopy of traps at the interfaces of (1 0 0) Si with Al₂O₃, ZrO₂, and HfO₂. *Microelectronics Reliability*. 2005;45(5–6):823–6.
- [7] Guo HY, Ye ZG. Electric characterization of HfO₂ thin films prepared by chemical solution deposition. *Materials Science and Engineering B: Solid-State Materials for Advanced Technology*. 2005;120(1–3):68–71.
- [8] Coey JMD. D⁰ Ferromagnetism. *Solid State Sciences*. 2005;7(6):660–7.
- [9] Altuntas H, Bengi A, Aydemir U, Asar T, Cetin SS, Kars I, et al. Electrical characterization of current conduction in Au/TiO₂/n-Si at wide temperature range. *Materials Science in Semiconductor Processing*. 2009;12(6):224–32.
- [10] Mathews NR, Morales ER, Cortés-Jacome MA, Toledo Antonio JA. TiO₂ thin films - Influence of annealing temperature on structural, optical and photocatalytic properties. *Solar Energy*. 2009;83(9):1499–508.
- [11] Li W, Ni C, Lin H, Huang CP, Shah SI. Size dependence of thermal stability of TiO₂ nanoparticles. *Journal of Applied Physics*. 2004;96(11):6663–8.
- [12] Zeyrek S, Altındal Ş, Yüzer H, Bülbül MM. Current transport mechanism in Al/Si₃N₄/p-Si (MIS) Schottky barrier diodes at low temperatures. *Applied Surface Science*. 2006;252(8):2999–3010.
- [13] Tataroğlu A, Altındal Ş. Characterization of current-voltage (I-V) and capacitance-voltage-

- frequency (C–V–f) features of Al/SiO₂/p-Si (MIS) Schottky diodes. *Microelectronic Engineering*. 2006;83(3):582–8.
- [14] Karabulut A, Orak İ, Türüt A. The photovoltaic impact of atomic layer deposited TiO₂ interfacial layer on Si-based photodiodes. *Solid-State Electronics*. 2018;144:39–48.
- [15] Bengi A, Aydemir U, Altındal Ş, Özen Y, Özçelik S. A comparative study on the electrical characteristics of Au/n-Si structures with anatase and rutile phase TiO₂ interfacial insulator layer. *Journal of Alloys and Compounds*. 2010;505(2):628–33.
- [16] Orak İ, Karabulut A. Frequency and voltage dependence of electrical conductivity, complex electric modulus, and dielectric properties of Al/Alq₃/p-Si structure. *Turkish Journal of Physics*. 2020;44(1):85–94.
- [17] Lee BH, Jeon Y, Zawadzki K, Qi W-J, Lee J. Effects of interfacial layer growth on the electrical characteristics of thin titanium oxide films on silicon. *Applied Physics Letters*. 1999;74(21):3143–5.
- [18] Kaya A, Sevgili, Altındal, Öztürk MK. Current-conduction mechanism in Au/n-4H-SiC Schottky barrier diodes. *Indian Journal of Pure and Applied Physics*. 2015;53(1):56–65.
- [19] Özdemir MC, Sevgili Ö, Orak İ, Turut A. Determining the potential barrier presented by the interfacial layer from the temperature induced I–V characteristics in Al/p-Si Structure with native oxide layer. *Materials Science in Semiconductor Processing*. 2021;125:105629.
- [20] Sze SM. *Physics of Semiconductor Devices*. 2nd ed. New York: Wiley; 1981. 362–380.
- [21] Karabulut A. Barrier height modification in Au/Ti/n-GaAs devices with a HfO₂ interfacial layer formed by atomic layer deposition. *Bulletin of Materials Science*. 2019;42(1):1–11.
- [22] Farooq WA, Elgazzar E, Dere A, Dayan O, Serbetci Z, Karabulut A, et al. Photoelectrical characteristics of novel Ru(II) complexes based photodiode. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. 2019;30(6):5516–25.
- [23] Çiçek O, Altındal Ş, Azizian-Kalandaragh Y. A Highly Sensitive Temperature Sensor Based on Au/Graphene-PVP/n-Si Type Schottky Diodes and the Possible Conduction Mechanisms in the Wide Range Temperatures. *IEEE Sensors Journal*. 2020;20(23):14081–9.
- [24] Karabulut A, Sarılmaz A, Özel F, Orak İ, Şahinkaya MA. A novel device fabricated with Cu₂NiSnS₄ chalcogenide: Morphological and temperature-dependent electrical characterizations. *Current Applied Physics*. 2020;20(1):58–64.
- [25] Karabulut A, Orak İ, Türüt A. Electrical characteristics of Au/Ti/HfO₂/n-GaAs metal-insulator-semiconductor structures with high-k interfacial layer. *International Journal of Chemistry and Technology*. 2018;2(2):116–22.
- [26] Orak İ. The performances photodiode and diode of ZnO thin film by atomic layer deposition technique. *Solid State Communications*. 2016;247:17–22.
- [27] Bakkaloğlu ÖF, Ejderha K, Efeoğlu H, Karataş Ş, Türüt A. Temperature dependence of electrical parameters of the Cu/n-Si metal semiconductor Schottky structures. *Journal of Molecular Structure*. 2021;1224:129057.
- [28] Kınacı B, Şebnem Çetin S, Bengi A, Özçelik S. The temperature dependent analysis of Au/TiO₂ (rutile)/n-Si (MIS) SBDs using current–voltage–temperature (I–V–T) characteristics. *Materials Science in Semiconductor Processing*. 2012;15(5):531–5.
- [29] Pakma O, Serin N, Serin T, Altındal Ş. The double Gaussian distribution of barrier heights in Al/TiO₂/p-Si (metal-insulator-semiconductor) structures at low temperatures. *Journal of Applied Physics*. 2008;104(1):014501.
- [30] Erdal MO, Kocuyigit A, Yıldırım M. Temperature dependent current-voltage characteristics of Al/TiO₂/n-Si and Al/Cu:TiO₂/n-Si devices. *Materials Science in Semiconductor Processing*. 2019;103:104620.
- [31] Kumar A, Sharma KK, Chand S, Kumar A. Investigation of barrier inhomogeneities in I-V and C-V characteristics of Ni/n-TiO₂/p-Si/Al heterostructure in wide temperature range. *Superlattices and Microstructures*. 2018;122:304–15.
- [32] Card HC, Rhoderick EH. Studies of tunnel MOS diodes I. Interface effects in silicon Schottky diodes. *Journal of Physics D: Applied Physics*. 1971;4:1589–601.
- [33] Gencer Imer A, Korkut A, Farooq WA, Dere A, Atif M, Hanif A, et al. Interface controlling study of silicon based Schottky diode by organic layer. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. 2019;30(21):19239–46.
- [34] Sevgili Ö. On the examination of temperature-dependent possible current-conduction mechanisms of Au/(nanocarbon-PVP)/n-Si Schottky barrier diodes in wide range of voltage. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. 2021;32, 10112–22.
- [35] Demirezen S, Altındal Yerişkin S. A detailed comparative study on electrical and photovoltaic characteristics of Al/p-Si photodiodes with coumarin-doped PVA interfacial layer: the effect of doping concentration. *Polymer Bulletin*. 2020;77(1):49–71.
- [36] Rajagopal Reddy V, Choi C-J. Microstructural, chemical and electrical characteristics of Au/magnetite (Fe₃O₄)/n-GaN MIS junction with a magnetite interlayer. *Vacuum*. 2019;164:233–41.
- [37] Boughdachi S, Azizian-Kalandaragh Y, Badali Y, Altındal Ş. Facile ultrasound-assisted and microwave-assisted methods for preparation of Bi₂S₃-PVA nanostructures: exploring their pertinent structural and optical properties and comparative studies on the electrical, properties of Au/(Bi₂S₃-PVA)/n-Si Schottky struct. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. 2017;28(23):17948–60.

- [38] Reddy VR. Electrical properties of Au/polyvinylidene fluoride/n-InP Schottky diode with polymer interlayer. *Thin Solid Films*. 2014;556:300–6.
- [39] Bube RH. *Photoconductivity of Solids*. New York: Wiley; 1960.
- [40] Yakuphanoglu F, Şenkal BF. A hybrid p-Si/poly(1,4-diaminoanthraquinone) photoconductive diode for optical sensor applications. *Synthetic Metals*. 2009;159(3):311–4.
- [41] Yakuphanoglu F. Transparent metal oxide films based sensors for solar tracking applications. *Composites Part B: Engineering*. 2016;92:151–9.
- [42] Gupta RK, Yakuphanoglu F. Photoconductive Schottky diode based on Al/p-Si/SnS₂/Ag for optical sensor applications. *Solar Energy*. 2012;86(5):1539–45.



The Killer Traps of Waters; Parachute Fishing Net Bingöl Example

Nimetullah KORKUT^{1*}, Mustafa KOYUN², Abdullah MART³

¹ Bingöl University, Institute of Science, Biology, Bingöl, Turkey

² Bilecik Şeyh Edebali University, Faculty of Arts and Science, Molekuler Biology and Genetic, Bilecik, Turkey

³ Osmaniye Korkut Ata University, Faculty of Arts and Science, Biology, Osmaniye, Turkey

Nimetullah KORKUT ORCID No: 0000-0002-6016-0028

Mustafa KOYUN ORCID No: 0000-0002-8117-5966

Abdullah MART ORCID No: 0000-0001-6539-9188

*Sorumlu yazar: nkorkut@bingol.edu.tr

(Alınış: 2.11.2020, Kabul: 25.05.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Keywords

Tırıvrı,
Parachute
fishing net,
Göynük
Stream,
Murat River,
Bingöl

Abstract: This study was carried out to draw attention and create awareness on hunting materials prohibited to use and very dangerous for water ecology which is called Tırıvrı (Turkish name) and defined as a killer tor or Parachute Fishing Net (PFN). It was carried out in a part of Göynük Stream (Bingöl) creek bed at various times during the years 2015-2016-2017. The study had been carried out in about 40 km of the Göynük Stream, separated from the Murat River by three steps towards its upstream. These sections were taken as; Genç county railway bridge-Kervansaray (18 km), Kervansaray-Ilıcalar (11 km), and Ilıcalar-Alatepe (12 km). In these sections, there were found 45 in the first, 52 in the second, 33 in the third interval, and 130 in total old and new looking fishnet residues were determined of the creek bed. Throughout the study, only the Tırıvrı (PFN) trashes outside the stream could be counted, and it can be estimated that the amount that cannot be counted in the water is 3-4 times of those detected. It has been attempted to give the awareness that the hunting material is only a spending day activity whereas the adverse effects continue for years.

Suların Katil Tuzakları; Tırıvrı Bingöl Örneği

Anahtar Kelimeler

Tırıvrı,
Paraşüt ağ,
Göynük
Çayı,
Murat Nehri,
Bingöl

Öz: Bu çalışma; tırıvrı, katil tor veya paraşüt ağ olarak tanımlanan, kullanılması yasak ve su ekolojisi için oldukça tehlikeli olan av malzemesi üzerine dikkat çekmek ve farkındalık oluşturmak amacıyla yapılmıştır. Çalışma, 2015-2016-2017 yıllarının muhtelif zamanlarında Göynük Çayı (Bingöl) dere yatağının bir bölümünde yürütülmüştür. Çalışma Göynük Çayı'nın Murat nehri bağlantısından itibaren membama doğru üç etaba ayrılan ve yaklaşık 40 km'lik uzunlukta dere yatağında gerçekleştirilmiştir. Bu bölümler; Genç demiryolu köprüsü-Kervansaray (18 km), Kervansaray-Ilıcalar (11 km), Ilıcalar- Alatepe (12 km) olarak ele alınmıştır. Bu bölümlerden dere yatağının birinci aralığında 45, ikinci aralığında 52, üçüncü aralığında 33, toplamda 130 adet eski ve yeni görünümlü tırıvrı kalıntısı tespit edilmiştir. Çalışma boyunca sadece suyun dışındaki dere yatağında rastlanan ağ kalıntıları sayılabilmiş, su içinde kalıpta sayılamayan miktarın ise tespit edilenlerin 3-4 katı olabileceği tahmin edilmektedir. Çalışma süresinde avlaklarda rastlanan tırıvrı avcılarının bu av malzemesinin sadece günü kurtaran bir etkinlik olduğu, ancak olumsuz etkilerinin uzun yıllar devam ettiği bilinci verilmeye çalışılmıştır.

1. INTRODUCTION

According to the data on fisheries of the world 89.09 million tons in 2010, and 92.5 million tons (80.5 from the seas, and 11.9 from inland waters) in 2017 fishery products were caught. In Turkey, although there were 0.50 million tons in 2000, only 0.31 million tons of hunting was performed in 2018 [1, 2]. Despite the

worldwide increase, one of the major causes of the reduction in this amount is also arising from unconscious and forbidden fishing in Turkey which is surrounded by the sea on three sides and is rich in freshwater.

In recent years, amateur angling is widely defined in our country as an activity in which fishing for sport or hobby purposes and commercially that are not sold. In the studies conducted in Turkey, subjects such as socio-

economy of amateur angling, fishing efficiency and amateur angling certification status have been investigated. Studies on the damages of prohibited fishing materials used in amateur fishing to aquatic creatures are limited [3].

One of these prohibited fishing materials is the use of Tırıvrı (PFN) (called in Turkish) which is very dangerous hunting equipment. Tırıvrı - Parachute fishing net is made of a low-density weak line of various sizes which is used in connection with a fishing line and prepared for hunting by attaching a lead weight to the inner side close to the tying part of the launch line [4] (Figure 1-2). Tırıvrı (PFN) easily breaks and it remains in the water for years if it gets caught in an obstacle in the water. With this feature, it is strictly prohibited to use because it poses a great threat to natural life. Tırıvrı (PFN), which is a natural killer since the broken parts have been left in water for years, also destroys the spirit of amateur fishing [5].



Figure 1. A: "Tırıvrı (PFN)" ready to use, B: Tırıvrı (PFN) packages caught in control [6]

It is reported that Tırıvrı (PFN) which is made of nylon can remain in the water for about 200 years without rot [7]. The Tırıvrı (PFN) pieces are stuck in the water environments, by taking the other materials from the environment into their structure, slow down the flow rate of the water with the sets formed in front of the stream and cause the aquatic organisms to be stuck in the environment (Figure 2A). Thus, it will cause environmental pollution and trapping of aquatic organisms.

Hungry animals that feed on aquatic organisms such as fish and frogs are caught in this trap when they come close to eating the creatures caught in the water (Figure 2B). For this reason, the animals are living in aquatic environments such as aquatic birds (ducks, storks, herons, cormorants, etc.), otters and water snakes die by suffocation or starvation [8].

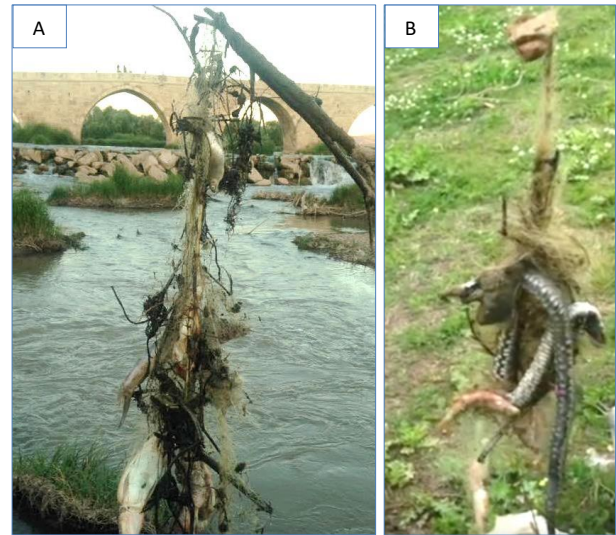


Figure 2. A: Vicinity of the Sivas Eğri bridge [9], B: From media [10]

As a result of the negotiations with the Undersecretary of the Ministry of Interior and his deputy on 13 January 2005, the prohibition of Tırıvrı (PFN) in the whole country was initiated by the Amateur Fishing Association officials. Article 23 (a) of the Law on Fisheries, entitled General Prohibitions, Restrictions and Obligations contains the provision "The minimum qualifications and conditions for the procurement means used in the supply of seafood shall be determined by the regulation." By this regulation; published in the Official Gazette dated 05.11.2008 and numbered 27045 2/1, article 42, paragraph 7, of the General Communiqué on fisheries fishing for commercial purposes, and according to Article 14, Paragraph 7 of the Communiqué No: 2/2 Regarding Amateur (Sportive) Fishing "The production, sale, storage, and use of fishing equipment called Tırıvrı-parachute nets are prohibited"[Notification 2008].

2. MATERIAL AND METHOD

Göynük Stream; it is derived from the three branches that emerge from the village of Kale in the southeast of Karlıova, the village of Kaynak in the west of Karlıova and the village of Taşlıçay. Following the water fountain, many small and large streams join the tributaries and reach the Murat River [11]. Tırıvrı (PFN) trashes counted and noted during many academic studies conducted by our team in the creek at various times of 2015-2016-2017. The study area was carried out approximately 40 km which was divided into three sections from the connection of Murat River to the upstream. These sections; Genç railway bridge-Kervansaray (18 km), Kervansaray-İlçalar (11 km), İlçalar-Alatepe (12 km) (Figure 3).

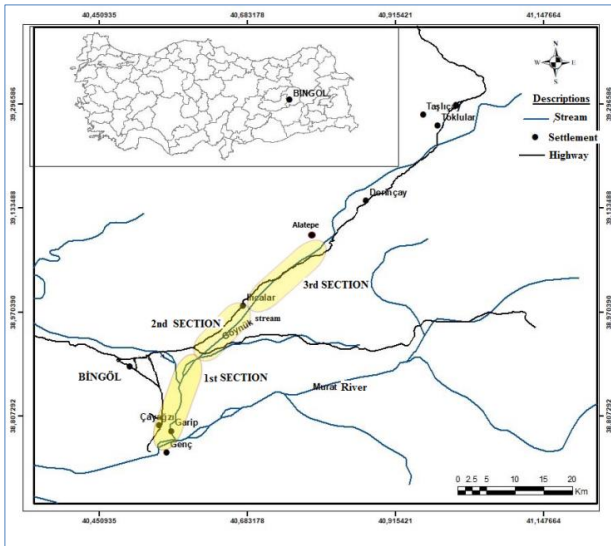


Figure 3. Study area map

As shown in Table 1, it is mostly within walking distance from the settlements close to the creek and also the hunting material is very easy to transport. Therefore, it makes it possible for individuals of all ages to hunt.

Table 1. Settlements close to the study area (Villages and hamlets)

| No | Settlements | Distance to Göynük Stream (km) |
|----|----------------|--------------------------------|
| 1 | Bingöl Center | 0-10 |
| 2 | Ekinyolu | 5 |
| 3 | Sarıççek | 2 |
| 4 | Çeltiksuyu | 0.5 |
| 5 | Güveçli | 2.5 |
| 6 | Small Tekeören | 5 |
| 7 | Big Tekeören | 0.3 |
| 8 | Ormanardı | 4 |
| 9 | Çayağzı | 0.3 |
| 10 | Garip | 0.25 |
| 11 | İncesu | 6 |
| 12 | Kardeşler | 15 |
| 13 | Köklü | 2.5 |
| 14 | İçpınar | 3 |
| 15 | Ilıcalar | 0.5 |
| 16 | Ağaçeli | 4 |
| 17 | Yenibaşlar | 0.4 |
| 18 | Elmalı | 0.5 |
| 19 | Alatepe | 1.2 |
| | Mean | 2.94 |

3. RESULTS

130 Tırıvrı (PFN) trashes were counted along the study area was carried out approximately 40 km which was divided into three sections from the connection of Murat River to the upstream. Among these sections; 45 in the first (18 km), 52 in the second (11 km), and 33 in the third (12 km) section were counted. Throughout the study, only the Tırıvrı (PFN) trashes outside the stream could be counted, and it can be estimated that the amount cannot be counted in the water is 3-4 times of those detected.

Table 2. The amount of Tırıvrı (PFN) collected in the study area

| Section | Study area | Distance (km) | Tırıvrı (PFN) (N) | Intensity (N/km) |
|---------|----------------------|---------------|-------------------|------------------|
| 1 | Genç-Kervansaray | 18 km | 45 | 2,50 |
| 2 | Kervansaray-Ilıcalar | 10 km | 52 | 4,73 |
| 3 | Ilıcalar-Alatepe | 12 km | 33 | 2,75 |
| | TOTAL | 40 km | 130 | 3,25 |

The distance of the study area to the settlements varies between 0-10 km. (Table 1). The Genç railway bridge, where the first section began, is within walking distance of the town centre and has become a place frequently visited by the people of the district for fishing. Especially on holidays, it is possible to see people who are fishing on the bridge with Tırıvrı (PFN) and various angles. It is also possible to reach the Kervansaray area at the beginning of the 2nd section and which is about 11 km away from the city centre, by any kind of car. Because there are promenade areas along the stream, the highway passes exactly over the stream, and so it is very easy to access.

It was observed that all kinds of solid and liquid household wastes have been discharged to the area where Ilıcalar Creek and Göynük Stream meet. The municipality has already declared that it has given up transport the waste dump to this area, but the people still dump their excavation and personal waste here. However, it is known that the operating wastes of the thermal springs are discharged into this area. Since it is given to Ilıcalar Creek without any treatment, Wastewater of thermal facilities within the settlement area of the town, stream water is 16-17 °C even in winter months. When the water temperature is 8-10 °C in the Göynük stream, the water temperature in Ilıcalar creek is 16-17 °C. Due to this reason, it's observed that the fish turned to this creek before the date indicated as the forbidden season (Breeding periods) and there was an intense accumulation of fish such as breeding ponds in the areas where water is ponded. Because of these reasons, people of all ages living in the region are fishing with Tırıvrı (PFN) in this section (Figure 4)



Figure 4. An old man is going fishing with Tırıvrı (PFN) nearby Ilıcalar

Since the Tırıvrı (PFN) material is weak and easy to tear, it is almost impossible to pull it out of the place where it is attached, and because of the cheapness of the product, there is no risk and trouble of picking it up and often stays where it has remained. However, since it does not rot in time, it continues its effects as a trap for living things in the water for a long time (Figure 5).



Figure 5. Snake and fish [10]

There are 5 irrigation and one hydroelectric power station dams on the Göynük stream. Especially in autumn and winter months, the opening and closing of the dam gate create a change in water flow, and the stream bed causes movement and due to this movement, Tırıvrı (PFN) remains to cause many aquatic organisms to be attached especially fish. In time, the snake comes to eat the fish trapped in the Tırıvrı (PFN), the crabs come to eat the snake that attaches to the net, and even the waterfowl wants to eat these aquatic animals, cannot escape. During the study, predominantly fish, occasionally snakes, frogs, crabs and even cormorants were caught and the majority of the aquatic organisms attached to the Tırıvrı (PFN) remains in the stream bed were killed. Besides, according to the news on the internet, fish, snakes, crabs, shrimps, and various water birds stuck in these traps and died in a terrible way (Figure 6).



Figure 6. Shrimp [10]

4. CONCLUSION, DISCUSSION AND SUGGESTIONS

Parachute is a fishing method that harms fish stocks in inland waters. It is known that the fishing tool is known as Tırıvrı (PFN) damages fish stocks; however, its use in inland waters has been increasing every year. Tırıvrı (PFN) caught by the rocks on the bottom of the stream, remains there for years and keeps on damaging fish and the other living organisms [12].

This hunting material, which can be used in any water environment such as rivers, lakes, ponds and even seas, due to its nylon structure, can remain in nature for years.

This trap can be stacked even in the propellers of boats, and make the vehicles inoperable. Moving from the place with the movement of water facilitates the damage given for many years (Figure 7). Tırıvrı (PFN) is very harmful to aquatic organisms such as trout, freshwater mullet, mackerel, freshwater crayfish and also other organisms such as snakes and birds [12].



Figure 7. A: Rotten fish, B: Angling Tırıvrı (PFN)

In this study, especially during breeding periods, the movement of the fish towards the upstream is increased and at the same time fishing with the prohibited hunting material Tırıvrı (PFN) is highly preferred. Everyone who goes fishing can use the Tırıvrı (PFN), because it does not require any training or expertise, therefore it is common and very easy to use.

In their study, Akkuş and Bozaoğlu (2019) determined that the use of Tırıvrı (PFN) is very common (86.4%) among amateur hunters. The rate of those who do not use it is 11.4% and the rate of fishermen who do not have any information about the Tırıvrı (PFN) is 2.2% [13]. In the study conducted by Ateşşahin et al. (2014), it was reported that the rate of amateur hunters using Tırıvrı (PFN) in Elazığ was 5%, the rate of those who did not use it was 65%, and the rate of those who did not know it was 4% [14]. Dönel and Yılmaz (2016) reported that the fish living in Gaga Lake in Ordu province were mainly caught with a fishing rod and parachute [15].

Until a few years ago, the manufacture of these nets was mostly of far eastern origin, and they illegally entered Turkey in various ways. However, these networks are manufactured in Turkey or imported and transformed into finished products, and unfortunately, they distributed and sold although they were prohibited by law or regulation. Tırıvrı (PFN) is very easy to obtain and anyone can purchase this prohibited hunting material for a small fee. New and impatient hunters can buy Tırıvrı (PFN) from a hunting market in the city centre for a small fee such as 4 or 5 TL. People, who do not have a hunting license or do not know whether or not it is prohibited, use this hunting material quite extensively.

As a result; How to fight the Tırıvrı (PFN)?

- As this struggle depends on individuals, first of all, the struggle should be started in the family and schools, and the future generations should be raised with this awareness.
- The love of nature and the amateur fishing spirit should be expanded to the general public, and strong non-governmental organizations should be established with the participation of these persons in at least one association
- Non-governmental organizations should provide information about Tırıvrı (PFN) damages so that the public should be informed about the issue with associations and media (Figure 8).
- In the interviews about nature and hunting, the subject should be brought up frequently and the damages should be explained.
- People in hunting areas should be told about the damages caused by hunting with Tırıvrı (PFN) to nature and sustainable amateur fishing, and they should be invited to the struggle.
- We should warn businesses that are selling Tırıvrı (PFN). In the case of continuity of sales, damages to our environment should be announced.
- If necessary, they should be informed to the responsible institutions and organizations via notice telephones [5]
- Awareness of all fisheries stakeholders is needed for the development of sustainable fisheries. It should be underlined that this fishing material is the cause of ghost hunting in aquatic and terrestrial environments, so it should never be used [12].



Figure 8. Public spotlight on destroying future [16]

Native American says “When the last tree is cut down, the last fish eaten, and the last stream poisoned, you will realize that you cannot eat money” [17].

Acknowledgement

The study was presented orally at the International Eurasian Conference on Biological and Chemical Sciences (EurasianBioChem 2018) 26-27 April 2018, Ankara, Turkey.

REFERENCES

- [1] FAO 2014. The state of world fisheries and aquaculture, opportunities and challenges. Rome, 255p.
- [2] GTHB. 2017. Fisheries Statistics, Ministry of Agriculture and Forestry, General Directorate of Fisheries and Aquaculture, Ankara.
- [3] Ateşşahin, T. (2019) Amatör olta balıkçılığında yasaklanan Tırıvrı (paraşüt) av aletinin sucul ve karasal canlılara vermiş olduğu zararlar. Ecological Life Sciences, 14(3), 43-48.
- [4] [Internet]. Tokat Directorate of Fisheries and Aquaculture Available from: <https://tokat.tarimorman.gov.tr/Duyuru/101/Tiriviri-Nedir-Neden-Yasaktir>, cited Oct 2020
- [5] [Internet]. Available from: <https://www.baliksevdam.com/konu/tiriviri-nedir-neden-yasaktir-zararlari-nelerdir.2061/>, cited Oct 2020
- [6] [Internet]. Available from: <https://www.bolununesi.com/haber/150462/tiriviricilara-adam-akilli-ceza-kestiler>, cited Oct 2020
- [7] [Internet]. Available from: <https://www.netpakambalaj.com/tr/plastik-posetlerin-dogada-cozulme-sureci-h-39>, cited Oct 2020
- [8] [Internet]. Available from: <http://www.dostmedya.com/haberoku6871/derede-denetim-yok>, cited Oct 2020
- [9] [Internet]. Available from: <https://sivasmemleket.com.tr/gundem/tiriviri-ile-balik-avi-ekolojik-dengeyi-bozuyor-h41168.html>, cited Oct 2020
- [10] [Internet]. Available from: <https://www.facebook.com/mersindebalikavi/video/s/tiriviri-yasak-kullanmayalim-satanlara-kullananlara-g%C3%B6z-yummayalim-792379330892693/>, cited Oct 2020
- [11] Koyun, M., Gül, B., & Korkut, N. (2018). The Fish Fauna of Göynük Stream (Bingöl). Kommagene Biyoloji Dergisi, 2(1), 39-47.
- [12] Akkuş, M., & Sari M. (2017). Problems Threatening the Tigris Trout (*Salmo tigridis*) Turan, Kottelat & Bektaş, 2011) Stock in Çatak Stream and Some Recommendations. Kommagene Biyoloji Dergisi, 1(1), 16-20.
- [13] Akkuş, M., & Bozoğlu, A. S. (2019). Van Gölü Havzasındaki amatör balıkçılığın sosyo ekonomik analizi. Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences, 4(3), 506-512.
- [14] Ateşşahin, T., Aslan, E. & Özmen, M.M. (2014). Elazığ İlindeki Amatör Balıkçıların Sosyo-Demografik Özellikleri Üzerine Bir Ön Araştırma. Yunus Araştırma Bülteni, 1, 41-50.
- [15] Dönel, K.E. & Yılmaz, E. (2016). The fish fauna of Gaga Lake (Ordu-Turkey) and identification of four species by morphometric characteristics. Türk Denizcilik ve Deniz Bilimleri Dergisi, 2(2), 63-74.
- [16] [Internet]. Available from: <http://www.rastgele.org/index.php?mod=menu&t=143>, cited Oct 2020

- [17] Oxford University Press, Print Publication Date:
2008 Print ISBN-13: 9780199539536 Published
online: 2009 Current Online Version: 2009 DOI:
10.1093/acref/9780199539536.001.0001e ISBN:
9780191727740



Astronomik Gözlemlerde Yeni Bir Çağ: Kütleçekim Dalga Detektörleri

Figen BİNBAY^{1*}, İlhan CANDAN²

¹ Dicle Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Diyarbakır, Türkiye

² Dicle Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Diyarbakır, Türkiye

Figen BİNBAY ORCID No: 0000-0002-1390-4151

İlhan CANDAN ORCID No: 0000-0001-9489-5324

*Sorumlu yazar: figenbinbay@hotmail.com

(Alınış: 14.08.2020, Kabul: 28.02.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Anahtar

Kelimeler

Genel
Görelilik
Teorisi,
Kütleçekim
dalgaları,
Lazer
Girişimölçerli
kütleçekim
dalga
dedektörleri

Öz: Kütleçekim dalgalarının varlığı Haziran 1916'da A. Einstein tarafından yazılan bir makalede öngörülmüştür. Söz konusu dalgalar ivmelenmiş kütleli cisimlerin sebep olduğu uzay-zaman eğriliğindeki tedirginmelerdir. 1960'lardan itibaren, bilim insanları bu dalgaları gözlemleyebilmek için çeşitli teknikler geliştirmişlerdir. Öngöründe bulunduktan yaklaşık 100 yıl geçmişken; 2015 yılının 14 Eylül günü Lazer Girişimölçerli Kütleçekim Dalga Gözlemevlerinin iki detektörü, eşzamanlı olarak bir enine kütleçekim dalga sinyali ölçmüşlerdir. Bir asırı bulan teorik ve teknolojik çalışmalar, özellikle Lazer Girişimölçerli detektörlü gözlemevlerinin bu başarısı bu derlemenin konusudur. Çalışmamızda ayrıca kütleçekim dalgalarının olası kaynaklarından ve bu dalgaları ölçmek için geliştirilen tekniklerden bahsedeceğiz. Bu teknikler evreni araştırmak için yeni bir pencere ve astronomik gözlemler için yeni bir çağın başlangıcı olmuştur.

Usher In A New Era Of The Astronomical Observations: Gravitational Wave Detectors

Keywords

General
Relativity
Theory,
Gravitational
Waves, Laser
Interferometer
Gravitational
Wave
Detectors

Abstract: The existence of Gravitational waves has been predicted in an article which is written by A. Einstein on June 1916. Gravitational waves are perturbations in the curvature of spacetime caused by accelerated masses. Since 1960s' scientists have been developed various techniques to observe them. Nearly, one hundred years have passed since the prediction was made; on September 14, 2015 two detectors of the Laser Interferometer Gravitational Wave Observatories simultaneously observed a transient gravitational wave signal. Theoretical calculations and developed techniques to observe these waves and recently the achievement of detection of the waves are the subject of this review. In this study, we will mention additionally possible sources of these waves and the techniques which were developed to observe them. These techniques have been a new window to look at the universe and started a new era for the astronomical observations.

1. GİRİŞ

1916 yılında, genel göreliliğin alan denklemlerinin ortaya konmasından bir yıl sonra, Albert Einstein tarafından kütleçekim dalgalarının varlığı öne sürüldü [1, 2]. Einstein, çizgiselleştirilmiş zayıf alan denklemlerinin dalga çözümlerine sahip olduğunu buldu. Uzaysal gerilimin bu enine dalgaları ışık hızında hareket ediyorlar ve kaynağın kütle kuadropol momentinin zamansal değişimleri tarafından üretiliyorlardı [3, 4]. Einstein, ayrıca kütleçekim dalgalarının genliklerinin çok küçük olacağını da hesapladı. Genliğin küçük olması

bu dalgaların gözlenmesini ve ölçülmesini neredeyse olanaksız kılıyordu.

Yine 1916'dan başlayarak K. Schwarzschild tarafından alan denklemleri için, daha sonra bir karadeliği tanımladığı anlaşılan bir çözümün bulunduğu çalışması yayımlandı [5, 6]. 1963'te R. P. Kerr tarafından bu çözüm birbiri etrafında dönen karadelik birleşmelerinin modellenebilmesine ve bunların sonucunda oluşabilecek kütleçekimsel dalga şekillerinin doğru tahminlerine olanak sağladı [7, 8].

Çok sayıda karadelik adayı elektromanyetik gözlemlerle tespit edilebilirken, karadelik birleşmeleri henüz gözlenmemiştir. Daha sonra karadelik birleşmelerinin yaratacağı kütleçekim dalgalarının, genliği çok küçük olan bu dalgaların ölçülebilmesine olanak sağlayacağı konusu ağırlık kazandı. Sadece büyük ivmelere ve kuadropol momentlere sahip karadelik birleşmeleri sonucu birleşik kozmik nesnelere kütleçekimsel dalga detektörleri için uygun kaynaklar olduğu öne sürüldü [9, 10].

Einstein'in kütleçekim dalgalarından bahsettiği makaleden yaklaşık 50 yıl kadar sonra, Joseph Weber tarafından bu ışımanın ölçülebilmesi için birkaç tasarım geliştirildi [11]. Sonunda "Çınlımlı kütle detektörleri" ya da "Weber çubukları" adıyla anılan detektörlerde karar kılındı. Derlememizin ilerleyen bölümlerinde, kütleçekim dalga kaynaklarından bahsedildikten sonra, Weber'in çalışması ile başlayan detektör çeşitleri ayrıntılı olarak anlatılacaktır. Einstein yine söz konusu makalesinde bir kütleçekim alanındaki herhangi bir ani değişikliğin ışık hızında hareket eden kütleçekim ışıması şeklinde dışarı doğru yayılması gerektiğini de belirlemiştir.

Daha sonra, söz konusu ışımanın dolaylı bir kanıtı olacak şekilde; 1974 yılında Joseph Taylor ve Russel Hulse adındaki bilim insanları PSR1913+16 adındaki ikili pulsarın yörüngesel periyodunun yavaşça azaldığını, bunun nedeninin yıldızların yörüngesel enerjilerinin kütleçekim ışıması nedeniyle azalması olduğunu ve birbirlerine doğru helisel bir şekilde yaklaştıklarını Doppler kayması gözlemi yoluyla tespit ettiler (Normal ikili yıldızlar birbirlerinden çok ayırdırlar ve yörüngeleri kayda değer kütleçekim ışıması yaymaları için çok yavaştır) [12-14].

Kütleçekim dalgaları, madde asimetric bir şekilde ivmelendiği zaman üretilmektedir. Fakat kütleçekim etkileşmesinin doğasına bağlı olarak, ışımanın algılanabilen seviyeleri sadece çok büyük kütleli cisimler, çok güçlü kütleçekim alanlarında ivmelendikleri zaman üretilmektedir [15]. Böylesi bir durum yerküre üzerinde gerçekleşemez, sadece evrende astrofiziksel sistemler arasında gerçekleşebilir [16]. Kütleçekim dalga sinyallerinin kozmolojik arkaplandaki (oluşmuş) dalgalar durumunda $\cong 10^{-17}$ Hz'den, süpernova patlamalarındaki nötron yıldızlarının oluşmasına $\cong 10^3$ Hz'e kadar olmak üzere geniş bir frekans aralığında olması beklenir [10, 17, 18].

Bu çalışmanın bir sonraki bölümünde kütleçekim ışımasının kaynaklarından ve 1960'lardan itibaren geliştirilen detektör çeşitlerinden kısaca bahsedilecektir [19, 20]. Son bölümde ise, Astronomik gözlemlerde yeni bir çığır açan ölçümü gerçekleştiren Lazer Girişimölçerli Kütleçekimsel Dalga Gözlemevleri (LIGO) ve benzeri oluşumlar daha ayrıntılı olarak incelenecektir [21-25].

2. KÜTLEÇEKİM DALGA KAYNAKLARI

Kütleçekim dalga genliği [26, 27]:

$$h = \frac{2\delta l_{kd}}{l} \quad (1)$$

şeklindeki boyutsuz nicelikte verilir. Burada δl_{kd} iki zamansal olay arasındaki l kendi mesafesinde, kütleçekim dalgasının neden olduğu değişimdir, h ,

$$h = \frac{2G}{c^4} \frac{1}{r} \frac{\partial^2 I}{\partial t^2} \quad (2)$$

olacak şekilde kaynağın indirgenmiş kuadropol momenti I' 'ya ve kaynağa olan r uzaklığına da bağlıdır. Burada G Newton'un kütleçekim sabitidir. Bu ifadedeki $\frac{2G}{c^4} = 1.6 \times 10^{-44} s^2 kg^{-1} m^{-1}$ çarpanı kütleçekim dalga genliği için çok küçük değerler verir. Sadece büyük ivmeli ve büyük kuadropol momente sahip birleşik kozmik nesnelere bunu dengeleyebilir. Fakat yaklaşık 10 kiloparsek'lik bir uzaklıkta, Samanyolu galaksisindeki süpernova patlaması gibi şiddetli olaylar bile yaklaşık 10^{-20} değerinde bir genlik oluşturur. Yine Samanyolu galaksisinde yer alan, kütleleri yaklaşık olarak güneşin kütlelerinin 1,4 katı olan ikili nötron yıldızının birleşmesi durumunda $h = 10^{-19}$ değerini bulmak umulabilir. Fakat bu tür olaylar çok nadir olaylardır. Bu yüzden kütleçekim dalga detektörlerinin komşu galaksilere ulaşacak kadar bir duyarlılığa sahip olmaları gerekmektedir [28-30]. Kozmolojik evrende kütleçekim ışımasının ya da kütleçekim dalgalarının yayılması aşağıda bahsedilecek olaylar sonucu gerçekleşmektedir [31-34].

2.1. Patlamalar

Burada söz konusu patlamaların olası kaynakları bizim galaksimiz ve diğer galaksilerdeki süpernovaların çöken ve sıçrayan merkezleri, karadeliklerin özellikle de büyük kütleli olanların olduğu anlardır. Karadelikler arasındaki birleşmeyle sonuçlanan çarpışmalar, karadelikler ile küresel kümelerdeki, galaktik çekirdeklerdeki ve kuasarlardaki (kuasarlar galaksi dışındaki yıldızsı gök cisimleridir) nötron yıldızları arasındaki çarpışmalar sonucu gerçekleşen olaylardır. Ayrıca daha önce sözünü ettiğimiz PSR 1913+16 olarak adlandırılan ikili pulsar (atarca) arasında olduğu gibi, atarcaların birleşmeleri ve yekpare bir şekilde helisel yörüngede hareket etmeleri de kütleçekim dalgalarını oluştururlar.

2.2. Periyodik dalgalar

Bu dalgaların olası kaynakları ikili yıldız sistemleri, dönen şekli bozulmuş beyaz cüceler ve nova patlamalarını takiben beyaz cücelerin titreşimleridir.

2.3. Stokastik (rastgele) kaynaklar

Bu kaynaklar ise büyük patlamanın sıcak zamanlarını, evrenin erken dönemlerindeki homojen olmayan durumları ve galaksiler şekillenmeden önce oluşan popülasyon III yıldızlarından sonra oluşan karadelikleri içerirler.

3. DETEKTÖR ÇEŞİTLERİ

Genliğinin çok küçük olması nedeniyle ilk sözü edildiğinde ölçülemeyeceği düşünülen kütleçekim dalgalarının algılanabilmesi için tarihsel süreç içerisinde J. Weber'in "Weber çubukları" tasarımının yanısıra iki tür detektör daha geliştirilmiştir. Bunlar "Lazer Girişimölçerleri" ve "Uzay aracıyla izleme" dir [35-40].

3.1. Çınlanımlı kütle detektörleri

Bir kütleçekim dalgası katı ve geniş bir nesne üzerine, nesneyi genişletecek ve sıkıştırarak şekilde gelgit kuvveti gibi etki eder. Dolayısıyla çınlanımlı kütle detektörleri l uzunluklu (ya da yarıçaplı) elastik katı bir cisim gibi kütleçekim dalgası tarafından çınlanımına uğratılacak mekaniksel çınlanımcı kullanırlar [41-44]. Kütleçekim dalgasının aniden ortaya çıkması durumunda kütlelenin uçlarının yer değiştirmesi 1000 kg 'lık bir kütle ve $l \approx 1 \text{ m}$ için [29]:

$$\delta l_{kd} \approx hl \approx 10^{-21} \text{ m} \quad (3)$$

şeklinde olacaktır. Kütlelenin esnek titreşimleri, yer değiştirmeyi yükseltmiş bir elektrik sinyaline dönüştüren bir dönüştürücü yardımıyla ölçülür. Sıklıkla anten aşağıdaki şekilde verilen "etkin" bir sıcaklıkla karakterize edilir:

$$T_{\text{etk}} = \left(\frac{T}{\beta Q}\right) + 2T_G \quad (4)$$

bu formülde kT_{etk} ölçülebilen minimum enerjidir, β dönüştürücünün etkinliğidir (ya da çiftlenim katsayısı), yani elektriksel enerji ve mekaniksel titreşim enerjisinin birbirine oranıdır, T_G 'de dönüştürücünün gürültü sıcaklığıdır [23, 36].

Eşitlik 3. formülüyle verilen son derece küçük kütleçekim dalga genliğinin ölçülmesinde sorun yaratacak olan başlıca gürültü kaynakları aşağıdaki gibidir.

Bunlardan biri ısısal gürültü olup, bu gürültü titreşiminin Brownian hareketinden kaynaklanır. Detektör duyarlılığına olan olumsuz etkiden kurtulmak için $T \approx 0.1 \text{ K}$ 'e kadar soğutulan çınlanımcılar kullanılmaktadır [42, 45].

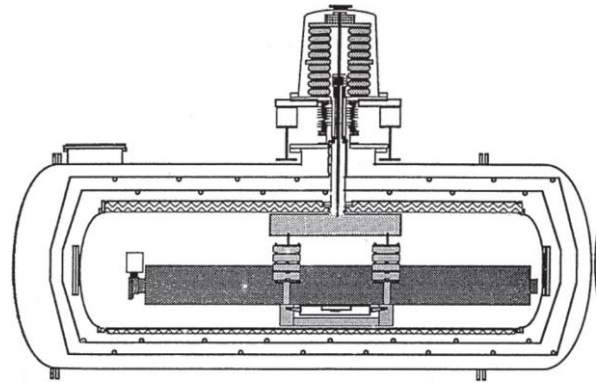
Diğeri sensör gürültüsü olup, burada dönüştürücüler gürültü üretir. Dönüştürücünün frekans bant aralığı en azından $\Delta f \approx 1/\tau_{kd}$ kadar olmalıdır, burada τ_{kd} sinyalin devam süresidir, tipik bir kütleçekim dalgası patlaması için bu süre 1 ms kadardır. Dolayısıyla dönüştürücülerin bant aralığı 100 'lerce Hz olmalıdır [41].

Bir diğeri de kuantum sınırı olup, Heisenberg belirsizlik ilkesine göre, bir çınlanımcının sıfır-nokta titreşimleri de bir gürültü kaynağı olarak dikkate alınmalıdır. Bu gürültünün genliği aşağıdaki formülle verilir [46]:

$$\langle \delta l^2 \rangle_{ku}^{1/2} = \left(\frac{h}{4\pi M f_0}\right)^{1/2} \approx 4 \times 10^{-21} \text{ m} \quad (5)$$

burada f_0 çınlanımcının çınlanım frekansdır. h Planck sabitidir, M çınlanımcının kütesidir. Kütleçekim gradyen gürültüsü ise, Dünya üzerindeki insanların hareketleri, kara-hava ulaşım araçları hareketleri ve yine dünya üzerindeki kayaların sismik hareketleri bu gürültünün kaynaklarıdır. Uzayda konuşlandırılan detektörler de bu gürültülerden kurtulmak için düşünülmektedirler.

Joseph Weber'in 1960'larda Samanyolu'nun merkezindeki kütleçekim dalgalarını ölçme amacıyla tasarladığı "çınlanımlı kütle detektörü" (ya da diğer adıyla Weber çubukları) bu amacı gerçekleştirmedi ama detektör araştırmaları yapan grupların yolunu açtı [11]. Çubuk detektörleri dar-bant detektörleriydi, belirli bir frekansa ayarlanmaları gerekmekteydi. Çubuklar alimünyum, silikon ve niyobyumdan yapılıyorlardı. Çeşitli dünya kaynaklı gürültü kaynaklarından yalıtılıyor ve 2 K ya da daha az sıcaklığa kadar soğutuluyorlardı. Weber'in tekniği geniş bir Al silindirin rastgele maruz kalacağı deformasyonu (ısımanın sonucunda uğrayacağı deformasyonu) ölçmeyi içeriyordu. Kütleçekim dalgasına maruz kaldığında silindirin boyuna (eksenel) titreşim kipleri uyarılmaktadır. Şekil 1 de görüldüğü gibi, tipik bir "çubuk detektör" 3 m lik bir uzunluğa 1000 kg lık bir kütle ve yaklaşık 1 kHz lik bir çınlanım frekansına sahiptir. Sıvı Helyum sıcaklığında çalıştırılmaktadır ve titreşimler çok düşük gürültülü bir dc SQUID yükselticisi ile çiftlenimli bir çınlanım dönüştürücü (mikrodalga kovuğu) yardımıyla algılanmaktadır.



Şekil 1. Kriyojenik bir çınlanımlı çubuk detektörün enine kesiti [20, 29].

Dünya üzerinde çeşitli yerlerde konuşlanmış, yukarıda bahsedilen detektör tipini kullanan çeşitli gözlemevleri vardır. ALLEGRO 1991'de Los Angeles Amerika Birleşik Devletlerindeki Louisiana Eyalet Üniversitesinde 2296 kg 'lık Alüminyum antene sahip, 4.2 K 'e kadar soğutulmuş bir detektör olarak kurulmuştur [47]. 1991'den 2008'e kadar çalıştırılmıştır. AURIGA 1997'de Padova İtalya'daki Legnaro' da kurulmuştur [48]. Bu detektör de artık çalışmalarını sürdürmemektedir. EXPLORER 1984'te Roma Grubu tarafından Cenevre, İsviçre'deki CERN'de kurulmuştur [49]. Detektör 2.5 K 'e kadar soğutulmuş 2270 kg 'lık Alüminyum bir detektördür. EXPLORER, kozmik ışın sağanağıyla çubuk detektörün, akustik uyarılma yoluyla etkileşmesini sağlamak üzere kozmik ışın detektörleriyle donatılmıştır. NAUTILUS Roma grubu tarafından İtalya'daki Frascati'de 1995'te kurulmuştur [50].

NAUTILUS da kozmik ışın detektörleriyle donatılmıştır. NIOBE Batı Avustralyada Perth'de 1995'ten beri kuruludur [51]. Detektör olarak Alüminyum yerine Nyobiyum kullanılmaktadır. Yukarıda bahsi geçen Çubuk Detektörlerinin bazıları çalışmalarını durdurmuştur. Hala çalışanlar IGEC (International Gravitational Event Collaboration) çatısı altında çalışmalarına devam etmektedirler [52].

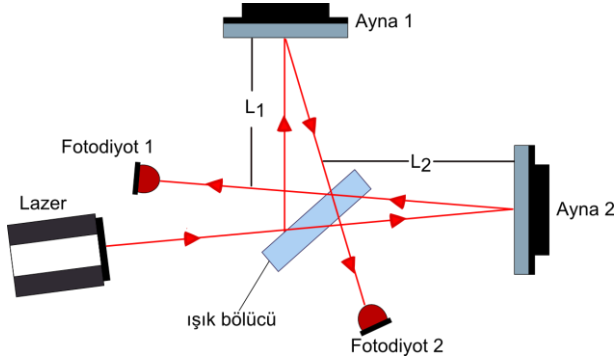
3.2. Lazer girişimölçerli detektörler

Yine 1960'ların başında ABD Caltech'den (Californiya Teknik Enstitüsü) Kip Thorne'un kütleçekim dalgalarının ölçülebileceğine dair çalışmalarıyla ve 1970'lerden itibaren Caltech ve MIT'ten (Massachusetts Teknoloji Enstitüsü, ABD) Barry C. Barish, Rainer Weiss'in ortak çalışmalarıyla Lazer Girişimölçerli Kütleçekim dalga detektörlerinin prototipi oluşturuldu [19, 39, 53-55]. Thorne, Barish ve Weiss 2017'de bu çalışmadan ötürü Nobel ödülünü aldılar [56].

Şekil 2 de görüldüğü gibi, bu detektör türü daha geniş bir bant aralığına sahiptir ve dalganın genliğinin $h(t)$ şeklindeki zamana bağlılığını ayrıntılı inceleyecek kadar bir frekans aralığını kapsayabilmektedir. Bir girişimölçerinin basit bir şeması aşağıdaki şekilde gibidir [11]. Bu tür detektörlerin duyarlılığı:

$$h = \frac{\Delta(L_1 - L_2)}{L_1}, \quad (6)$$

şeklinde verilir. Burada Δ kütleçekim dalgalarının varlığından kaynaklanan değişimi göstermektedir.



Şekil 2. Lazer girişimölçerli bir kütleçekim dalga detektörünün basit şeması [57].

Ayrıca düşük frekanslarda dünya üzerindeki hareketlilikten (insanların hareketleri, kara-hava ulaşım araçları vs hareketleri) kaynaklanan gürültüleri yok etmek imkânsız değilse bile zor olmaktadır. Bundan kurtulabilmek için uzayda konuşlandırılan detektörler tasarlanmıştır [58-60]. Detektörler uzaydaki istasyonlarda ya da uzay araçlarına konuşlandırılırlar.

3.3. LIGO ve diğer gözlemleri

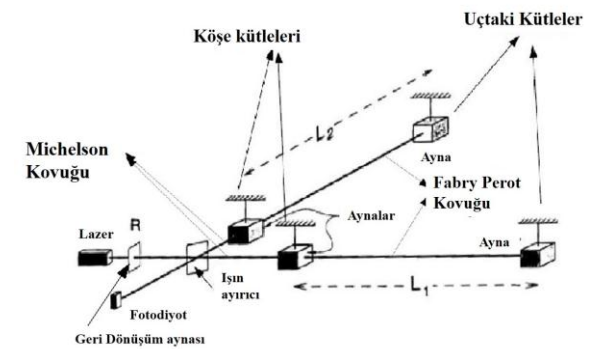
LIGO (Laser Interferometer Gravitational Waves Observatory)'nun yapısı Şekil 3 'te görüldüğü gibi Michelson Girişimölçerini temel almaktadır [61, 62].

Bilindiği üzere, 1887'de Albert Michelson ve Edward Morley tarafından eter teorisinin geçerli olduğunu

ispatlamak için adlarıyla anılan Girişimölçerli deneyi tasarlamışlar, fakat eter'in varlığını ispatlayamamışlardır [63]. Lazer girişimölçerinde de aynı temel ilke kullanılmaktadır. Uzayda gerçekleşen bir kütleçekim dalgası girişimölçere ulaştığında uzayı bir yönde uzatırken diğer yönde sıkıştırır [28, 64]. Farklı noktalar arasında seken lazerlerin girişimini ölçerek aradaki uzayın uzadığı mı yoksa sıkıştığı mı çok net olarak ölçülebilir. Bu iş yüksek derecede duyarlılık gerektirir. Michelson girişimölçeri ile Lazer girişimölçeri arasındaki temel benzerlikler aşağıdaki şekildedir.

İkisi de L şeklindedir. İkisi de kolların uçlarında aynalara sahiptirler. Bunlar ışık demetlerini birleştirmek için ışığı yansıtıma yararlar. Böylece bir girişim deseni oluşturulur. Her ikisi de iki demetin üst üste binmesi sağlandıktan sonra sonuçta elde edilen ışık demetinin yoğunluğunu ve desenlerini ölçerler. Ortak yönleri yalnızca bunlardır. Hem yapı hem de karmaşıklık açısından LIGO, Michelson Girişimölçerlerinin çok ötesindedir. Örneğin, kolları 4 km uzunluğundadır (Michelson-Morley deneyinde kullanılanın 360 katı uzunluğundadır). Kollar ne kadar uzun olursa, lazer o kadar uzağa gider. Kol uzunluğundaki bir değişiklik ölçümü, bir protonun 1000 kez daha küçüktür.

Uzay araçlarını kullanmak, kol uzunluklarını 50000 veya 5 milyon km'ye kadar uzatarak frekans aralığını genişletecektir. Kollar ne kadar uzun olsa da kütleçekim dalgaları kadar küçük genlikli niceliklerin ölçülebilmesi, aynalar (Fabry-Perot kovukları ya da girişimölçerleri) ve güç geri dönüşümlü Lazerler kullanılarak sağlanmaktadır. Fabry-Perot girişimölçeri duran dalga çınlanımlı, yüksek yansıtma gücüne sahip ince aynalardan oluşur [65, 66]. Böylece LIGO'nun girişimölçer kolları 1120 km uzunluğuna ulaştırılır. LIGO'nun duyarlılığını arttırmak için Lazer gücü de önemlidir.



Şekil 3. Lazer girişimölçerli detektörün (LIGO) şeması [14].

Kolları uzatmak girişimölçerinin titreşimlere duyarlılığını artırırken, lazer gücünü artırmak çözünürlüğünü artırmaktadır. Bu işlem de yine "daha fazla ayna" kullanarak sağlanmaktadır. Bu teknik "Güç Geri dönüşümü" olarak adlandırılır [29].

Daha önce bahsedildiği gibi kütleçekim dalgalarının olası kaynaklarından bazıları nötron yıldızları ve karadeliklerin birleşmeleridir [67-69]. Karadelik

birleşmeleri en net kütleçekim dalgaları sinyalleri sağlar. Böyle birleşmeler her galaksi başına 1000 yılda bir gerçekleşme sıklığına sahiptir. Bu yüzden çok sayıda galaksiyi tarayacak girişimölçerlere ihtiyaç vardır. Bu gereksinimi karşılamak üzere LIGO ve benzeri birçok gözlemevi yerküre üzerinde kurulmuşlardır.

Advanced (Geliştirilmiş) LIGO Amerika Birleşik Devletleri'nde Hanford (Washington) ve Livingston'da (Louisiana) yer almaktadır. Advanced LIGO 2001'de kurulan LIGO'nun geliştirilmiş bir sürümüdür [30, 70]. GEO600 2001'den beri Almanya-İngiltere işbirliğinde Hannover (Almanya) yakınındaki Ruthe'de çalıştırılmaktadır [71, 72]. Kolları kısadır (3 km uzunluğu), "Sinyal Geridonüşümü" tekniğini kullanan ilk detektördür. VIRGO Pisa (İtalya) kenti yakınındaki Cascina'da yer almaktadır [73, 74]. TAMA300 1999'dan beri Tokyo'da (Japonya) işletilmektedir [75, 76]. LISA (Laser Interferometer Space Antenna) çok düşük frekanslardaki (10^{-4} - 1 Hz) kütleçekim dalga spektrumunun keşfini sağlaması planlanan bir uzay görevidir [77, 78]. Avrupa Uzay Ajansı (ESA) ile NASA iş birliğinde sürdürülmektedir.

4. SONUÇ

Kütleçekim dalgalarını ölçmek üzere Dünya üzerinde araştırma grupları küresel iş birliği içerisinde çalışmalarını sürdürmektedirler. Bunlar iki ana grup şeklinde olup, aşağıda açıklanmıştır.

IGEC (International Gravitational Event Collaboration): "Uluslararası Kütleçekim Olgusu İş Birliği" 1997'de kurulmuştur. İşletilmekte olan bütün çubuk detektörleri bu çatı altında bağlantılıdır. Bu grup tarafından Kütleçekim dalgalarının algılanmasına dair istatistiksel bir kanıt henüz bulunamamıştır [79-83].

LSC (LIGO Scientific Collaboration): Bu grup yine 1997'de kurulmuştur. Lazer Girişimölçerli detektörlerle gözlem yapan LIGO, Virgo, GEO600 gibi gözlemevleri arasında gerçekleştirilen iş birliğidir. Bu işbirliğinde; ikili nötron yıldızı birleşmelerinden kaynaklanan sarmal olmayan sinyal araştırılması, hızlıca dönen bir atarcadan yayılan düzenli dalgaların araştırılması, bilinmeyen kaynaklı kısa patlamaların araştırılması, kozmolojik başlangıcın stokastik arkaplan araştırılması gibi analizler gerçekleştirilmektedir [84, 85].

Bu iş birliklerinin kurulması ve sürdürdükleri çalışmaların sonucunda; A. Einstein'ın 1916'daki öngörüsünden yaklaşık 100 yıl kadar sonra, 14 Eylül 2015'te LIGO ve Virgo (LSC) Gözlemevlerindeki bilim insanlarının iş birliğiyle bir kütleçekim dalga sinyalinin gözlemlendiği duyuruldu [86-88]. Sinyalin 35 ile 250 Hz arasında bir frekansa ve 1.0×10^{-21} genliğe sahip olduğu ölçüldü. Bu ölçüm, dünyadan 1,3 milyar ışık yılı uzaktaki bir çift karadeliğin çarpışıp kaynaşması sonucu oluşan tek karadeliğin yaydığı genel görelilikçe öngörülen kütleçekim dalgasıyla uyumlu bir dalgayı tespit etmiş oldu. Birleşmeden önceki karadeliğlerden birinin kütlesi, Güneşin kütlesinin 36 katı, diğeri 29 katıydı. Bu gözlem evrende ikili Karadelik

birleşmelerinin ve bunun sonucunda kütleçekim dalgalarının oluştuğunun doğrudan kanıtı olmuştur.

Şimdiye kadar yapılan gözlemler; kozmolojik evrende gerçekleşen olayların, var olan oluşumların yaydığı elektromanyetik ışımının algılanmasıyla gerçekleştirilmekteydi. Elektromanyetik ışımının temel alındığı detektörlere ek olarak kütleçekim dalgalarının algılanmasına yönelik çalışmalar, kozmolojik evrenin kararlık madde ve negatif enerjili oluşumlarını ve en erken evren (oluşumundan 10^{-21} saniye sonrasına kadar) hakkındaki bilgilerimizi arttıracaktır. Büyük Patlama teorisine göre patlamadan sonra 380 bin yıl boyunca elektromanyetik ışım olmamıştır [89, 90]. Bu dönem 'opak dönem' olarak adlandırılmaktadır. Evrenin başlangıcının bu zamanlarına dair elektromanyetik gözlem yoktur. Kütleçekim dalgalarının ölçülebilmesiyle bu dönem aydınlatılabilecektir. Yukarıda sözü edilen gözlem Karadelik parametrelerinin yüksek doğrulukla tespiti konusunda da faydalı olmuştur. Dolayısıyla kütleçekim dalga profiline doğru biçimde oluşturulması veya elektromanyetik gözlemlerle elde edilen verilerin doğrulanması karadeliğlerin ve karadelik çarpışmalarının daha kapsamlı incelenmesini sağlayacaktır [35, 91-93]. Milenyumun başlangıcından beri, özellikle Lazer girişimölçerli detektörlerin teknolojik gelişimi ve 2015'te gerçekleştirilen bu gözlem ve arkasından gelen 2017'deki ikili nötron yıldızı çarpışması sonucu ortaya çıkan dalgaların ölçülmesi, astronomik gözlemlerde kütleçekim dalgaları detektörlerinin devreye girmesini sağlayarak yeni bir pencere açmış ve yeni bir çağ başlatmıştır. Ayrıca, bu pencere insanoğlunun evrenin oluşumuna dair daha fazla kanıt ulaşmasını da sağlayabilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] Einstein A. Approximative integration of the field equations of gravitation. Sitzungsber Preuss Akad Wiss Berlin (Math Phys). 1916;1916(688-696):1.
- [2] Einstein A. About Gravity Waves. Sitzungsber Preuss Akad Wiss Berlin (Math Phys). 1918:154.
- [3] Flanagan EE, Hughes SA. The basics of gravitational wave theory. New Journal of Physics. 2005;7(1):204.
- [4] Woodhouse N. Gravitational Waves. General Relativity. 2007:145-56.
- [5] Schwarzschild K. On the gravitational field of a point mass in Einstein's theory. Reimer, Berlin, S. 1916.
- [6] Crothers SJ. A brief history of black holes. Progress in Physics. 2006;2:54.
- [7] Kerr RP. Gravitational field of a spinning mass as an example of algebraically special metrics. Physical review letters. 1963;11(5):237.
- [8] Kerr R. Scalar invariants and groups of motions in a four dimensional Einstein space. Journal of Mathematics and Mechanics. 1963:33-54.
- [9] d'Inverno RA. Introducing Einstein's relativity: Clarendon Press; 1992.
- [10] Pitkin M, Reid S, Rowan S, Hough J. Gravitational wave detection by interferometry (ground and space). Living Reviews in Relativity. 2011;14(1):5.

- [11] Weber J. Evidence for discovery of gravitational radiation. *Physical Review Letters*. 1969;22(24):1320.
- [12] Hulse RA, Taylor JH. Discovery of a pulsar in a binary system. *The Astrophysical Journal*. 1975;195:L51-L3.
- [13] Damour T. 1974: the discovery of the first binary pulsar. *Classical and Quantum Gravity*. 2015;32(12):124009.
- [14] Seeds MA, Backman D. *Horizons: Exploring the universe*: Nelson Education; 2013.
- [15] Collins H. *Gravity's shadow: the search for gravitational waves*: University of Chicago Press; 2010.
- [16] Davies PCW, Davies G. *The search for gravity waves*: CUP Archive; 1980.
- [17] Schutz BF. *Gravitational wave sources and their detectability*. *Classical and Quantum Gravity*. 1989;6(12):1761.
- [18] Andersson N, Ferrari V, Jones D, Kokkotas K, Krishnan B, Read J, et al. Gravitational waves from neutron stars: promises and challenges. *General Relativity and Gravitation*. 2011;43(2):409-36.
- [19] Thorne KS. Gravitational-wave research: Current status and future prospects. *Reviews of Modern Physics*. 1980;52(2):285.
- [20] Blair DG. *The detection of gravitational waves*: Cambridge university press; 2005.
- [21] Hughes SA. Listening to the universe with gravitational-wave astronomy. *Annals of Physics*. 2003;303(1):142-78.
- [22] Raab FJ. Progress Toward a Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory. APS. 1996:G5.02.
- [23] Abbott B, Abbott R, Adhikari R, Ageev A, Allen B, Amin R, et al. Detector description and performance for the first coincidence observations between LIGO and GEO. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. 2004;517(1-3):154-79.
- [24] Cho A. To catch a wave. *American Association for the Advancement of Science*; 2015.
- [25] Sanjuan J, Mueller G, Livas J, Preston A, Arsenovic P, Castellucci K, et al. LISA telescope spacer design investigations. *cosp*. 2010;38:10.
- [26] Moore CJ, Cole RH, Berry CP. Gravitational-wave sensitivity curves. *Classical and Quantum Gravity*. 2014;32(1):015014.
- [27] Easther R, Lim EA. Stochastic gravitational wave production after inflation. *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*. 2006;2006(04):010.
- [28] Saulson PR. *Fundamentals of interferometric gravitational wave detectors*: World Scientific; 1994.
- [29] Aufmuth P, Danzmann K. Gravitational wave detectors. *New Journal of Physics*. 2005;7(1):202.
- [30] Harry GM, Collaboration LS. Advanced LIGO: the next generation of gravitational wave detectors. *Classical and Quantum Gravity*. 2010;27(8):084006.
- [31] Owen BJ, Lindblom L, Cutler C, Schutz BF, Vecchio A, Andersson N. Gravitational waves from hot young rapidly rotating neutron stars. *Physical Review D*. 1998;58(8):084020.
- [32] Gogoberidze G, Kahniashvili T, Kosowsky A. Spectrum of gravitational radiation from primordial turbulence. *Physical Review D*. 2007;76(8):083002.
- [33] Smartt SJ. Progenitors of core-collapse supernovae. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*. 2009;47.
- [34] Malbon RK, Baugh C, Frenk C, Lacey C. Black hole growth in hierarchical galaxy formation. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 2007;382(4):1394-414.
- [35] Konoplya R, Zhidenko A. Detection of gravitational waves from black holes: Is there a window for alternative theories? *Physics Letters B*. 2016;756:350-3.
- [36] Abbott B, Abbott R, Adhikari R, Ajith P, Allen B, Allen G, et al. LIGO: the laser interferometer gravitational-wave observatory. *Reports on Progress in Physics*. 2009;72(7):076901.
- [37] Danzmann K, Chen J, Nelson P, Niebauer T, Rüdiger A, Schilling R, et al. The GEO—project a long-baseline laser interferometer for the detection of gravitational waves. *Relativistic Gravity Research with Emphasis on Experiments and Observations*: Springer; 1992. p. 184-209.
- [38] Estabrook FB, Wahlquist HD. Response of Doppler spacecraft tracking to gravitational radiation. *General Relativity and Gravitation*. 1975;6(5):439-47.
- [39] Thorne KS, Braginskii V. Gravitational-wave bursts from the nuclei of distant galaxies and quasars-Proposal for detection using Doppler tracking of interplanetary spacecraft. *The Astrophysical Journal*. 1976;204:L1-L6.
- [40] Bertotti B, Carr B. The prospects of detecting gravitational background radiation by Doppler tracking interplanetary spacecraft. *The Astrophysical Journal*. 1980;236:1000-11.
- [41] Fafone V. Resonant-mass detectors: status and perspectives. *Classical and Quantum Gravity*. 2004;21(5):S377.
- [42] Michelson PF, Taber RC. Can a resonant-mass gravitational-wave detector have wideband sensitivity? *Physical Review D*. 1984;29(10):2149.
- [43] Aguiar OD. Past, present and future of the Resonant-Mass gravitational wave detectors. *Research in Astronomy and Astrophysics*. 2011;11(1):1.
- [44] Astone P. Resonant mass detectors: present status. *Classical and Quantum Gravity*. 2002;19(7):1227.
- [45] Boughn SP, Fairbank W, Mapoles E, McAshan M, Michelson P, Giffard R, et al. Observations with a low-temperature, resonant mass, gravitational radiation detector. *The Astrophysical Journal*. 1982;261:L19-L22.
- [46] Hollenhorst JN. Quantum limits on resonant-mass gravitational-radiation detectors. *Physical Review D*. 1979;19(6):1669.
- [47] Astone P, Bassan M, Bonifazi P, Carelli P, Coccia E, Cosmelli C, et al. Search for gravitational

- radiation with the Allegro and Explorer detectors. *Physical review D*. 1999;59(12):122001.
- [48] Cerdonio M, Bonaldi M, Carlesso D, Cavallini E, Caruso S, Colombo A, et al. The ultracryogenic gravitational-wave detector AURIGA. *Classical and Quantum Gravity*. 1997;14(6):1491.
- [49] Astone P, Bassan M, Bonifazi P, Carelli P, Castellano M, Cavallari G, et al. Long-term operation of the Rome" Explorer" cryogenic gravitational wave detector. *Physical Review D*. 1993;47(2):362.
- [50] Astone P, Bassan M, Bonifazi P, Carelli P, Coccia E, Cosmelli C, et al. The gravitational wave detector NAUTILUS operating at T= 0.1 K. *Astroparticle Physics*. 1997;7(3):231-43.
- [51] Astone P, Bassan M, Blair D, Bonifazi P, Carelli P, Coccia E, et al. Search for coincident excitation of the widely spaced resonant gravitational wave detectors EXPLORER, NAUTILUS and NIOBE. *Astroparticle Physics*. 1999;10(1):83-92.
- [52] Astone P, Babusci D, Bassan M, Bonifazi P, Carelli P, Cavallari G, et al. Study of the coincidences between the gravitational wave detectors EXPLORER and NAUTILUS in 2001. *Classical and Quantum Gravity*. 2002;19(21):5449.
- [53] Thorne KS, Will CM. Theoretical frameworks for testing relativistic gravity. I. Foundations. *The Astrophysical Journal*. 1971;163:595.
- [54] Weiss R. Gravitational radiation. *Reviews of Modern Physics*. 1999;71(2):S187.
- [55] Barish BC, Weiss R. LIGO and the detection of gravitational waves. *Physics Today*. 1999;52:44-50.
- [56] Castelvechi D. Gravitational wave detection wins physics Nobel. *Nature News*. 2017;550(7674):19.
- [57] Drever R, Hought J, Munley A, Lee S-A, Spero R, Whitcomb S, et al. Gravitational wave detectors using laser interferometers and optical cavities: Ideas, principles and prospects. *Quantum Optics, Experimental Gravity, and Measurement Theory*: Springer; 1983. p. 503-14.
- [58] Luo J, Chen L-S, Duan H-Z, Gong Y-G, Hu S, Ji J, et al. TianQin: a space-borne gravitational wave detector. *Classical and Quantum Gravity*. 2016;33(3):035010.
- [59] Bartolo N, Caprini C, Domcke V, Figueroa DG, Garcia-Bellido J, Guzzetti MC, et al. Science with the space-based interferometer LISA. IV: Probing inflation with gravitational waves. *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*. 2016;2016(12):026.
- [60] Caprini C, Hindmarsh M, Huber S, Konstandin T, Kozaczuk J, Nardini G, et al. Science with the space-based interferometer eLISA. II: Gravitational waves from cosmological phase transitions. *Journal of cosmology and astroparticle physics*. 2016;2016(04):001.
- [61] Spero R, Whitcomb S. The laser interferometer gravitational-wave observatory (LIGO). *Optics and Photonics News*. 1995;6(7):35-9.
- [62] Abramovici A, Althouse WE, Drever RW, Gürsel Y, Kawamura S, Raab FJ, et al. LIGO: The laser interferometer gravitational-wave observatory. *science*. 1992;256(5055):325-33.
- [63] Michelson AA, Morley EW. On the Relative Motion of the Earth and of the Luminiferous Ether. *Sidereal Messenger*, vol 6, pp 306-310. 1887;6:306-10.
- [64] Accadia T, Acernese F, Alshourbagy M, Amico P, Antonucci F, Aoudia S, et al. Virgo: a laser interferometer to detect gravitational waves. *Journal of Instrumentation*. 2012;7(03):P03012.
- [65] Rakhmanov M, Romano J, Whelan JT. High-frequency corrections to the detector response and their effect on searches for gravitational waves. *Classical and Quantum Gravity*. 2008;25(18):184017.
- [66] Ando M, Arai K, Takahashi R, Heinzl G, Kawamura S, Tatsumi D, et al. Stable operation of a 300-m laser interferometer with sufficient sensitivity to detect gravitational-wave events within our galaxy. *Physical Review Letters*. 2001;86(18):3950.
- [67] Zhang B. Early X-ray and optical afterglow of gravitational wave bursts from mergers of binary neutron stars. *The Astrophysical Journal Letters*. 2013;763(1):L22.
- [68] Voss R, Tauris TM. Galactic distribution of merging neutron stars and black holes—prospects for short gamma-ray burst progenitors and LIGO/VIRGO. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 2003;342(4):1169-84.
- [69] Thorne KS. Probing black holes and relativistic stars with gravitational waves. *Black Holes And The Structure Of The Universe*: World Scientific; 2000. p. 81-118.
- [70] Fritschel P. Advanced LIGO systems design. *LIGO Tech Note T-010075-00-D*, <http://docuser.v.ligo.caltech.edu>. 2001.
- [71] Rüdiger A, Danzmann K. The GEO 600 Gravitational Wave Detector Status, Research, Development. *Gyros, Clocks, Interferometers: Testing Relativistic Gravity in Space*: Springer; 2001. p. 131-40.
- [72] Willke B, Aufmuth P, Aulbert C, Babak S, Balasubramanian R, Barr B, et al. The GEO 600 gravitational wave detector. *Classical and Quantum Gravity*. 2002;19(7):1377.
- [73] Acernese F, Agathos M, Agatsuma K, Aisa D, Allemandou N, Allocca A, et al. Advanced Virgo: a second-generation interferometric gravitational wave detector. *Classical and Quantum Gravity*. 2014;32(2):024001.
- [74] Bradaschia C, Del Fabbro R, Di Virgilio A, Giazotto A, Kautzky H, Montelatici V, et al. The VIRGO project: a wide band antenna for gravitational wave detection. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. 1990;289(3):518-25.
- [75] Tsubono K, editor 300-m laser interferometer gravitational wave detector (TAMA300) in Japan. *First Edoardo Amaldi conference on gravitational wave experiments*; 1995: World Scientific.
- [76] Takahashi R, collaboration T. Status of TAMA300. *Classical and Quantum Gravity*. 2004;21(5):S403.

- [77] Danzmann K, Team LS. LISA: laser interferometer space antenna for gravitational wave measurements. *Classical and Quantum Gravity*. 1996;13(11A):A247.
- [78] Hough J. LISA-Laser Interferometer Space Antenna for gravitational wave measurements. *gwe*. 1995:50.
- [79] Prodi G, Martinucci V, Mezzena R, Vinante A, Vitale S, Heng I, et al. Initial operation of the International Gravitational Event collaboration. *International Journal of Modern Physics D*. 2000;9(03):237-45.
- [80] Astone P, Babusci D, Baggio L, Bassan M, Blair D, Bonaldi M, et al. Methods and results of the IGEC search for burst gravitational waves in the years 1997–2000. *Physical Review D*. 2003;68(2):022001.
- [81] Astone P, Babusci D, Baggio L, Bassan M, Bignotto M, Bonaldi M, et al. Results of the IGEC-2 search for gravitational wave bursts during 2005. *Physical Review D*. 2007;76(10):102001.
- [82] Allen Z, Astone P, Baggio L, Busby D, Bassan M, Blair D, et al. First search for gravitational wave bursts with a network of detectors. *Physical review letters*. 2000;85(24):5046.
- [83] Whitcomb SE. Ground-based gravitational-wave detection: now and future. *Classical and Quantum Gravity*. 2008;25(11):114013.
- [84] Blackburn L, Cadonati L, Caride S, Caudill S, Chatterji S, Christensen N, et al. The LSC glitch group: monitoring noise transients during the fifth LIGO science run. *Classical and Quantum Gravity*. 2008;25(18):184004.
- [85] Gustafson E, Shoemaker D, Strain K, Weiss R. LSC white paper on detector research and development. LIGO Document T990080-00-D. 1999.
- [86] Collaboration LS, Collaboration V. GWTC-1: a gravitational-wave transient catalog of compact binary mergers observed by LIGO and Virgo during the first and second observing runs. *PHYSICAL REVIEW X Phys Rev X*. 2019;9:031040.
- [87] Abbott B, Abbott R, Abbott T, Abraham S, Acernese F, Ackley K, et al. GWTC-1: a gravitational-wave transient catalog of compact binary mergers observed by LIGO and Virgo during the first and second observing runs. *Physical Review X*. 2019;9(3):031040.
- [88] Abbott BP, Abbott R, Abbott T, Abernathy M, Acernese F, Ackley K, et al. Observation of gravitational waves from a binary black hole merger. *Physical review letters*. 2016;116(6):061102.
- [89] Fox KC. *The big bang theory: What it is, where it came from, and why it works*: John Wiley & Sons; 2002.
- [90] Linde A, Linde D, Mezhlumian A. From the Big Bang theory to the theory of a stationary universe. *Physical Review D*. 1994;49(4):1783.
- [91] Caprini C, Figueroa DG. Cosmological backgrounds of gravitational waves. *Classical and Quantum Gravity*. 2018;35(16):163001.
- [92] Bauswein A, Just O, Janka H-T, Stergioulas N. Neutron-star radius constraints from GW170817 and future detections. *The Astrophysical Journal Letters*. 2017;850(2):L34.
- [93] Carson Z, Seymour BC, Yagi K. Future prospects for probing scalar–tensor theories with gravitational waves from mixed binaries. *Classical and Quantum Gravity*. 2020;37(6):065008.



Sütçü İneklerde Neonatal Dönemde Anne ve Yavruya Gösterilecek Özen

Onur BAHAN¹, Ahmet GÖZER², Mustafa Kemal SARIBAY^{2*}, Emre KARSAVURANOĞLU²

¹ Yozgat Bozok Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Klinik Bilimler Bölümü, Veterinerlik Doğum ve Jinekolojisi Anabilim Dalı, Yozgat, Türkiye

² Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Klinik Bilimler Bölümü, Veterinerlik Doğum ve Jinekolojisi Anabilim Dalı, Hatay, Türkiye

Onur BAHAN ORCID No: 0000-0003-0878-6338

Ahmet GÖZER ORCID No: 0000-0001-8658-5916

Mustafa Kemal SARIBAY ORCID No: 0000-0002-9903-4942

Emre KARSAVURANOĞLU ORCID No: 0000-0002-9771-8750

*Sorumlu yazar: saribaymk@yahoo.com

(Alınış: 20.08.2020, Kabul: 09.03.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Anahtar Kelimeler
İnek,
Doğum,
Neonatal,
Buzağı,
Yönetim

Öz: Buzağılama zamanının başarılı bir şekilde yönetilmesinin amacı, normal bir doğum süreci sonunda canlı bir buzağı elde etmek ve ineğin kuru dönemden laktasyon dönemine sorunsuz bir şekilde geçişini sağlamaktır. Bu süreçte hayvanların konfor ve rahatı için uygun padokların hazırlanması gerekmektedir. Doğumdan hemen sonra şekillenmesi olası problemler en kısa sürede belirlenmelidir. Yüksek verimli sütçü sürülerde, inekler için doğumdan hemen sonra ve erken laktasyon döneminde özel bakım ve besleme şartları sağlanmalıdır. Periparturient enfeksiyöz hastalıkların çoğunluğu buzağılamadan sonraki ilk 2 hafta içinde meydana gelmektedir. Bu nedenle yeni doğum yapan ineklerin bu süre zarfında takip edilmeleri oldukça önemlidir. Bununla birlikte buzağı ölümlerinin önemli bir kısmı doğumdan sonraki ilk 24 saat içinde gerçekleşmekte olup, toplamda ortaya çıkan ölümlerin %75'inin ilk 7 günde olduğu ifade edilmektedir. Bu derlemede, doğum sürecinin genel yönetimi hakkında güncel bilgiler ele alınacaktır. Doğumdan sonra şekillenmesi olası problemlere yaklaşım, yeni doğum yapan ineklerin doğumdan hemen sonraki ve erken laktasyon dönemindeki beslenmesi, olası periparturient enfeksiyöz hastalıkların takibi, doğumdan hemen sonra buzağuların fiziksel muayenesi, ilk solunumun uyarımı ve göbek kordonu hijyeninin sağlanması kısaca açıklanacaktır.

298

The Care of Dam and Calf in Dairy Cows in Neonatal Period

Keywords
Cow,
Parturition,
Neonatal,
Calf,
Management

Abstract: The purpose of successful management of calving time is to obtain a live calf at the end of a normal calving period and to ensure smooth transition of the cow from dry period to lactating period. In this period, suitable paddocks should be prepared for the comfort and convenience of the cows. Possible problems that may occur immediately after birth should be identified as soon as possible. In high-yielding dairy herds, special care and feeding conditions should be provided for cows immediately after calving and in the early lactation period. Most of periparturient infectious diseases occur within the first 2 weeks after calving. Therefore, it is very important to follow up cows that give birth during this period. However, a significant portion of calf deaths occur within the first 24 hours after birth, and it is stated that 75% of the total deaths occur in the first 7 days. In this review, up-to-date information about the general management of the calving period will be discussed. Approach to possible problems that may occur after birth, feeding cows immediately after birth and in the early lactation period, monitoring of possible periparturient infectious diseases; physical examination, providing first respiratory stimulation and umbilical hygiene of calves immediately after birth will be briefly explained.

1. GİRİŞ

Buzağılama zamanının başarılı bir şekilde yönetilmesinin amacı, normal bir doğum süreci sonunda canlı bir buzağı elde etmek ve ineğin kuru dönemden laktasyon dönemine sorunsuz bir şekilde geçişini sağlamaktır [1]. Bununla birlikte yeni doğum yapan ineklerde yapılması gerekenler; hayvanların konfor ve rahatı için uygun padokların hazırlanması, uygun rasyonla besleme, bu dönemde belirleme ve tedavi protokolleri oluşturma olarak özetlenebilir [2].

Primipar inekler başta olmak üzere, ineklerde fetal-maternal boyut uyumsuzlukları ile ilişkili güç doğumlar şekillenebilmektedir. Bu sebeple doğumdan sonra yumuşak doğum kanalı travma, yırtık ve kanamalar yönünden dikkatle muayene edilmeli ve gerekli tedaviler yapılmalıdır [3,4]. İneklerin yavru zarlarnı yeme eğilimleri göz önünde tutularak atılan yavru zarlarnı hemen uzaklaştırılmalı, atılma süreci uzuyor ise hayvan yalnız bırakılırken başı kısa bağlanmalıdır. Yeni doğum yapan inekler aşırı sıcak, soğuk ve özellikle hava cereyanlarından korunmalı ve kolay sindirilebilir yemlerle beslenmelidirler. Doğumla birlikte laktasyonun başladığı göz önünde tutularak mineral maddeler ve A-D vitaminleri yönünden zengin rasyonların hazırlanması tavsiye edilmektedir [3].

Buzağılarda yaşamlarının ilk aylarında meydana gelen ölümlerin ana nedenleri arasında bakım, besleme, barındırma koşulları ve kolostrum alımında yapılan hatalardan kaynaklı, sindirim sistemi bozuklukları ve solunum yolları hastalıkları bulunmaktadır [5,6,7]. Genç buzağılarda meydana gelen hastalıklar, doğrudan buzağı kayıplarına sebep olabileceği gibi klinik enfeksiyon sonrası hayatta kalan buzağıların büyümeleri ve ilerleyen dönemlerde üreme fonksiyonları ve süt verimleri üzerinde uzun vadede kalıcı etkiler oluşturabilmektedir [8,9].

Sindirim ve solunum ile ilgili problemler başarılı bir buzağı yetiştiriciliğinin önündeki en büyük engellerdir. Neonatal dönemde buzağı ölümlerinin çoğu, enfeksiyöz hastalıklar (ishal, septisemi, pnömoni gibi) sonucu gerçekleşmektedir. Buna ilaveten enfeksiyöz olmayan problemler sonucu da ölümler meydana gelebilmektedir. Enfeksiyöz olmayan problemler sonucu meydana gelen ölümler doğumu takiben 2-3 gün içinde oluşmaktadır. Bu etmenler enfeksiyöz hastalıkların oluşumunda önemli risk faktörlerini oluşturmaktadır. Hipotermi ve hipoglisemi gibi fizyolojik problemler bunların en önemlileridir [10,11].

Buzağı bakımında en kritik dönem doğum sonrası ilk 24 saatlik süredir [12]. Gerek normal gerekse güç doğumlardan sonra buzağının yaşam şansını artırmak üzere; spontan solunumun kontrolüne, yavrunun beden ısısının uterus dışındaki (ekstrauterin) şartlara kolay uyum sağlayabilmesi için yardımcı olmaya (kurutmak, ılık bir yere taşımak, kolostrumu almasını sağlamak), göbek kordonunun bakımına, anomali ve travmaların kontrolüne özen gösterilmelidir [1,3].

Deneysel koşullar altında, kolostrumun ilk verilme zamanının ve kolostrum ile besleme metodunun buzağılardaki serum immünoglobulin düzeylerini önemli ölçüde etkilediği gösterilmektedir [8]. Bu nedenle buzağının doğumdan hemen sonra veya en geç 4 saat sonra yeterli miktarda ve kaliteli kolostrum alması, neonatal dönemde hastalıklara karşı pasif bağışıklığın geliştirilmesinde çok önemlidir [7].

Bu derlemede, doğum sürecinin genel yönetimi hakkında güncel bilgiler ele alınacaktır. Doğumdan sonra şekillenmesi olası problemlere yaklaşım, yeni doğum yapan ineklerin doğumdan hemen sonraki ve erken laktasyon dönemindeki beslenmesi, olası periparturient enfeksiyöz hastalıkların takibi, doğumdan hemen sonra buzağıların fiziksel muayenesi, ilk solunumun uyarımı ve göbek kordonu hijyeninin sağlanması kısaca açıklanacaktır.

2. YENİ DOĞUM YAPAN İNEKLERİN BAKIM VE BESLENMESİ

Doğum ister kendiliğinden isterse yardımla gerçekleşmiş olsun, yumuşak doğum kanalındaki kanamalara, yaralanmalara, yırtılmalara ve yer değiştirmelere (prolapsus ve invaginasyonlar) dikkat edilmeli, bu durumlar ile karşılaşıldığında ise vakit geçirmeden gerekli tedaviler yapılmalıdır. Doğumun ikinci aşaması kendiliğinden ya da müdahale ile gerçekleştiği halde, şiddetli uterus sancıları ve annenin huzursuzluğu devam ediyorsa, uterus yavru zarlarnın atılmaması (retensiyon sekundinarum) ve genital kanaldaki büyük ve derin yırtıklar yönünden dikkatlice muayene edilmelidir. Doğumdan sonra plasentanın yenmesi plasentofaji (placentophagia) olarak adlandırılır. Memelilerin büyük çoğunluğu, otçullar ve primatlar da dahil olmak üzere plasentayı tüketebilmektedir. Çoğu inek yavru zarlarnı yemek istediğinden doğumdan sonra yavru zarlarnın düşmesi takip edilerek ortamdan uzaklaştırılmalıdır. Yavru zarlarnın yenilmesi ot yiyenler için sindirim bozukluğu meydana getirdiği gibi, atılıp atılmadığı hususunda da tereddüt oluşturarak, yanlış uygulamalara sebep olabilmektedir. İneklerde yavru zarlarnın atılma süresi 12 saate kadar uzayabildiği için, atılmalarının takip edilmesi oldukça güçtür. Bu sebeple hayvanların, yavru zarlarnı düşene kadar, atılan yavru zarlarnı ulaşamayacakları şekilde kısa bağlanmaları önerilmektedir [13,14,15].

Yeni doğum yapan büyükbaş hayvanların terli olan vücutları havlu, bez ya da kuru ot yardımıyla kurulmalı, gerekli durumlarda üstleri bir örtü ile örtülmelidir. Doğumu izleyen ilk 8-10 gün soğuktan ve sıcaktan korunmalı, 2-3 gün soğuk su içirilmemelidir. Yeni doğum yapan bütün dişileri hava cereyanından korumak gerekmektedir. Doğum yapan hayvanlara sindirilmesi kolay, besin değeri yüksek kuvvetli yemlerin, yeterli miktarda verilmesi gerekmektedir. Laktasyona başlayan hayvanlara süt verimleri de göz önünde bulundurularak, uygun yemler hazırlanmalıdır [13]. Yeni doğum yapan ineklere, doğumdan hemen sonra içerisine tuz, kepek, buğday, yulaf veya arpa unu

ilave edilmiş en az 20 litre kadar ılık suyun veya kalsiyum propiyonat, potasyum klorit, magnezyum sülfat, sodyum klorit, maya kültürü ve propilen glikol içeren karışımın içirilmesi oldukça faydalıdır. Bu karışım ticari olarak da bulunmaktadır [2,13]. Bu karışımların doğumdan hemen sonra ılık su ile rumene verilmesi, doğumla birlikte yavru, yavru zarları ve sıvılarının uzaklaşması sonucu kaybedilen hacmin giderilmesini sağlamaktadır [2].

Yüksek verimli sütçü sürülerde, inekler doğumdan önce ve doğumdan sonra özel bakım ve beslemeye ihtiyaç duymaktadırlar. Buzağılamadan sonraki ilk 30 gün, inek sağlığı ve laktasyonun ekonomik başarısı için kritik bir öneme sahiptir. Yeni doğum yapan, erken laktasyon dönemindeki ineklerin süt verimlerinin artışına paralel olarak enerji ve protein gereksinimleri değişmektedir. Pik süt verimi genellikle buzağılamadan 50-60 gün sonra gerçekleşmektedir. Maksimum enerji eksikliği ise laktasyonun ilk 3 haftasında meydana gelmektedir. Bu nedenle, yeni doğum yapan ineklerin rasyonları, doğumuna 15-20 günden az kalan ineklere verilen rasyon ile en yüksek düzeyde süt veren ineklere verilen rasyon arasında bir rasyon olması gerekmektedir. Rumen fonksiyonunu korumak için iyi kaliteli 3-5 kg kaba yem yedirilmeli, yem tüketimindeki azalma göz önüne alınarak, rasyondaki konsantré yem miktarı artırılmalı, lifli gıdaları sindiren bakterilerin fonksiyonunu uyarmak için maya kültürü katkısı yapılmalı, rumen pH'ını sabit tutmak için bir tampon paketi eklenmeli, ketozisi en aza indirmek için niyasin (12 gr) katkısı yapılmalıdır [2,16].

Periparturient enfeksiyöz hastalıkların çoğunluğu buzağılamadan sonraki ilk 2 hafta içinde meydana gelmektedir. Bu süre zarfında rektal vücut ısısının izlenmesi, olası hastalıkların belirlenmesinde yardımcı olan başarılı bir yöntemdir. Dolayısıyla metritis, klinik mastitis gibi bazı enfeksiyon hastalıklarının erken teşhisi amacıyla vücut ısısının takibi günlük olarak yapılmalıdır [17]. Hayvanda aktivitenin azalması şiddetli klinik mastitis ve hipokalsemi gibi bozukluklarla ilişkili olabilir. Doğum yapan inekler, doğumdan hemen sonra kolostrum bölmesine alınmalı ve bu bölmede yaklaşık 48 saat tutulmalıdır. Daha sonra yaklaşık 10-21 gün süresince, 14 kadar inekten oluşan küçük gruplar halinde yeni doğum yapan bölmesinde tutulmalıdır. İnek, ana sürüye katılmadan önce gerekli muayeneden geçirilmeli, uterus involüsyon yönünden rektal muayene ile son kez kontrol edilmelidir [2].

3. DOĞUM SONRASINDA YAVRUNUN BAKIMI

Yönetim şartlarının iyi olduğu bir işletmede perinatal mortalitenin %1-3, neonatal mortalitenin %3 ve 1 aylıktan küçük buzağıların yıllık mortalitesinin %3-5 arasında olması gerektiği ifade edilmektedir. Daha yüksek oranlar işletme yönetimi açısından problemlerin olduğunun bir göstergesi olarak kabul edilmektedir [18]. Buzağı ölümlerinin önemli bir kısmı doğumdan sonraki ilk 24 saat içinde, toplam buzağı ölümlerinin %75'i ise ilk 7 günde gerçekleşmektedir. Buzağı ölümlerine neden olan başlıca hastalık etmenleri güç doğum, yanlış kolostrum yönetimi, açlık, hipotermi, metabolik

bozukluklar, bulaşıcı hastalıklar (ishal, enterit ve pnömoni) ve travma olarak sıralanmaktadır [19,20].

Doğum gerçekleşikten sonra buzağıların solunum ve kalp muayeneleri, mukoza, görme ve göz reflekslerinin muayeneleri, göbük kordonu muayenesi, beden sıcaklığının ölçülmesi, derinin ve kıl yapısının durumunun tespiti dikkatli bir şekilde yapılarak, hayvanda fiziksel bir anomali olup olmadığı değerlendirilmelidir. Yavrunun canlı olup olmadığı kalp, nabız, pedal veya anal refleksin kontrolü ile anlaşılabilir [6,21]. İnsanlarda yenidoğan yaşama gücünün değerlendirilmesi amacıyla Apgar ve ark. [22] tarafından geliştirilen skorlama sistemi temel alınarak doğumdan hemen sonra buzağıların sağlık skoru ve hayatta kalma şansları değerlendirilebilmektedir. Kıl örtüsü görünüşü, periferik ödem, müköz membranların rengi, refleks uyarımına karşı verilen cevap, kas tonusu, kalp atımları, rektal ısı, sternal pozisyona gelme süresi, ayağa kalkma süresi ve emme refleksinin başlama süresi gibi farklı birçok ölçütün değerlendirilerek yeni doğan buzağıların yaşama gücünün skorlanabildiği ifade edilmektedir [21,23].

Doğum gerçekleşir gerçekleşmez ilk olarak yavrunun solunumu kontrol edilmelidir. Buzağılarda solunum yollarının açıklığı sağlanarak ilk solunum uyarımı için farklı birtakım yöntemler uygulanabilmektedir. İlk solunum uyarımı için buzağının başının veya kulağının üzerine soğuk su dökülmesi faydalı olmaktadır. Burun bir parmak vasıtasıyla ovularak solunum refleksi uyandırılmaktadır. Buzağıları havlu ile ovalamak solunumun en önemli kısı olan diyaframın sinirsel uyarımını sağlayan frenik siniri (n.phrenicus) uyarıma yönelik bir uygulamadır [24,25,26].

Buzağının fiziksel muayenesinde akciğerlerin oskültasyonu, müköz membranların rengi, solunumun karakteri ve frekansı belirlenmelidir. Doğumu takiben solunum başlamalı, vücuttaki artık ürünler uzaklaştırılmalı, dolaşım düzenlenerek devamı sağlanmalı, vücut ısısı belli bir düzeyde tutulmalı, buzağı ayağa kalkmalı ve yürümelidir. Buzağıda ileri derecede hipoksi var ise müköz membranların siyanotik bir renk alması ile bu fark edilebilir. Hafif veya orta şiddette hipoksi, mukozalarda mavimsi siyanotik bir renge sebep olmaz. Doğumdan hemen sonra sağlıklı buzağıların burun mukozası pembe iken, hipoksik olan buzağıların burun mukozası mavimsidir [11,13,27].

Sağlıklı bir buzağının nabızı, doğumu takiben kısa süre içinde dakikada 180-200 atıma ulaşır. Buzağı, kısa süre içerisinde spontan solunuma geçer. Doğduğunda annenin rektal ısısının iki derece üzerinde olan vücut ısısı, 15-30 dakika içerisinde 39°C'ye düşer. Farklı değerler buzağının dış ortama adaptasyon zorluğu çektiğini düşündürmelidir. Bu sebeple süreç takip edilmeli ve değerler düzelineye kadar yavru desteklenmelidir. Doğumdan sonra buzağılar 2-3 dakika içinde sternal pozisyonda tutulmalı ve 15-30 dakika içinde ayağa kalkmaları sağlanmalıdır [11,13,19,27].

Doğumla birlikte göbek kordonunun kopması yavruya hipoksi meydana getirmektedir. Azalan oksijen ve artan karbondioksit konsantrasyonları veya yavrunun dış ortama teması solunum reflekslerini uyarmakta ve akciğer yoluyla ilk solunumun yapılmasına sebep olmaktadır. Bu solunum hareketi derin bir nefesle solunum başlamasına neden olur, bu da akciğer kapasitesinin artmasına yol açar. Böylelikle kanda artan oksijen basıncı ve periferik vasküler rezistans, ductus arteriosus, foramen ovale ve ductus venosus'un kapanmasını başlatarak neonatal kardiyovasküler sistemin uterus dışındaki (ekstruterin) yaşam için hazır hale gelmesini sağlamaktadır. Doğum sırasında buzağılarda respiratorik ve metabolik asidozis şekillenebilmektedir. Doğumun ve doğuma müdahalenin süresi fetal hayatta kalmayı etkilemektedir. Doğum süresinin uzaması ile birlikte asidozisin gelişmesi, merkezi sinir sisteminin baskılanmasına sebep olabilir. Bu da solunum reflekslerinin başlamamasına yol açabilir. Buzağı yüzeysel abdominal solunum sergiliyorsa ve refleksleri zayıf ise prognoz genellikle kötüdür [11,26,28,29].

Yeni doğan yavrunun yaşama şansı, özellikle normal solunum hareketinin kendiliğinden başlamasına bağlıdır. İlk solunumun 30 saniye içerisinde başlaması gerekmektedir. Bu sebeple doğumdan hemen sonra, ventilasyonu en üst düzeye çıkarmak ve ventilasyon-perfüzyon eşitsizliklerini en aza indirmek için buzağı sternal yatış pozisyonuna getirilmelidir. İlk dikkat edilecek husus açık bir hava yolu oluşturarak yavrunun solunumunu sağlamaktır. Bu sebeple buzağının üst solunum yollarının (ağız ve burun) sıvılarından veya herhangi bir fiziksel tıkanıklıktan (elle veya vakum yoluyla) arındırılmalı ve dil ileriye doğru çekilmelidir. Akciğerlerin drenajı yapılmak isteniyorsa buzağının arka ayaklarından tutularak ters çevrilmesi ancak kısa süreli olarak yapılabilir. Buzağılar asla uzun süre arka ayaklar tarafından asılmamalıdır. Bu yöntem yerçekimi yardımıyla solunum yollarından sıvıların çıkarılmasını sağlamak için yıllar boyunca uygulanmıştır. Bu iş 10-20 saniye süreyle, 3-5 defa tekrarlandığı takdirde, üst solunum yoluna kaçan yavru sıvılarının hepsi boşaltılabilir. Bu işlemin uzun süreli ve kuvvetli yapılması akciğerlerin drenajına değil, rumendeki sıvıların geri gelmesine neden olur. Hatta bu uygulama, iç organların akciğerler üzerine basınç oluşturmaya sebep olduğundan akciğerlerin genişlemesi kısıtlanabilir. Bu durumda en iyi yol solunum yollarındaki mukusun vakumla alınmasıdır [11,13,26,27]. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, neonatal buzağılarda hassas olan mukoza ve dokulara zarar vermemek için aşırı basınç ve vakumdan kaçınmaktır. Buzağılarda 5,5-9,5 mm'lik endotrakeal tüpler kullanılabilir. Buzağıya oksijen verilirken ilk birkaç soluk yüksek basınçta verilir. Çok yüksek basınç alveoler epitelyuma zarar verebilir. Oksijen akışı 150-200 L/dakika, basınç ise 50 PSI olmalıdır. Buzağının solunumu normale döndüğünde tüp çıkartılmalıdır [11].

Diğer bir uygulama ise suni solunumdur. Bunun için buzağı yan yatırılarak baş ve boyun ileri doğru uzatılır. Yavrunun burun deliklerinin birisinden ağızla

akciğerlere hava üflenerek akciğerler şişirilir ve ardından göğüs kafesi üzerine bastırılarak boşaltılır. Bu işlemler birbiri ardından, düzenli olarak 10-15 dakika devam ettirildiği takdirde, solunum hareketleri başlayabilir. Bu işlem ardi sıra devam ettirildiğinde bir süre sonra buzağıda solunum hareketleri başlayabilir. Suni solunumun, akciğerlere kısa zamanda hava gönderilmesi, kalbe mesaj yapma ve dolaşımı uyarma gibi faydaları da vardır. Bu da yeterli değil ise buzağı yan yatırılır. Bir yardımcı buzağının ağızını açık tutup dilini dışarı çekerek rahat nefes almasına yardımcı olurken, bir diğer kişi de üst kol ve kostaların gerisinden yavruyu tutarak buzağıyı yerle teması kesilinceye kadar kaldırır. Bu, akciğerlerin genişlemesine yardımcı olur. Buzağı bırakılarak göğüs kafesine sıkıca basınç uygulanır. Bu işlem beş saniye aralıklarla düzenli solunum başlayıncaya kadar devam ettirilir. Göğüs kafesi üzerine vurma ve bastırma hareketleri sırasında aşırıya kaçılmaması gerekir. Aksi takdirde kaburgalar kırılabilir veya akciğerler zarar görebilir. Serinletme de etkili bir uyarıcı olduğundan, yavrunun vücuduna hafif soğuk su serpilmesi veya başa bir miktar soğuk su dökülmesi, solunum hareketlerini uyandırır [13,19,27]. Trakeanın hafifçe sıkılması da öksürüğü de beraberinde getirebilir, buzağının öksürmesi solunum yollarının açılmasına yardımcı olan bir reflekstir [19].

Solunum merkezini uyarmak üzere parenteral olarak Lobelin (6-20 mg iv, 20-50 mg sc), Kafein (1-2 gr sc), Pikrotoksin (%0.1'lik, 1-3 mg iv), Doxapram hidroklorit (%1'lik, 5 ml), Pentazol-Cardiazol-Leptazol (%10'luk 0,5-2 ml) verilebilir. Doxapram HCl periferik kemoreseptörleri ve beyindeki medüller reseptörler merkezini uyandırır. Bu preparat geniş güvenlik toleransına sahiptir ve güvenilir bir şekilde solunum uyarımı için kullanılır. Doxapram HCl ile birlikte oksijen desteği de uygulanabilir. Yukarıda anlatılan işlemlerin ve tedavilerin uygulanmasıyla, yavru genellikle birkaç derin nefes alır ve her nefes bir sonrası için uyarı yerine geçer ki iki, üç dakika içinde normal solunum başlamazsa, nabız ve kalp atımları iyi olsa bile, yavrunun yaşama şansı azdır. Asfeksinin uzun sürmesi halinde, onarılamayacak ölçüde beyin hasarı oluşabilir, bu da tedavinin başarı şansını düşürür. Ayrıca uzun süren hipoksilerde, pH'ı düzeltmek amacıyla buzağıya 200-250 ml %4 sodyum bikarbonat eriyiği damar içine verilebilir [11,13,27].

Kalp ritminde sorun olan derin bradikardik buzağılarda ise kalbi desteklemek amacıyla veya kalp durmalarına karşı %0,1'lik epinefrin 0,1-0,2 ml kg⁻¹ dozunda intramusküler, intravenöz, intrakardiyak veya intratrakeal, atropin ise 0,01-0,03 ml kg⁻¹ dozunda intravenöz yolla verilir. Bu hızlı bir taşikardi sağlamaktadır. Yine de buzağı entübe edilmeli ve ventilasyonu desteklenmelidir. Genel olarak kalp ritmi olmadan doğan hayvanlarda ise kardiyak resüsitasyon yapılmamaktadır. Böyle bir durumda başarılı bir resüsitasyon olasılığı düşüktür [26,27].

Nabız dakikada 60'ın altında ise, adrenalin 0,02 mg kg⁻¹ dozunda intravenöz veya intratrakeal uygulanabilir. Acil durumda trakea içi lidokain veya atropin uygulanabilir.

İntratrakeal verilen ilaçlar biraz sulandırılıp mümkün olduğunca trakeobronşiyal bölgenin distaline ulaştırılmaya çalışılır [11]. Yeni doğan buzağular uterus içi (intrauterin) ortamdan uterus dışı (ekstrauterin) ortama geçerken çevre sıcaklığındaki radikal değişimlere maruz kalır. Buzağı doğduğunda ıslak olduğundan buharlaşma ile ısı kaybı fazla olur. Bu nedenle yavrunun doğduğu ortam soğuk ise yavru derhal sıcak bir ortama alınarak hemen kurutulmalıdır [11]. Buzağular, özellikle ilk dört saat içinde hipotermiye karşı duyarlıdır. Yeni doğan bir buzağının hipotermide olup olmadığı ağız içi sıcaklığın değerlendirilmesiyle anlaşılabilir. Ağız içinin soğuk olması hipotermiye bir göstergesi olabilir. Ayrıca, sağlıklı olan bir buzağıda emme refleksi bulunur. Ağız içi sıcak değilse ve emme refleksi yoksa buzağı kısa süre içerisinde sıcak bir ortama alınmalıdır. Çevre koşullarının iyi olmadığı yerlerde ve soğuk mevsimlerde yavru daha korunaklı alanlara alınarak bez, havlu, kuru ot gibi materyallerle kurutulmalıdır. Böylece hem sirkülasyona yardımcı olunur hem de kuru, dikleşmiş tüyler arasındaki kuru hava ile buzağı sanki üzerine battaniye örtülmüş gibi korunur. Bu işlem için saç kurutma makinesi de kullanılabilir. Yavru kurutulduktan sonra üzerine battaniye veya benzeri bir örtü konular, bulunduğu alanlarda ısıtıcılar kullanılabilir [6,27]. Annesine ve çevresine ilgisiz, durgun ve emme problemi olan buzağılara, taylarda yenidoğan uyumsuzluğu sendromunda klinik etkinliğe sahip olduğu gösterilen toraks sıkma tekniğinin uygulanmasının yararlı olabileceği bildirilmektedir [30]. Ayrıca doğumdan hemen sonra buzağılara uygulanan tek doz ketoprofenin doğum sonrası ilk birkaç gün buzağuların refahını önemli düzeyde artırdığı bildirilmektedir [31,32].

Genellikle solunumun düzenlenmesi, kolostrum alımının sağlanması, vücut ısısının düzenlenmesi ve yavrunun ayağa kaldırılarak hareket ettirilmesi gibi destekleyici uygulamalar asidozis problemin giderilmesi için yeterlidir. Eğer bu uygulamalarla asidozis düzeltilemezse, 250-500 ml %4,2'lik sodyum bikarbonat intravenöz yolla verilir [19,27].

Doğumu takiben kontamine ortamlar buzağıda ishal, solunum yolu enfeksiyonu veya septisemiye sebep olabilecek viral, bakteriyel veya protozoal etkenleri içerebilir. Bu etkenler çevrede uzun süre yaşayabildiği ve bulaşmanın enfekte dışkı ile temas veya dışkı ile kontamine edilmiş su veya gıdaların alınması şeklinde olduğu için, buzağının ayrı bir bölmeye alınmasında fayda vardır. Yenidoğan bölmesinin kuru, ılık, havadar, cereyansız olması ve diğer hayvanların bulunduğu bölmeler ile direk teması olmaması gerekir. Her bir buzağı için ayrı biberon veya kaplar kullanılmalı, temizlik ve dezenfeksiyon düzenli olarak yapılmalıdır. Eller, kıyafetler ve çizmeler düzenli olarak yıkanıp dezenfekte edilerek hastalık etkenlerinin taşınması önlenmelidir [27].

Göbek kordonu doğum sırasında çoğunlukla kendiliğinden kopmaktadır. Aksi bir durumda hayvan sahibi ya da Veteriner Hekim tarafından kesilmektedir. Göbek kordonu oluşumlarında umbilikal arter ve urakus, abdomen içine geri çekilmektedir. Umbilikal açıklık, düz

kasların kontraksiyonu ve bağ doku üremesi ile 5-10 gün içinde kapanmaktadır. Umbilikal ven ve amniyotik membranın kalıntıları vücudun dışında kalır. 3-4 günde kuruyarak incelik, 5-10 gün içinde yerini yarı sikatrize olmuş bir yaraya bırakır ve 10-15 gün sonra düşer. Skar dokusu 5-10 gün içerisinde oluşurken, göbek sikatriksinin tamamlanması ortalama 2-3 hafta içinde gerçekleşmektedir [33,34].

Göbek kordonu dip kısmından kopmamış ise abdomene en yakın kısmından başlanarak aşağıya doğru parmaklarla sıvazlanmalı ve içerisindeki kanlı sıvı boşaltılmalıdır. Enfeksiyonu önlemek amacıyla en kısa sürede hafif bir antiseptik solüsyona daldırılmalıdır. Abdomene 4-5 cm uzaklıktan antiseptiğe batırılmış bir ipe bağlanmalı ve bağlanan noktanın 3-4 cm altından temiz bir makasla kesilmelidir. Bu işlem doğumdan sonra yarım saat içinde yapılmalı, 12 saat arayla iki kere tekrar edilmeli ve 24 saat sonra en az bir kere daha yapılmalıdır. Göbek kordonu hafif antiseptiklerle temizlenmelidir. İritan antiseptikler göbek bağı ve etrafındaki yapının iritasyonuna ve yangılanmasına sebep olur. Antiseptik olarak en çok %7'lik iyot çözeltisi kullanılmaktadır. Bölgeye uygulanan iyot çözeltisi göbek kordonunu kurutur ve bakterilerin göbek kordonundan girişini engeller. Bazı çalışmalarda göbek kordonunun bakımı için klorheksidin esaslı dezenfektanlar da önerilmektedir. Ayrıca, alkol de kordonun hızlı bir şekilde kurumasını sağlar. Bu yüzden mumifikasyonu hızlandırmak için tercih edilebilir. İlerleyen günlerde sprey şeklindeki antiseptik ve antibiyotikler de kullanılabilir. Antiseptiklerin uygulanmasından sonra, göbek kordonunun kuru ve temiz tutulması da göbek sağlığının devamını sağlamanın en iyi yoludur [6,34].

KAYNAKLAR

- [1] Mee JF. Managing the dairy cow at calving time. *Vet Clin North Am Food Anim Pract.* 2004;20:521-46. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2004.06.001>.
- [2] Öcal H, Rişvanlı A, Kalkan C, Doğan H. Süt ineklerinde peripartum dönemde anne ve yavrunun bakımı. *Türkiye Klinikleri J Vet Sci Obstet Gynecol-Special Topics.* 2015;1(1):42-60.
- [3] Alaçam E. İnekte döl verimi ve kontrolü. In: Alaçam E, Şahal M, editors. *Sığır Hastalıkları.* Ankara: Medisan Yayınları; 1997. p. 325-88.
- [4] Lombard JE, Garry FB, Tomlinson SM, Garber LP. Impacts of dystocia on health and survival of dairy calves. *J Dairy Sci.* 2007;90:1751-60. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-295>.
- [5] Cobo-abreu R, Martin SW, Willoughby RA, Stone JB. The association between disease, production and culling in a university dairy herd. *Can Vet J.* 1979;20:191-5.
- [6] Lorenz I, Mee JF, Earley B, More SJ. Calf health from birth to weaning. General aspects of disease prevention. *Irish Vet J.* 2011;64(10):1-8.
- [7] Bolacalı M, Küçük M. Buzağı Kayıplarında İşletme Hatalarının Rolü. *Buzağı Hastalıkları Sempozyumu Kitabı.* Van: 2017. p. 18-21.
- [8] Waltner-Toews D, Martin SW, Meek AH. Dairy calf management, morbidity and mortality in

- Ontario Holstein herds. III. Association of management with morbidity. *Prev Vet Med.* 1986;4:137-58. [https://doi.org/10.1016/0167-5877\(86\)90019-X](https://doi.org/10.1016/0167-5877(86)90019-X).
- [9] Donovan GA, Dohoo IR, Montgomery DM, Bennett FL. Calf and disease factors affecting growth in female Holstein calves in Florida, USA. *Prev Vet Med.* 1998;33:1-10.
- [10] Roy JHB. Factors affecting susceptibility of calves to disease. *J Dairy Sci.* 1980;63:650-64.
- [11] Kaya A. Buzağılarda Enzoitik Pnömoni ve Neonatal asfeksi. *Buzağı Hastalıkları Sempozyumu Kitabı.* Van: 2017. p. 30-52.
- [12] Gundelach Y, Essmeyer K, Teltscher MK, Hoedemaker M. Risk factors for perinatal mortality in dairy cattle: cow and foetal factors, calving process. *Theriogenology.* 2009;71:901-9.
- [13] Deveci H. Gebelik ve doğuma bağlı olarak ana ile yavrunun bakım ve beslenmesi. In: Alaçam E, editor. *Evcil Hayvanlarda Reprodüksiyon, Sun'ı Tohumlama, Doğum ve İnfertilite.* Ankara:Medisan Yayınevi; 1994. p. 183-91.
- [14] Young SM, Benyshek DC. In search of human placentophagy: A cross-cultural survey of human placenta consumption, disposal practices, and cultural beliefs. *Ecology of Food and Nutrition.* 2010;49:467-84.
- [15] Cremers GE, Low KG. Attitudes Toward Placentophagy: A Brief Report. *Health Care Women Int.* 2014;35:113-9. <https://doi.org/10.1080/07399332.2013.798325>.
- [16] Hutjens MF. Practical approaches to feeding the high producing cow. *Anim Feed Sci Technol.* 1996;59:199-206. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(95\)00900-0](https://doi.org/10.1016/0377-8401(95)00900-0).
- [17] Smith BI, Risco CA. Management of periparturient disorders in dairy cattle. *Vet Clin North Am Food Anim Pract.* 2005;21(2):503-21.
- [18] Correa MT, Curtis CR, Erb HN, White ME. Effect of calf hood morbidity on age at first calving in Newyork Holstein herds. *Prev Vet Med.* 1988;6:253-262.
- [19] Mee JF. Newborn dairy calf management. *Vet Clin N Am Food A.* 2008;24(1):1-17.
- [20] Koyuncu M, Karaca M. Buzağılarda Yaşama Gücünün Anahtarı "Kolostrum". *J Anim Prod.* 2018;59(1):67-78.
- [21] Murray CF, Leslie KE. Newborn calf vitality: Risk factors, characteristics, assessment, resulting outcomes and strategies for improvement. *Vet J.* 2013;198:322-8.
- [22] Apgar V, Holaday DA, James LS, Weisbrot IM, Berrien C. Evaluation of the newborn infant-second report. *Journal of the American Medical Association.* 1958;168(15):1985-1988.
- [23] Mee JF. Managing the calf at calving time. *American Association of Bovine Practitioners Proceedings of the Annual Conference,* 2008. p. 46-53.
- [24] Brunson DB. Ventilatory support of the newborn calf. *Compendium on Continuing Education for the Practicing Veterinarian.* 1981;3:47-52.
- [25] DeKruif A, Benedictus G. Perinatal mortality and the birth of weak calves. *Tijdschr Diergeneeskd.* 1993;118:684-8.
- [26] Nagy DW. Resuscitation and Critical Care of Neonatal Calves. *Vet Clin North Am Food Anim Pract.* 2009;25:1-11. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2008.10.008>.
- [27] Ekici H, Güngör Ö. Perinatal dönemde anne ve yavruya gösterilecek özen. In: Semacan A, Kaymaz M, Findik M, Rişvanlı A, Köker A, editors. *Çiftlik Hayvanlarında Doğum ve Jinekoloji.* 3rd ed. Malatya: Medipres Yayıncılık; 2019. p. 237-49.
- [28] Detweiler DK, Riedesel DH. Regional and fetal circulations. In: Swenson MJ, Reece WO, editors. *Dukes' physiology of domestic animals.* 11th edition. Ithaca (NY): Cornell University Press; 1993. p. 227.
- [29] Szenci O. Role of acid-base disturbance in perinatal mortality of calves: a review. *Vet Bull.* 2003;73:7-14.
- [30] Stilwell G, Mellor DJ, Holdsworth SE. Potential benefit of a thoracic squeeze technique in two newborn calves delivered by caesarean section. *New Zealand Veterinary Journal.* 2020;68(1):65-68.
- [31] Laven R, Chambers P, Stafford K. Using non-steroidal anti-inflammatory drugs around calving: Maximizing comfort, productivity and fertility. *The Veterinary Journal.* 2012;192(1):8-12.
- [32] Gladden N, Ellis K, Martin J, Viora L, McKeegan D. A single dose of ketoprofen in the immediate postpartum period has the potential to improve dairy calf welfare in the first 48 h of life. *Applied Animal Behaviour Science.* 2019;212:19-29.
- [33] Samsar E, Akın F. *Özel Cerrahi.* Malatya: Medipres Matbaacılık; 2002.
- [34] Gönenci R. Buzağılarda Göbek Kordonu Bakımı ve Hastalıkları. *Buzağı Hastalıkları Sempozyumu Kitabı.* Van: 2017. p. 88-98.



Periparturient Dönemde Süt Sığırlarında Sıklıkla Görülen Subklinik Metabolik Hastalıklara Güncel Yaklaşımlar

Kerim Emre YANAR^{1*}, Mustafa Sinan AKTAŞ¹

¹ Atatürk Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Klinik Bilimler Bölümü, Erzurum, Türkiye

Kerim Emre YANAR ORCID No: 0000-0001-7302-7077

Mustafa Sinan AKTAŞ ORCID No: 0000-0002-7206-5757

*Sorumlu yazar: emre.yanar@atauni.edu.tr

(Alınış: 22.10.2020, Kabul: 08.02.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Anahtar

Kelimeler

Subklinik hipokalsemi, Subklinik ketozis, Subakut rumen asidozu, İnek, Geçiş dönemi.

Öz: Subklinik metabolik hastalıklar, klinik bulgu göstermeksizin, üreticilerde yüksek miktarda mali kayıplara veya optimalin altında üretime neden olan, metabolik süreçlerin bir veya daha fazlasına yönelik bozukluklardır. Daha çok periparturient (geçiş) dönemde sıklıkla görülen subklinik metabolik hastalıkların en yaygın olanları; subakut rumen asidozu, subklinik ketozis ve subklinik hipokalsemidir. Prevalansı ve insidansı dünya genelinde oldukça yüksek olan bu hastalıkların hem kendileri, hem de yatkınlığı artırdığı diğer hastalıklar nedeniyle (metritis, abomazum deplasmanı, klinik ketozis, kistik ovaryum, laminitis ve ruminitis) ciddi anlamda ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Bu derlemede subklinik metabolik hastalıkların etiyoloji ve patogenezi, prevelans ve seroprevalansları, periparturient dönem hastalıklarıyla ilişkili tanı yöntemleri, subklinik hastalıkların takip prosedürleri ve korunma yolları hakkında detaylı bilgi verilmesi amaçlanmıştır.

Current Approaches to Common Subclinical Metabolic Diseases in Dairy Cattle During the Periparturient Period

Keywords

Subclinical hypocalcemia, Subclinical ketosis, Subacute rumen acidosis, Cow, Periparturient period.

Abstract: Subclinical metabolic diseases are disorders of one or more metabolic processes that cause high financial losses or sub-optimal production for producers without clinical signs. The most common subclinical metabolic diseases, which are mostly seen in the periparturient (transition) period; subacute rumen acidosis, subclinical ketosis and subclinical hypocalcemia. These diseases, which have a high prevalence and incidence worldwide, cause serious economic losses due to both themselves and other diseases that increase susceptibility (metritis, abomasum displacement, clinical ketosis, cystic ovary, laminitis and ruminitis). The aim of this review is to give detailed information about the etiology and pathogenesis of subclinical metabolic diseases, prevalence and seroprevalence, diagnostic methods associated with periparturient period diseases, follow-up procedures and prevention methods of subclinical diseases.

1. GİRİŞ

Uygulanan ıslah ve modern besleme yöntemlerinin bir sonucu olarak, günümüzde süt sığırlarının bireysel verim seviyelerinde sağlanan önemli artışlarla birlikte, metabolizma ve üreme hastalıklarına karşı daha hassas hale geldikleri bildirilmektedir [1]. Metabolik bozukluklar, metabolik süreçlerin bir veya daha fazlasına yönelik bozukluklardır. Söz konusu bu süreç, ya üretim aşamasında ya da dışkı olarak atılan metabolitlerin biyokimyasal dönüşümü sırasında meydana gelmektedir. Buradaki işlemlerden herhangi birinin işlevsel bozukluğu veya fizyolojik dengesizliği metabolik

hastalıkların veya bozuklukların meydana gelmesine neden olmaktadır [2].

Metabolik hastalıklar, yüksek süt verimli ineklerde özellikle laktasyon dönemlerinde subklinik olarak ortaya çıkmaktadır [3]. Genel olarak subklinik metabolik hastalıklar klinik hastalık riskini artıran, süt verimini düşüren, önemli ekonomik kayıplara yol açan, döl verim performansını olumsuz etkileyen ve kolay fark edilemeyen bozukluklardır [4].

Önemli subklinik metabolik hastalıklardan birisi olan subklinik ketozis nedeniyle 2018 yılında Hollanda'da yıllık vaka başına süt sığırlarında 83 € ile 175 € arası

ekonomik kaybın söz konusu olduğu Mostert et al. [5] tarafından rapor edilmiştir. Bu ekonomik kaybın %36'sı iki buzağılama arası geçen sürenin uzamasından, %24'ü düşen süt veriminden, %19'u veteriner tedavi masraflarından, %14'ü imha edilen (atılan) süttten, %6'sı da sürüden çıkarılma gibi nedenlerden gerçekleşmiştir. ABD ve Fransa'da ise yine aynı hastalık nedeniyle vaka başına sırasıyla 289 \$ ve 257 € luk ekonomik kayıpların söz konusu olduğu bildirilmiştir [6]. Diğer bir subklinik metabolik bozukluk olan subakut rumen asidozuna bağlı ekonomik kayıpların, ABD'de yıllık bazda toplam 500 milyon–1 milyar \$ olduğu ve bu hastalık nedeniyle ineklerin günlük masraflarının tahmini 1.12 \$ olduğunu bildirmektedir [7]. Ayrıca, subakut rumen asidozunun tek başına sebep olduğu yem alımındaki düşüşün et sığırlarında büyümedeki azalma sonucunda hayvan başına 10-13 \$ lık bir kayba yol açtığı, yine aynı araştırmacılar tarafından belirtilmiştir. Yukarıda bahsedilen subklinik metabolik hastalıkların yanı sıra subklinik hipokalseminin de süt verimindeki düşüşlerden ve sürüden çıkarılan hayvanlar nedeniyle sebep olduğu ekonomik kaybın vaka başına 220 \$ olduğu rapor edilmiştir [8].

Bu derlemede, subakut rumen asidozu, subklinik ketozis ve subklinik hipokalseminin etiyolojisi, patogenezi, sürü takip prosedürleri, güncel laboratuvar tanı teknikleri, son yıllarda saha koşullarında kullanılan tanı test kitleri ve hayvan davranış ölçütlerinin bu subklinik metabolik hastalıklarla ilişkilerinin detaylı olarak incelenmesi amaçlanmıştır.

2. PERİPARTURİENT DÖNEM

Periparturient (geçiş) döneminin sınırları, farklı şekillerde ifade edilmesine rağmen, genellikle doğum öncesi ve sonrası 3 haftalık süreyi içine alan, gebeliğin sonları ile erken laktasyon dönemlerini kapsayan zaman dilimi olarak tanımlanmaktadır [9]. Süt sığırları kuru dönemde yüksek oranda selüloz içeren rasyonlarla beslenirken, doğumu takip eden dönemde selüloz oranı düşük ancak enerji oranı yüksek rasyonları tüketmeye başlarlar. Periparturient dönemde hayvanların karşılaştıkları en önemli zorluk maksimum süt veriminin sürdürülebilmesi için artan besin madde ihtiyaçlarının karşılanamamasıdır [10].

Periparturient dönem boyunca yüksek verimli süt ineklerinde yaşanan birtakım metabolik hastalık ve bozuklukların başlangıcını bu dönemde başlayan negatif enerji dengesi oluşturmaktadır [11]. Fetüsün gebeliğin son haftalarında artan besin madde gereksinimleri ile buzağılama sonrası başlayan laktasyonla beraber artan besin madde ihtiyaçları ve bu dönemde düşen yem tüketimi ile negatif enerji dengesi etkileri belirgin bir şekilde ortaya çıkmaya başlar. Hayvanlar artan enerji ihtiyacını karşılamak üzere vücut depo yağlarını mobilize ederek kan dolaşım sistemine esterleşmemiş yağ asidi (EYA) formunda aktarırlar. Negatif enerji balansının devam ettiği sürede, artan miktarlarda EYA'lar karaciğere gelmeye devam ederler. Karaciğerin lipid işleme kapasitesini aşan aşırı miktarlardaki EYA'ların buldukları dönemde, karaciğer bunların bir

kısmını keton bileşiklerine dönüştürerek uzaklaştırmaya çalışır. Bu durum ineklerin ketozis veya karaciğer yağlanma riskleri ile karşı karşıya gelmelerine neden olur [12, 13].

Periparturient dönem, laktasyonun diğer dönemleriyle karşılaştırıldığında özellikle fizyolojik olayların çok hızlı değişim göstermesi önemli problemler oluşturabilmektedir. Ayrıca, bu durum metabolik hastalıklara yol açan hormon ve metabolitlerin dengesizliğine de neden olabilmektedir [14]. Periparturient dönemde belirlenen ve en sık ortaya çıkan subklinik metabolik hastalıklar subklinik ketozis, subakut rumen asidosiz, subklinik hipokalsemidir [15].

3. SUBKLİNİK METABOLİZMA HASTALIKLARIN ETİYOLOJİ VE PATOGENEZLERİ

3.1. Subakut Rumen Asidozunun Etiyoloji ve Patogenezi

Subakut rumen asidozu, akut ve kronik dönem arasındaki, orta dereceli depresif ruminal pH (yaklaşık 5.5–5.0) dönemi olarak tanımlanır [16, 17]. Mevcut subakut rumen asidozu tanımları, rumen sıvısının pH'sına dayanmaktadır [18, 19]. Rumen pH'sı, uçucu yağ asitleri ve laktik asit gibi organik asitlerin rumende birikmesi ve rumen tamponlamasının yetersiz kaldığı durumlarda düşmektedir. Örneğin rumende tane yemler, yeşil otlardan daha fazla sindirilebildiğinden, fazla tane yem ve daha az yeşil ot ile beslenme, rumende uçucu yağ asitlerinin üretimini artıracaktır [20]. Bu durum subakut rumen asidozunun oluşumuna zemin hazırlamaktadır. Tane yemlere bağlı subakut rumen asidozunun oluşumunda rumen, sekum ve dışkıdaki lipopolisakkarit endotoksinlerin (LPS) sayısında artış meydana getirmektedir. Bununla birlikte öğütülmüş yonca peletlerine dayalı beslenmeyle oluşan subakut rumen asidozunda kalın bağırsakta LPS oranı değişmezken sadece rumendeki LPS'de artışlar meydana gelmektedir. Ayrıca tane yeme bağlı oluşan subakut rumen asidozunda periferik kandaki akut faz proteinlerinde artışlar da görülmektedir. Bu durumun subakut rumen asidozunun oluşumunda rol oynayabilmektedir [21].

Ayrıca çiğneme süresinin tükürük üretimini artırdığı, tükürüğün de rumen fermantasyonu sırasında üretilen organik asitlerin nötralizasyonuna katkı sağlayan sodyum bikarbonat gibi inorganik tamponlar içerdiği bildirilmektedir [22]. Yem kaynakları arasında da farklı çiğnemeyi uyarma kapasiteleri mevcuttur. Bu durum yemin fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlıdır. Bu problemin üstesinden gelmek için fiziksel olarak etkili lif (peNDF) kavramı geliştirilmiştir. Bu ölçü, bir yemin rumende çiğneme ve tükürük tamponlamasını uyarma yeteneğini yansıtmaktadır [23]. Plaizier et al. [24] yapmış oldukları çalışmada kuru madde oranı %12,5 veya daha düşük peNDF'den oluşan diyetlerde subakut rumen asidozunun meydana geldiğini bildirmiştir.

Ek olarak rumen fermantasyonu sonucu oluşan asitlerin rumenden uzaklaştırılması, bu asitlerin emilim hızını

belirleyen rumen papillalarının boyutu ve yoğunluğuna bağlıdır [25]. Emilimdeki azalma (örneğin rumen pH'ına bağlı rumenitis veya parakeratoz), ineklerde subakut rumen asidozu oluşumuna katkı sağlamaktadır. Rumen papillalarının uzunluğu ve yoğunluğundaki azalmaya bağlı asitlerin absorpsiyon kapasitesi kuru dönemde %50 azalabildiğinden, yeni doğmuş inekler, orta ve geç laktasyondaki ineklere kıyasla daha yüksek subakut rumen asidozu riski altındadır [26].

3.2. Subklinik Ketozisin Etiyoloji ve Patogenezi

Süt inekleri, laktasyonun ilk dönemlerinde hakim olan negatif enerji dengesi nedeniyle belirgin bir metabolik yük altındadırlar, bu da onları bulaşıcı ve metabolik hastalıklara duyarlı hale getirir [27, 28]. Yemlerle alınan kalori miktarı ile kalori ihtiyacı arasındaki dengenin bozulması ile subklinik ve klinik ketozis ortaya çıkabilmektedir. Gebeliğin son dönemlerinde hayvanın enerji ihtiyacının normalden fazla olup, gebelik sonrası dönemde yem alımında azalmaya karşılık besin madde ihtiyacındaki artış önemli boyuttadır. Sağlıklı bir inekte gebelik sonrası 4. gün enerji ihtiyacı, yemden sağlanan enerjiden yaklaşık olarak %26 daha fazladır. Ayrıca kuru madde tüketimiyle elde edilen net enerjinin %97'si ve metabolik proteinin %83'ü süt üretimi için harcanmaktadır [29]. Doğumdan sonraki ilk haftalarda kolostrum ve süt ile yüksek miktarda laktoz üretildiği ve 30 litre süt veren bir inekte sütle atılan laktoz miktarının günde 1500 grama ulaştığı bildirilmektedir [30]. Dolayısıyla, gebeliğin son döneminde ve laktasyonun ilk döneminde hayvanların enerji ihtiyacının tam olarak karşılanması büyük önem taşır. Gebelik ve doğum sonrası tüketilen kalori miktarı ile vücudun enerji ihtiyacı arasındaki dengenin hayvanın aleyhine değişmesi halinde, organizma enerji ihtiyacını karaciğerde bulunan karbohidratlardan karşılamaya çalışır. Karaciğerde yeterli miktarda enerji kaynağı olmadığı zaman, organizma yağları parçalayarak glikoneojezis yolu ile enerji sağlama yoluna gider [31]. Ruminantlar yemdeki karbohidratları rumende fermentasyon sonucu parçalar, glikozu sentezler ve absorbe ederler [32]. Ergin hayvanlarda 50-100 gr glikoz sentezlenirken glikoz gereksinimi gebe ve laktasyondaki ineklerde daha fazladır. Bu ihtiyaç gebeliğin son 3 ayında %20-50 oranında artış göstermektedir. Söz konusu dönemde ve laktasyonun başında gereksinim karşılanamadığı için glikoz dengesi süratle bozulur. Hayvanlar enerji kaynağı olarak yağ dokularını ve daha sonra vücut proteinlerini harekete geçirerek glikoz sentezleme mekanizmasını devreye sokarlar [33]. İşte bu anda negatif enerji dengesine karşı organizmanın zayıf adaptif yanıtın bir sonucu olarak hiperketonemi meydana gelir ve karaciğerdeki EYA seviyesi en yüksek noktaya çıkar. Hiperketonemi, klinik olarak hayvanlarda iştahta azalma, kilo kaybı ve süt üretiminde azalma olarak ortaya çıkabilmektedir ancak ineklerin, ketozisin klinik belirtileri olmaksızın dolaşımdaki keton cisimlerinin artması olarak tanımlanan subklinik ketozisten muzdarip olma olasılığı çok yüksektir [34].

3.3. Subklinik Hipokalseminin Etiyoloji ve Patogenezi

Subklinik hipokalsemi laktasyonun yüksek seviyelere ulaşmasını büyük ölçüde engelleyen geçiş dönemi hastalığı olarak bilinmektedir. Laktasyonun ilk dönemlerinde subklinik hipokalsemiye bağlı yem alımı düşmekte ve vücutta büyük ölçüde yağ mobilizasyonu meydana gelmektedir [35].

Laktasyon başında ineklerin kan kalsiyum (Ca) seviyesindeki düşüşten korumak için mutlaka sütle atılan ekstrasellüler Ca'nın yerine ikame edilmesi gerekmektedir. İnekler bu işlemi kemiklerinden mobilize ettikleri Ca ile veya rasyonla aldıkları Ca'nın absorpsiyon etkinliğini artırarak yaparlar. Süt sığırları çoğu memeli hayvanlar gibi erken laktasyon döneminde Ca seviyesini normalde tutmak için kemiklerden Ca mobilize ederek laktasyonel osteoporosise girerler [36]. Bu durum laktasyonun ilerleyen dönemlerinde dönüşümlü olmak kaydıyla ilk ayda iskelet Ca'sının %9-13 oranında bir kaybına yol açar. Kemiklerden Ca'nın mobilizasyonu kan Ca seviyesi düştüğünde salgılanan paratiroid hormon sayesinde düzenlenir. Ca'nın renal tübüler reabsorpsiyonu paratiroid hormon tarafından artırılır. Ancak idrardan geri emilen Ca miktarı günlük olarak idrarla atılan Ca çok az bir miktardır. İkinci bir hormon 1,25-Dihidroksi Vitamin-D yemle alınan Ca'nın etkin bir şekilde absorpsiyonunu stimüle etmek için gereklidir [37]. Bu hormon böbreklerde artan paratiroid hormon seviyesine bir cevap olarak böbreklerde D vitamininden sentezlenir. Hipokalsemi sütle atılan Ca'nın diyet ve kemiklerden yeterli miktarda Ca mobilize edilemediği durumlarda meydana gelmektedir. Hipokalsemiye yol açan Ca homeostazisinin bozulmasına katkıda bulunan birçok beslenme faktörü bulunmaktadır [35]. Hastalığın oluşumunda rol oynayan ve hücrese seviyede Ca homeostazisini bozan başlıca nedenler metabolik alkaloz, hipomagnezemi, kuru dönemdeki hayvanların Ca'ca zengin rasyonlarla beslenmesi, D vitamini seviyesi, kalsitonin ve glikokortikoidlerin düzeyi örnek verilmektedir [38].

4. SUBKLİNİK HASTALIKLARIN PREVELANSI VE İNSİDANSI

Subakut rumen asidozunun insidansları (yeni hasta inek sayısının, risk altındaki ineklerin sayısına oranı, yeni vaka artış hızı) Kolombiya, Polonya, İran ve Mısır'da yetiştirilen süt sığırlarında sırasıyla %23,3, %44,0, %27,6 ve %26,3 olarak saptanmıştır [39-42]. ABD'de yapılan bir çalışmada, incelenen süt sığırlarının %19'unda erken laktasyon, %26'sının da orta laktasyon döneminde subakut rumen asidozunun şekillendiği bildirilmiştir [43]. Öte yandan Almanya'da yürütülen bir araştırmada da, subakut rumen asidozlu ineklerin insidansları erken ve orta laktasyon dönemlerinde sırasıyla %11 ve %18 olarak rapor edilmiştir [44]. Yurdumuzda, Aydın ilinde yapılan bir çalışmada, subakut rumen asidoz insidansı %8,25 olarak belirlenmiştir [45].

Dünyada farklı ülkelerde subklinik ketozisin bildirilen prevalansı (mevcut vaka sayısının örneklenen inek

sayısına oranı) ve insidansı önemli farklılıklar göstermektedir. Kolombiya ve Brezilya'da mera koşullarında yetiştirilen süt sığırlarında subklinik ketozis insidansının %25,3 ve %20,0 olduğu Daros et al. [46] ve Audor et al. [47] tarafından bildirilmiştir. Amerika ve Kanada'da yapılan ve laktasyonun 1. ve 2. haftalarında kanda Beta hidroksi bütirik asit (BHBA) seviyesi 1,2 mmol L-1 den yüksek olan ineklerin subklinik ketozis hastası olarak tanımlandığı çalışmalarda, subklinik ketozis insidansı sırasıyla %24 ve %25 olarak tespit edilmiştir [48, 49]. Amerika'da yapılan diğer bir çalışmada da, toplam 1717 inekten 741 inde (%43,2) kan BHBA seviyesinin deneme süresince en az bir defa 1,2 ile 2,9 mmol L-1 arasında değerler gösterdiği ve pik prevelans değerine (%28,9) doğumu takip eden 5. günde ulaştığı bildirilmiştir [50]. Dohoo et al. [51] Kanada'da yaptıkları bir çalışmada sütçü ineklerde maksimum subklinik vakalarına laktasyonun 3. veya 4. haftalarında en sık rastlanıldığını bildirmişken, son yıllarda yapılan çalışmalarda 5. günde pik seviyeye ulaşıldığı bildirilmiştir. Bu durum genetik ve besleme alanında sağlanan hızlı gelişmelerin bir sonucu olarak, yüksek süt verimine daha hızlı geçişin sonucunda metabolik zorlanmanın doğum sonrası daha yakın bir zamanda gerçekleşmesi ile açıklanabilir. Ülkemizde subklinik ketozisin prevelansının araştırıldığı çalışmalar bölgesel ve il bazlıdır. Şentürk ve ark. [52] yapmış oldukları çalışmada Akdeniz Bölgesindeki postpartum subklinik ketozis prevelansının %14,8, Ege Bölgesinin %16,6 ve Marmara Bölgesinin %22,3 olduğunu bildirmiştir. Başbug ve ark. [53] ise yaptıkları bir çalışmada Sivas yöresindeki subklinik ketozis prevelansının %12 olduğunu bildirmiştir.

Amerika'da yapılan ve subklinik hipokalsemi insidansının belirlendiği bir çalışmada, serum Ca seviyesi 2,0 mM un altında olan inekler hasta olarak belirlenmiş ve yaşla birlikte insidans değerlerinin 1. laktasyondan 6. laktasyona doğru sırasıyla %25, %41, %49, %51, %54 ve %42 olarak belirlenmiştir [54]. Ayrıca, yine Amerika'da yapılan başka bir çalışmada Kimura et al. [55] ikinci laktasyon ve sonrasındaki ineklerin %47 sinde, fizyolojik ve immun sistem fonksiyonlarını bozacak subklinik vakalarının görüldüğünü rapor etmişlerdir. Öte yandan, subklinik tanısı için minimum serum Ca sınır değerlerinin çeşitli çalışmalarda farklı seçilmesi nedeniyle insidans değerlerinin %20 ile %40 arasında değiştiği bildirilmiştir [4]. Yapılan literatür taramasında subklinik hipokalseminin ülkemizdeki prevelans ve insidansına yönelik herhangi bir araştırmaya rastlanılmamıştır.

5. SUBKLİNİK METABOLİK HASTALIKLARIN PERİPARTURİENT DÖNEM HASTALIKLARIYLA İLİŞKİLERİ

Geçiş döneminde, yukarıda belirtildiği gibi görülme ihtimali fazla olan subklinik metabolik hastalıklar, söz konusu dönemde bir takım diğer hastalıkların görülme riskini artırmaktadır. Örneğin Corium Ungulae'nin subakut, akut, kronik ve subklinik seyirli diffuz ve aseptik bir yangısı olarak bilinen laminitis, sığır yetiştiriciliğinde önemli bir sağlık ve hayvan refahı

sorunudur. Beslenme, özellikle subakut ve akut ruminal asidoz, laminitisle yakından ilişkilidir. Kesin olarak subakut rumen asidozu ve laminitis arasındaki ilişki aydınlatılmamış olsa da, subakut ve kronik laminitis olguları subakut rumen asidozlu ineklerde tırnaklarda renk kaybı, ülser, hemoroji ve yapısının bozulması şeklinde klinik bulgularla tanımlanmıştır [56]. Enemark et al. [57] sığırcılık işletmelerinde laminitis prevalansının %10'dan fazla olması durumunun, subakut rumen asidozlu bir sürüden şüphelenmeye yol açan önemli nedenler arasında sayılabileceğini bildirmiştir. Ayrıca laminitis sebepleri multifaktöriyel olup, genetik, ahırdaki gübre temizlik sistemleri ile enfeksiyöz hastalıkların olup olmaması, sürüdeki subakut rumen asidozunun tetiklediği laminitis prevalansını etkilemektedir. Periparturient dönemde görülen, diğer bir subklinik metabolik hastalık olan subklinik ketozis, klinik ketozis, metritis ve kistik ovaryum gibi hastalıklara zemin hazırlayarak üreme performansında düşüşlere yol açabilmektedir [58]. Ayrıca, subklinik ketozisli hayvanlarda hem mastitis hem de metritis insidansının önemli derecede yükseldiği ve mastitis ile metritis gibi periparturient dönemde önemli enfeksiyöz hastalıklara yatkınlığın arttığı Uyarlar ve ark. [59] tarafından rapor edilmiştir. Subklinik ketozise bağlı oluşan hiperketonemi ile metritis arasındaki pozitif ilişkinin nedeni olarak, doğumu takip eden ilk 1-2 hafta boyunca yem tüketiminin düşmesi ile kanda metritis için önemli bir risk kaynağı olan EYA ve BHBA seviyelerinin yükselmesi gösterilmiştir [60].

Subklinik ketozisin zemin hazırladığı bir diğer hastalık abomazum deplasmanı olup, kan BHBA konsantrasyonunun 1000 µmol L-1'nin üzerindeki seviyelerde abomazum deplasmanı riskinin arttığı bildirilmektedir [61]. Ayrıca, doğum sonrası ilk iki hafta, BHBA seviyesinin 1600 µmol L-1 veya üstünde olması durumunda da abomazum deplasmanı veya klinik ketozis şekillenme ihtimalinin üç kat arttığı da rapor edilmiştir [48]. Sığırlarda subklinik hipokalsemi durumunda kasların kontraksiyonu azalmakta, bu durum ketosiz ve abomazum deplasmanı riskini artırabilmektedir [35]. Martinez et al. [62] yaptıkları bir çalışmada, subklinik hipokalsemi hayvanlarda ketozis riskinin laktasyonun 7. gününde en yüksek seviyeye ulaştığını ve sağım sonrası meme sfinkterlerinin tam kapanmamasına bağlı olarak ineklerde mastitis insidansının yükseldiğini bildirmişlerdir. Kan Ca düzeyinin azalmasına bağlı olarak polimorfonükleer yangı hücrelerinde, hücre içi Ca seviyesi düşmektedir. Bunun sonucu olarak, fagositoz işleminin yavaşladığı, hücrel immun yanıtın olumsuz yönde etkilendiği ve sonuçta metritis ile mastitis riskinin artırdığı rapor edilmiştir [63, 64]. Aynı şekilde, Martinez et al. [62] subklinik hipokalsemi ile metritis arasında önemli bir bağlantının bulunduğunu bildirirken, Chapinal et al. [64] böyle bir ilişkinin mevcut olmadığını, ancak subklinik hipokalsemiye bağlı abomazum deplasmanı riskinde artışların bulunduğunu belirtmiştir. Öte yandan, LeBlanc et al. [61] serum Ca konsantrasyonu ile abomazum deplasmanı insidansı arasında bir korelasyon tespit edememişlerdir.

6. SUBKLİNİK METABOLİK HASTALIKLARDA GÜNCEL TANI YÖNTEMLERİ

Süt sığırı sürülerinde subakut rumen asidozunun tanısının güç olduğu, kesin sonuç veren sürü bazlı testlerin bulunmadığı daha çok erken laktasyon döneminde sürü problemi olarak ortaya çıkan bu hastalığın teşhisinde sürü performansı, klinik bulgular ve ölçülen rumen pH değerlerinin mutlaka bir arada değerlendirilerek sürü bazlı değerlendirmelerin yapılması gerektiği Oetzel et al. [65] tarafından bildirilmiştir. Öte yandan literatürde subakut rumen asidozu ile metabolik profil parametreleri arasındaki ilişki hakkında çok az veri mevcuttur. Subakut rumen asidozu, ortak klinik belirtiler olmadan ortaya çıkmakta ve çoğu zaman teşhis edilememektedir. Bilim adamlarının çoğu, subakut rumen asidozunun teşhisi için kan gazı analizine odaklanmış ve kan gazı analizinin, süt ineklerinde asidoz teşhisi için değerli bir araç olduğunu, rumen pH analizinden daha az invaziv bir yöntem olabileceğini belirtmişlerdir. Ancak kan gazı analizinin yüksek maliyet gibi birçok sınırlaması olmakla birlikte çoğu çiftlikte de mevcut değildir [66]. Bu nedenle Gianesella et al. [67] ruminal hastalıklara ve bunların metabolik profil parametreleri üzerindeki spesifik etkilerine odaklanılmasını önermektedirler.

Subakut rumen asidozunun teşhisi klinik bulguların spesifik olmaması nedeniyle güçtür [7]. Spesifik olmayan klinik tabloyla birlikte yem analizleri, idrarın laboratuvar analizleri (renal düzenleyicinin kullanım yüksekliği konusunda yol gösterdiği için idrarda net asit-baz ifrazı ve idrar pH değerlerinin tayini), metabolik muayeneler (intraseküller asidoz hakkında aydınlatıcı olduğu için eritrosit hemolizatında baz fazlalığı tespiti; tampon sistemlerin kapasitesi hakkında bilgi verdiği için venöz kanda baz fazlalığı tespiti; kanda asidozun varlığı konusunda açıklayıcı bilgi sağladığı için venöz kanda pH değerinin tespiti) ile tanı konur. Hemen hemen bütün subakut rumen asidoz vakalarında pH değeri ve net asit-baz ifrazı değerinin klinik-şimik idrar muayenelerinde düştüğü, ayrıca kalsiuri, fosfaturi ve fenol kırmızısı yarı değer süresinin uzadığı gözlenir. Ancak farklı nedenlerin de asidüri meydana getirebileceği unutulmamalıdır. İdrarın pH'sının saptanmasındansa, idrarda inorganik fosfat ifrazının artışı nedeniyle, net asit-baz ifrazının hesaplanması daha doğru olmaktadır. Net asit-baz ifrazı tespitinin özellikle saha testi olarak daha uygun olduğu rapor edilmiştir [68]. Ruminosentez ile alınan rumen içeriğinin pH'sı 5,8'in üzerinde ise negatif, 5,5 veya altında ise subakut rumen asidozu pozitif olarak değerlendirilmelidir [69].

Sahada rumen pH'sını belirlemede yaygın olarak kullanılan teknikler rumenosentez ve oral sonda uygulamasıdır [70]. Oral sonda tekniğinde salya kontaminasyonunun sıklıkla olması nedeniyle rumenosentezin, ruminal pH'nın tespitinde oral sonda tekniğinden daha güvenilir bir uygulama olduğu Duffield et al. [19] tarafından bildirilmiştir. Subakut rumen asidozunun teşhisinde rumenosentez uygulaması yerine süt yağ oranı, kan laktat dehidrogenaz, BHBA ve fruktozamin, idrarda fosfor atılımı ile renal net asit baz

salınımının (NABE) incelendiği bir araştırmada bakılan parametrelerin subakut rumen asidozuna bağlı etkilenebileceği ancak rumen pH'sı hakkında net bilgi vermediği, subakut rumen asidozunun teşhisi için rumenosentez gibi çeşitli tanı uygulamalarının rutin olarak yapılması gerektiği bildirilmiştir [18]. AlZahal et al. [71] ise minimum ruminal pH değeri ile rumen sıcaklık derecesi arasında negatif bir ilişkinin olduğunu ve dolayısıyla ruminal sıcaklığın ruminal pH'yı ve subakut rumen asidozunun tanısı koymada potansiyel bir yöntem olarak kullanılabilirliğini ileri sürmüşlerdir. Brown et al. [72] subakut rumen asidozlu genç tosunlarda kan pH ve bikarbonat seviyesinin düştüğünü göstermiştir. Gül ve ark. [68] ise subakut rumen asidoz vakalarında uçucu yağ asitlerinin konsantrasyonunun yükseldiğini, süt yağı oranının azaldığını, hemogramda ise sürekli olmayan bir lenfositoz olduğunu bildirmişlerdir. Sahada kullanılabilen portatif cihazlar son yıllarda kullanılmaya başlanmıştır. Bai et al. [73] subakut rumen asidozuna bağlı artan histamin seviyesini belirlemek amacıyla organik bir yarı iletken dayalı empedimetrik histamin biyosensör geliştirmişler, düşük maliyetli ve yüksek ticari hacimli sensör üretiminin kapısını açmışlardır. Zabasta et al. ise [74] subakut rumen asidozunun erken tanısında rumen parametrelerinin izlenmesi için siber-fiziksel sistem geliştirmişlerdir. Bu sistemde süt ineklerinde subakut rumen asidozunun erken teşhisi için düşük güçteki kablosuz sensör ağ sisteminin bir prototipi oluşturulmuştur. Bu prototip pH ve sıcaklık sensörlü retikulo-ruminal bolus, bir mikro denetleyici, bir radyo vericisi ve bir güç kaynağı modülü içermektedir ancak uzun vadeli güç kaynağı sistemi oluşturmak için araştırmalar devam etmektedir.

Rumen pH'sı ile idrar pH'sı arasında pozitif bir ilişki olup, NABE değerlendirilmesinin idrarın pH ölçümünden daha doğru sonuç verdiği bildirilmektedir [75]. Sahada NABE'nin sığırlarda subakut rumen asidozunun izlenmesi açısından önemli bir yöntem olabileceği bildirilmiştir [7].

NEFA ve BHBA, geçiş dönemindeki sığırlarda yaygın olarak kullanılan negatif enerji dengesi ve ketozisin belirteçleridir [33]. Subklinik ketozisli ineklerde, kan örneklerinde bakılan BHBA konsantrasyonunun sınır değerleri 1,2-1,4 mmol L⁻¹ olarak bildirilirken serum NEFA için bu değer > 0,26 mmol L⁻¹ olarak belirlenmiş ve kandaki BHBA'ya kıyasla %82,54 duyarlılık ve %91,89 özgüllük göstermiştir [34, 76]. Ancak NEFA seviyelerinin araştırıldığı birçok çalışma olmasına rağmen, test maliyeti ve örnekleme zorluğu büyük ölçekli çalışmaların yapılmasına engel olmuştur [77].

BHBA seviyesinin tespiti geleneksel olarak laboratuvar koşullarında yoğun ve kalifiye iş gücü gerektiren yöntemlerle yapılmaktadır [78]. BHBA konsantrasyonunu tespit etmek için mevcut ticari kitler (Cayman Chemical® β -Hydroxybutyrate (Ketone Body) Colorimetric Assay Kit; Abcam's beta Hydroxybutyrate (beta HB) Assay; BHBA ELISA Kit from antibodies-online Cow (Bovine) kullanılmaktadır. Sahada kullanılabilen BHBA tespitine dayalı ticari ketozis kitleri (Ketolac, Biolab, München, Germany) mevcut olmasına

rağmen, bu kitler kısmi doğruluktadır (Sensivite idrarda $\leq 4,000$ μmol BHBA L-1, sütte 100 μmol BHBA L-1. Spesifite idrarda $\geq 4,000$ μmol BHBA L-1, sütte 200 μmol BHBA L-1) [79]. Çok yakın zamanda sahada kullanılmak üzere beşeri ketozis el dedektörleri de kullanılmaya başlanmıştır [80]. Beşeri el dedektörleriyle elde edilen veriler, laboratuvar da tespit edilen BHBA değerleriyle karşılaştırıldığında subklinik ketozis için BHBA konsantrasyonu ≥ 1200 μmol L-1 olarak kabul edildiğinde el dedektörünün sensitivitesinin %85, spesifitesinin %94 olduğu, laboratuvar eşliğinin ≥ 1400 μmol L-1'e yükseltildiğinde sensitivitenin %90, spesifitenin %98'e yükseldiği, beşeri el dedektörünün saha koşullarında subklinik ketozisi tespit etmek için hızlı ve güvenilir bir teşhis testi olarak kullanılabilmesi bildirilmiştir [81]. Söz konusu test kiti özellikle insan kullanımı için dizayn edildiğinden Veteriner hekimlikte kullanımı sınırlı kalmış bu nedenle hayvanlara yönelik test kitlerinin geliştirilmesi amaçlı çalışmalar başlatılmıştır. Bu amaçla Weng et al. [82] yürüttükleri bir çalışmada hızlı, düşük maliyetli yüksek hassasiyet ve spesifiklikte subklinik ketozis tespitine yönelik bir biosensör geliştirmişlerdir. Düşük maliyetli ve minyatür hale getirilen optikal sensör kullanan çiplerle 0,05 mM BHBA konsantrasyonları 1 dakika içerisinde tespit edilebilmektedir. Geliştirilen bu biyosensörün subklinik ketozisli süt ineklerinden alınan serum örneklerinin başarılı bir şekilde analizini yapabildiği, bu yolla elde edilen sonuçlar ile laboratuvar koşullarında yapılan analiz sonuçlarının benzer olduğu da bildirilmiştir.

İneklerde davranış ölçütlerinin hastalık riskini belirlemede kullanılabilmesi Huzzey et al. [83] tarafından ileri sürülmüştür. Goldhawk et al. [84] buzağılama döneminde kuru madde tüketiminde 1 kg'lık azalma ve yem yeme süresindeki 10 dakikalık azalma subklinik ketozis olma ihtimalini sırasıyla 2,2 ve 1,9 oranında artırdığını tespit etmişlerdir.

Subklinik hipokalsemi ise, kesin tanı serum Ca seviyesinin belirlenmesi ile konulmaktadır. Sığırlarda normal değer 9-12 mg dl-1 iken, subklinik hipokalsemi vakalarında kanda toplam Ca konsantrasyonunun 1,38-2,0 mmol L-1 (5,5-8,0 mg dL-1) seviyelerine indiği görülür [85]. Ayrıca Etlenen diamin tetra asetik asit (EDTA) miktarının ölçülmesi ile de tanı konulabileceği bildirilmiştir [86]. Son yıllarda yapılan çalışmalar, hayvan davranışlarından klinik ve subklinik hipokalsemi tanısının konulup konulamayacağı üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu kapsamda Hendriks et al. [87] yapmış oldukları bir çalışmada doğumun gerçekleştiği günde subklinik ($\text{Ca} > 1,4$ ve $< 2,0$ mmol L-1) ve klinik ($\text{Ca} \leq 1,4$ mmol L-1) hipokalsemili ineklerin, sağlıklı ($\text{Ca} \geq 2,0$ mmol L-1) ineklere kıyasla, dinlenme amaçlı duraklara istatistiksel olarak önemli derecede daha fazla giriş çıkışı yaptığını (sağlıklı ineklerde 16,3-gün, subklinik hipokalsemili ineklerde 18,2-gün) bildirmiştir. Aynı çalışmada subklinik hipokalsemili ineklerin günlük adım sayısının sağlıklı ineklere göre sayısal olarak daha az olduğu rapor edilmiştir. Barraclough et al. [88] yukarıda belirtilen araştırma sonucundan farklı olarak sağlıklı ineklerde geçiş dönemi süresince adım sayısının azaldığını, subklinik hipokalsemili ineklerde ise adım

sayısının bu dönem boyunca sabit kaldığını tespit etmiştir. Son yıllarda yapılan diğer bir çalışmada kulak derisi sıcaklığı ile serum Ca konsantrasyonu arasındaki ilişki araştırılarak subklinik hipokalsemili ineklerin kulak derisi sıcaklığından yararlanılarak subklinik hipokalsemi tanısının konulabilmesi imkanları araştırılmıştır. Venjakob et al. [89] kulak sıcaklığının 0,39 derece düşüşüne bağlı olarak serum Ca seviyesinin 0,1 mmol L-1 azaldığını, ancak ortam sıcaklığının deri sıcaklığını etkilediğini ve bu nedenle pratik anlamda kullanılabilirliğinin güç olduğunu belirtmişlerdir.

7. SUBKLİNİK METABOLİK HASTALIKLARDA SÜRÜ TAKİP PROSEDÜRLERİ

Subklinik metabolik hastalıklar süt sığırı işletmelerinde infertilite ve süt veriminde azalma problemleri başta olmak üzere önemli ekonomik kayıplara sebep olmaktadır. Erken dönemde subklinik metabolik hastalıkların ortaya konulması, takibinin yapılması, beslenme ve fertilitite durumlarının değerlendirilmesi amacıyla dünyada ve ülkemizde birçok işletmede metabolik profil testleri yapılmaktadır [90]. Metabolik profil test, süt sığırlarının bazı kan biyokimyasal parametrelerinin yorumlanması temeline dayanır. Bu metabolitlerdeki normal limitlerden sapma ve anormalliklerin sebepleri araştırılarak değerlendirilmeli ve gerekli önlemler alınmalıdır.

7.1. Metabolik Profil Testte Değerlendirilen Parametreler

7.1.1. Enerji dengesinin değerlendirilmesi

Sürü bazlı metabolik profil değerlendirmelerinde geleneksel olarak, canlı ağırlık ve kondisyon değişiklikleri incelenmektedir. Ancak bu yöntem geçiş dönemi ele alındığında yeterli ve duyarlı bir yöntem olarak görülmemektedir [91]. Bu amaçla kullanılan parametreler BHBA, EYA, glikoz, kolesterol ve trigliseridlerdir. BHBA laktasyonun 5-50. günler arası subklinik ketozisin belirlenmesinde önem taşır. Laktasyondaki sığırlarda 1 mmol L-1'nin altında, kurudaki sığırlarda 0,6 mmol L-1'nin altında olmalıdır. 1,4 mmol L-1'den fazla olduğunda klinik ketozis gelişme ihtimali yüksektir. Ayrıca BHBA konsantrasyonunun 1,0 mmol L-1'den yüksek ineklerde abomazum deplasmanı görülme riski BHBA düzeyi düşük olanlardan 13,6 kat daha fazla olduğu bildirilmiştir [92]. Walsh et al. [93]'da laktasyonun 1. haftası içerisinde serum BHBA düzeyi yüksek ineklerde %20 daha az gebe kalma oranı görüldüğünü rapor etmişlerdir.

Doğumdan önceki 2-14. günler arası ideal EYA seviyesi 0,4 mmol L-1 iken laktasyondaki sığırlarda EYA konsantrasyonu 0,7 mmol L-1'nin altında olmalıdır. Bu değerler üzeri sürüde negatif enerji dengesi, karaciğer yağlanması, subklinik ve klinik ketozisin gelişebileceğini düşündürmelidir [94].

Enerji dengesinin değerlendirilmesinde BHBA ve EYA kadar güvenli olmasa da kan glikoz düzeyi bakılabilecek

bir diğer parametre olup 45-75 mg dL-1 normal düzeyidir. Bu değerın altındaki veriler negatif enerji dengesi ve ketozis riskine işaret edebilir [90].

Sığırlarda normal kolesterol düzeyi 80-180 mg dL-1'dir. Bu değerin düşmesi anoreksi ve karaciğer yağlanması görüldür. Doğum öncesi sığırlarda serum kolesterol düzeyi artarken, karaciğer yağlanması, ketozis, abomazum deplasmanı ve retensiyon sekondinarium olgularında hipokolesterolemi meydana gelir. Serum kolesterol seviyesindeki bu düşüş karaciğer yağlanması tanısında önem taşır. Yüksek süt verimli ineklerde gelişen yağlı karaciğer, ketozis ve abomazumun sola deplasmanı gibi problemlerde kan trigliserid ve total kolesterol değerleri azalır [95].

7.1.2. Protein dengesinin değerlendirilmesi

Hayvanlardaki protein durumunu doğrudan yansıtabilen herhangi bir parametre bulunmamaktadır [91]. Bu sebeple total protein, albümin, globülin, üre ve süt üre nitrojen düzeyleri bu amaçla kullanılan parametrelerdir. Sığırlarda normal değeri 6,7-7,5 g dL-1 olan total protein, albümin ve globülin miktarlarının toplamından oluşur. Sığırlarda albüminin normal değeri 3-3,6 g dL-1 olup protein bakımından yetersiz beslenme, sindirim ve emilim bozuklukları ile aşırı albümin kaybı durumlarında hipotalbuminemi oluşur. Hipotalbuminemi sürü sağlığı için önemli problemlerden olan paratüberkülozis, salmonellozis ve paraziter hastalıklarda da şekillenmektedir [96].

Sığırlarda globülinlerin normal değeri 3,0-3,5 g dL-1 olup büyük bölümünü immunglobülinler oluşturur. Hipoglobulinemi yeni doğanların şiddetli enfeksiyonlarında ve pasif transfer yetmezliklerinde önemli bir bulgudur [97]. Öte yandan hiperglobulinemi yetişkinlerde kronik RPT, karaciğer apseleri ve kronik pnömoni gibi kronik yangısal hastalıklarda ortaya çıkar [69].

Süt sığırlarında kan üre ve süt üre nitrojen konsantrasyonları 7,5-31,5 mg dL-1 arasındadır. Optimum değerin 12-15 mg dL-1 arasında değiştiği bildirilmektedir [98].

7.1.3. Mineral dengesinin değerlendirilmesi

Kalsiyum, fosfor, sodyum, potasyum, klor ve magnezyum bu amaçla değerlendirilmede kullanılan minerallerdir. Sığırlarda normal serum Ca düzeyi 9,7-12,4 mg dL-1'dir. Gebeliğin son ayında kalsiyum fosfor oranı 2 1-1'den fazla olan rasyon ile besleme, gebelik döneminde fosfor eksiliğine sebep olan beslenme şekilleri, gebeliğin son aylarında aşırı beslenerek karaciğer yağlanması da hipokalsemi riskini artırır. Yüksek süt verimli ineklerde görülen hipokalsemi, retensiyon sekondinarium, mastitis ve abomazum deplasmanları gibi problemlere yol açabilir [90].

8. SUBKLİNİK METABOLİK HASTALIKLARDAN KORUNMA YOLLARI

Subakut rumen asidozundan korunma, yemleme şartlarıyla yakından ilişkilidir. Rasyonların ve-veya yemleme uygulamalarının düzeltilmesi bu problemin çözümü için esastır. Diğer bir ifadeyle subakut rumen asidozunun önlenmesi için geçiş dönemi periyotta ruminal mukozanın ve ruminal mikrofloranın uygun bir adaptasyonu ve doğum sonrası periyotta yüksek enerji alınma rağmen ruminal pH'nın fizyolojik sınırlar içerisinde tutulması gerekmektedir [99]. Kullanılan rasyondaki enerji 1,54- 1,63 Mcal kg-1 net enerji olmalı ve yeterli miktarda kaba yem laktasyon başında verilmelidir. Tahıllar ve kaba yem karıştırılmalı ve kaba yemler uzun partiküllü olmalı, yemler ıslatılarak verilmemelidir. Doğum sonrası ilk haftada kesif yem kuru maddesi 3-5 kg'ı geçmemeli 100 kg canlı ağırlık için 800-1000 gram hesabı ile fabrika yemi verilmeli ve kademeli olarak birinci haftadan 6-8. haftaya kadar günlük 110-220 gram kadar artırılmalıdır [30].

Kuzey Amerika'daki sığır besi çiftliklerinde kimyasal tampon maddeleri (Bufferler) düzenli olarak yem rasyonlarına katıldığı ve bu maddelerin süt sığırlarında da asidozun önlenmesinde faydalı olduğu, ayrıca tamponlama özelliğine sahip bileşikler içerisinde sodyum bikarbonatın (110-225 gr gün-1) en etkili olduğu, subakut ve akut rumen asidozlu ineklerde faydalı olabileceği, ancak optimumun altında yemleme uygulamalarını tolere etmek için rutin bazlı kullanılmaması gerektiği Enemark [7] tarafından bildirilmektedir.

Subklinik ketozisten korunma ve kontrol başta iyi bir hayvan besleme yönetimi ile mümkün olabilmektedir. İlerleyen laktasyon sürecinde vücut kondisyon skoru (VKS) mutlaka yakından takip edilmeli, kondisyon skoru yüksek olan hayvanlar ile düşük olanlar ayırt edilerek farklı yemleme rejimlerine tabi tutulmalıdır. Laktasyonun ileri dönemindeki hayvanlar yağlandırılmamalı, rasyon hayvanın gerekli enerji ihtiyacını büyük ölçüde nişasta dışındaki kaynaklardan sağlayan, sindirilebilir selüloz oranı yüksek olmalıdır [100]. Nişasta içeren enerji kaynakları azaltılmalı ve adipoz dokulardan yağ mobilizasyonu en aza indirilmelidir. Kuru dönemde VKS'yi düşürmeye çalışmak yağ mobilizasyonuna davetiye çıkarabileceğinden, laktasyonun son dönemlerinde VKS'yi düşürmek daha avantajlıdır [34].

Subklinik ve klinik ketozisten korunmada, rasyona ayrıca; Kalsiyum propiyonat, niasin, propilen glikol, sodyum propiyonat ve rumen koruyucu kolin katılması önemlidir. Ayrıca monensin sodyum da subklinik ketozisin önlenmesine katkı sağlayan ürünlerden biridir. Doğumdan 2-3 hafta önce rasyona katıldığında, uygun içerikle birlikte, ketozis ve oluşabilecek komplikasyonları minimize edilebilir [101].

Subklinik ve klinik hipokalsemiyi önlemek amacıyla son yıllarda D vitamini kullanımı, enteral-parenteral Ca takviyesi ve diyetle Ca ve katyon-anyon farkı

(DCAD)'nin düzenlenmesi gibi birçok strateji test edilmiştir [102]. Diyetlerde Ca düzenlenmesi amacıyla yapılan çalışmalarda düşük Ca içerikli bir prepartum diyetin uygulanması ile PTH salgılanmasını uyaran bir Ca açığı oluşturulmak amaçlanmaktadır. Ancak preparatum dönemde sadece düşük Ca içerikli bir diyet ile beslenerek hipokalseminin önlenmesi zordur. Çünkü hayvanların günde 20 g Ca'dan daha az beslenmesi gerekli olup, bu durum ticari süt çiftliklerinde oldukça zordur. Düşük Ca içeren prepartum bir diyet oluşturmak, diyete Ca bağlayıcıların dahil edilmesiyle daha kolay elde edilebilir. Bu durum en yaygın olarak sentetik bir sodyum-alüminyum silikat olan zeolit A'nın uygulanması yoluyla gerçekleştirilir. Zeolit A, rumende Ca, P ve Mg'yi bağlar ve böylece Ca'da düşük bir diyet oluşturur [103]. Son çalışmalar, doğum öncesi 2 ile 3 hafta süreyle zeolit A ile beslenen ineklerin, erken peripartum dönemde serum Ca konsantrasyonlarının arttığını ancak doğum sonrası performansta farklılık bildirmediğini göstermiştir [104-106].

Son yıllarda yapılan diğer bir korunma yöntemi asidojenik diyetlerin hazırlanmasıdır [107, 108]. Negatif diyet katyon-anyon farkı (DCAD)'nin prensibi, güçlü katyonlara göre orantılı daha güçlü anyonlarla besleme yaparak kompanse edilmiş bir metabolik asidoz oluşturmaktır. Prepartum diyetlerin DCAD'si, $DCAD = [(mEq \text{ of } K) + (mEq \text{ of } Na)] - [(mEq \text{ of } Cl) + (mEq \text{ of } S)]$ formülünü dayandırılarak hazırlanmaktadır. Bazı araştırmalar hayvanların asidotik beslenme koşulları altında, muhtemelen idrarla atılan Ca'yı telafi etmek için Ca sindirilebilirliğinin arttığını göstermiştir [109-111].

4. SONUÇ

Periparturient dönemde sığırlarda görülen, ekonomik olarak önemli kayıplara neden olan ve bu dönemde abomazum deplasmanı, laminitis, rumenitis ve mastitis gibi birçok hastalığa zemin hazırlayan, subakut rumen asidozu, subklinik ketozis ve subklinik hipokalsemi gibi metabolik hastalıklar gittikçe daha fazla önem kazanmaktadır. Bu bağlamda klinik semptom göstermediklerinden teşhisi zor olan bu hastalıkların göz önünde bulundurulup koruma tedbirlerinin alınması ve düzenli aralıklarla sürü bazlı metabolik profil testlerin uygulanması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Fleischer P, Metzner M, Beyerbach M, Hoedemaker M, Klee W. The relationship between milk yield and the incidence of some diseases in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2001;84(9):2025-35.
- [2] Pryce J, Gaddis KP, Koeck A, Bastin C, Abdelsayed M, Gengler N, et al. Invited review: Opportunities for genetic improvement of metabolic diseases. *J. Dairy Sci.* 2016;99(9):6855-73.
- [3] Kleen J, Cannizzo C. Incidence, prevalence and impact of SARA in dairy herds. *Anim. Feed Sci. Tech.* 2012;172(1-2):4-8.
- [4] Duffield TF. Minimizing subclinical metabolic diseases in dairy cows. *Adv. Dairy Technol.* 2006;18:43-55.
- [5] Mostert P, Bokkers E, Van Middelaar C, Hogeveen H, De Boer I. Estimating the economic impact of subclinical ketosis in dairy cattle using a dynamic stochastic simulation model. *Anim.* 2018;12(1):145.
- [6] McArt J, Nydam D, Overton M. Hyperketonemia in early lactation dairy cattle: A deterministic estimate of component and total cost per case. *J. Dairy Sci.* 2015;98(3):2043-54.
- [7] Enemark JM. The monitoring, prevention and treatment of sub-acute ruminal acidosis (SARA): A review. *Vet. J.* 2008;176(1):32-43.
- [8] Liang D, Arnold L, Stowe C, Harmon R, Bewley J. Estimating US dairy clinical disease costs with a stochastic simulation model. *J. Dairy Sci.* 2017;100(2):1472-86.
- [9] Avcı C, Kızıl Ö. Geçiş Dönemindeki İneklerde Stres Parametreleri Üzerine Mineral Uygulamasının Etkileri. *F. Ü. Sağ. Bil. Vet. Derg.* 2012;26(2):87-91.
- [10] Sundrum A. Metabolic disorders in the transition period indicate that the dairy cows' ability to adapt is overstressed. *Anim.* 2015;5(4):978-1020.
- [11] Esposito G, Irons PC, Webb EC, Chapwanya A. Interactions between negative energy balance, metabolic diseases, uterine health and immune response in transition dairy cows. *Anim. Reprod. Sci.* 2014;144(3-4):60-71.
- [12] Nigussie T. A Review on the Role of Energy Balance on Reproduction of Dairy Cow. *J. Dairy Res. Tech.* 2018;1(003).
- [13] Atalay H. Milk Fat/Protein Ratio in Ketosis and Acidosis. *BAUN Sağ Bil Derg.* 2019;8(3):143-6.
- [14] White HM. The role of TCA cycle anaplerosis in ketosis and fatty liver in periparturient dairy cows. *Anim.* 2015;5(3):793-802.
- [15] Fiorentin EL, Zanollo S, Gato A, Piovezan AL, Alves MV, Rocha RX, et al. Occurrence of subclinical metabolic disorders in dairy cows from western Santa Catarina state, Brazil. *Pesq. Vet. Bras.* 2018;38(4):629-34.
- [16] Garrett EF, Pereira MN, Nordlund KV, Armentano L, Goodger W, Oetzel GR. Diagnostic methods for the detection of subacute ruminal acidosis in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 1999;82(6): p. 1170-1178.
- [17] Nordlund KV, Garrett EF, Oetzel GR. Herd-based rumenocentesis-a clinical approach to the diagnosis of sub acute rumen acidosis. 36th Annual Conference, 1995. Columbus. p.1-6
- [18] Enemark J, Jørgensen R. On-farm determination of blood acid-base and related parameters in diagnosing subclinical rumen acidosis. *Danish Veterinary Journal.* 2002;85(6)-13.
- [19] Duffield T, Plaizier JC, Fairfield A, Bagg R, Vessie G, Dick P, et al. Comparison of techniques for measurement of rumen pH in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2004. 87(1): p. 59-66.
- [20] Council NR. Nutrient requirements of dairy cattle, National Academies Press.2001.

- [21] Plaizier JC, Khafipour E, Li S, Gozho GN, Krause DO. Subacute ruminal acidosis (SARA), endotoxins and health consequences. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2012;172(1-2):p.9-21.
- [22] Church DC. *The Ruminant animal: digestive physiology and nutrition*, Englewood Cliffs, NJ : Prentice-Hall;1988.
- [23] Mertens DR. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 1997;80(7):1463-1481.
- [24] Plaizier JC, Garner T, Droppo T, Whiting T. Nutritional practices on Manitoba dairy farms. *Can. J. Anim. Sci.* 2004;84(3):501-509.
- [25] Van Soest PJ. *Nutritional ecology of the ruminant*, Cornell university press. 1994.
- [26] Dirksen G, Liebich H, Mayer E. Adaptive changes of the ruminal mucosa and their functional and clinical significance. *AABP.* 1985;116-120.
- [27] Gross J, van Dorland HA, Bruckmaier RM, Schwarz FJ. Performance and metabolic profile of dairy cows during a lactational and deliberately induced negative energy balance with subsequent realimentation. *J. Dairy Sci.* 2011;94(4):1820-1830.
- [28] Bruckmaier R, Gross JJ. Lactational challenges in transition dairy cows. *Anim. Prod. Sci.* 2017;57(7):1471-1481.
- [29] Serbest U, Çınar M, Hayırlı A. Sütçü ineklerde negatif enerji dengesi ve metabolik indikatörleri. *Kafkas Univ. Vet. Fak. Derg.* 2012;18(4):705-11.
- [30] Batmaz H. Sığırların İç Hastalıkları, Semptomdan Taniya, Tanıdan Sağaltıma. *VETAR Bursa Ltd Şti*; 2010.
- [31] Komiñiarek MA, Rajan P. Nutrition recommendations in pregnancy and lactation. *Med. Clin. North Am.* 2016;100(6):1199-215.
- [32] Cerrilla MEO, Martínez GM. Starch digestion and glucosemetabolism in the ruminant: a review. *Interciencia.* 2003;28(7):380-386.
- [33] Herdt TH. Ruminant adaptation to negative energy balance: Influences on the etiology of ketosis and fatty liver. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 2000;16(2):215-230.
- [34] Duffield T. Subclinical ketosis in lactating dairy cattle. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 2000;16(2):231-253.
- [35] Goff JP. The monitoring, prevention, and treatment of milk fever and subclinical hypocalcemia in dairy cows. *Vet. J.* 2008;176(1):50-7.
- [36] Fedota OM, Babalian VO, Mitiohlo LV, Mazniakov SM, Valilshchikov MV, Tyzhnenko TV, et al. Bone mineral density in evaluation of the productive traits and reproductive health of dairy cows. *Journal for veterinary medicine, biotechnology and biosafety.* 2017;3(4):16-22.
- [37] Goff JP, Liesegang A, Horst R. Diet-induced pseudohypoparathyroidism: A hypocalcemia and milk fever risk factor. *J. Dairy Sci.* 2014;97(3):1520-1528.
- [38] Goff JP. Macromineral physiology and application to the feeding of the dairy cow for prevention of milk fever and other periparturient mineral disorders. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2006;126(3-4):237-57.
- [39] Nasr MY, Elkhodary SA, Beder NA, Elshafey BG. Epidemiological and Diagnostic Studies on Subacute Ruminal Acidosis in Dairy Cows. *Alex. J. Vet. Sci.* 2017;53(2).
- [40] Stefańska B, Nowak W, Komisarek J, Taciak M, Barszcz M, Skomiał J. Prevalence and consequence of subacute ruminal acidosis in Polish dairy herds. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berl)* 2017;101(4):694-702.
- [41] Tajik J, Nadalian M, Raoufi A, Mohammadi GR, Bahonar AR. Prevalence of subacute ruminal acidosis in some dairy herds of Khorasan Razavi province, northeast of Iran. *Iran. J. Vet. Res.* 2009;10(1):28-32.
- [42] Vallejo-Timarán D, Reyes-Vélez J, VanLeeuwen J, Maldonado-Estrada J, Astaiza-Martínez J. Incidence and effects of subacute ruminal acidosis and subclinical ketosis with respect to postpartum anestrus in grazing dairy cows. *Heliyon.* 2020;6(4):e03712.
- [43] Garrett E, Nordlund K, Goodger W, Oetzel G. A cross-sectional field study investigating the effect of periparturient dietary management on ruminal pH in early lactation dairy cows. *J. Dairy Sci.* 1997;80(Suppl 1):169.
- [44] Kleen J, Hooijer G, Rehage J, Noordhuizen J. Rumenocentesis (rumen puncture): a viable instrument in herd health diagnosis. *Dtsch. Tierärztl. Wochenschr.* 2004;111(12):458-62.
- [45] Kerem U, Örtlek O. Aydın İlinde Bazı Sütçü Sığır İşletmelerinde Subakut Ruminal Asidozis İnsidansının Belirlenmesi. *MAE Vet. Fak. Derg.* 2017;2(1):25-39.
- [46] Daros RR, Hötzel MJ, Bran JA, LeBlanc SJ, von Keyserlingk MA. Prevalence and risk factors for transition period diseases in grazing dairy cows in Brazil. *Prev. Vet. Med.* 2017;145:16-22.
- [47] Garzón Audor AM, Oliver Espinosa OJ. Incidence and prevalence of clinical and subclinical ketosis in grazing dairy cattle in the Cundiboyacencian Andean plateau, Colombia. *CES med. vet. zootec.* 2018;13(2):121-36.
- [48] Duffield T, Lissemore K, McBride B, Leslie K. Impact of hyperketonemia in early lactation dairy cows on health and production. *J. Dairy Sci.* 2009;92(2):571-80.
- [49] McArt J, Nydam D, Ospina P, Oetzel G. A field trial on the effect of propylene glycol on milk yield and resolution of ketosis in fresh cows diagnosed with subclinical ketosis. *J. Dairy Sci.* 2011;94(12):6011-20.
- [50] McArt J, Nydam D, Oetzel G. Epidemiology of subclinical ketosis in early lactation dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 2012;95(9):5056-66.
- [51] Dohoo IR, Martin S. Subclinical ketosis: prevalence and associations with production and disease. *Comp. Med.* 1984;48(1):1.
- [52] Şentürk S, Cihan H, Mecitoglu Z, Çatık S, Akçıl GD, Kasap S, et al. Prevalence of ketosis in dairy herds in Marmara, Aegean and Mediterranean

- regions of Turkey. *Ankara Üniv. Vet. Fak. Derg.* 2016;63,283-288.
- [53] Başbuğ O, Akar Y, Ercan N. The investigation of the prevalence of subclinical ketosis in Sivas region dairy cows. *Eurasian J Vet Sci.* 2014;30(3),123-128.
- [54] Reinhardt TA, Lippolis JD, McCluskey BJ, Goff JP, Horst RL. Prevalence of subclinical hypocalcemia in dairy herds. *Vet. J.* 2011;188(1):122-4.
- [55] Kimura K, Reinhardt T, Goff J. Parturition and hypocalcemia blunts calcium signals in immune cells of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 2006;89(7):2588-95.
- [56] Stone W. Nutritional approaches to minimize subacute ruminal acidosis and laminitis in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 2004;87:E13-E26.
- [57] Enemark JMD, Jorgensen R, Enemark PS. Rumen acidosis with special emphasis on diagnostic aspects of subclinical rumen acidosis: a review. *Vet. ir Zootech.* 2002;20(42):16-29.
- [58] Whitaker D, Smith E, Da Rosa G, Kelly J. Some effects of nutrition and management on the fertility of dairy cattle. *Vet. Rec.* 1993;133(3):61-4.
- [59] Uyarlar C, Çetingül S, Gültepe EE, Sial AR, Bayram İ. Effects of Subclinical and Clinical Ketosis on The Incidence of Mastitis, Metritis, Culling Rate and Some Hematological Parameters in Dairy Cows. *Kocatepe Vet. J.* 2018;11(2):186-93.
- [60] Chapinal N, Carson M, Duffield T, Capel M, Godden S, Overton M, et al. The association of serum metabolites with clinical disease during the transition period. *J. Dairy Sci.* 2011;94(10):4897-903.
- [61] LeBlanc S, Leslie K, Duffield T. Metabolic predictors of displaced abomasum in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 2005;88(1):159-70.
- [62] Martinez N, Risco C, Lima F, Bisinotto R, Greco L, Ribeiro E, et al. Evaluation of peripartal calcium status, energetic profile, and neutrophil function in dairy cows at low or high risk of developing uterine disease. *J. Dairy Sci.* 2012;95(12):7158-72.
- [63] Ducusin R, Uzuka Y, Satoh E, Otani M, Nishimura M, Tanabe S, et al. Effects of extracellular Ca²⁺ on phagocytosis and intracellular Ca²⁺ concentrations in polymorphonuclear leukocytes of postpartum dairy cows. *Res. Vet. Sci.* 2003;75(1):27-32.
- [64] Chapinal N, Carson M, LeBlanc S, Leslie K, Godden S, Capel M, et al. The association of serum metabolites in the transition period with milk production and early-lactation reproductive performance. *J. Dairy Sci.* 2012;95(3):1301-9.
- [65] Oetzel GR. Diagnosis and management of subacute ruminal acidosis in dairy herds. *Vet. Clin. North Am. Food Anim.* 2017;33(3):463-480.
- [66] Madreseh-Ghahfarokhi S, Dehghani-Samani A. Blood metabolic profile tests at dairy cattle farms as useful tools for animal health management. *Bulg.* 2020;23(1).
- [67] Giancesella M, Morgante M, Cannizzo C, Stefani A, Dalvit P, Messina V et al. Subacute ruminal acidosis and evaluation of blood gas analysis in dairy cow. *Vet. Med. Int.* 2010.
- [68] Gül Y. Latent asidotik stres. *F. Ü. Sağ. Bil. Vet. Derg.* 2010;24(1):51-55.
- [69] Smith B. Large animal internal medicine. 3rd ed. St. Louis: Mosby;2002.
- [70] Enemark JMD, Jørgensen RJ, Kristensen NB. An evaluation of parameters for the detection of subclinical rumen acidosis in dairy herds. *Vet. Res. Commun.* 2004;28(8):687-709.
- [71] AlZahal O, Kebreab E, France J, Froetschel M, McBride B. Rumen temperature may aid in the detection of subacute ruminal acidosis. *J. Dairy Sci.* 2008;91(1):202-7.
- [72] Brown M, Krehbiel C, Galyean M, Remmenga M, Peters J, Hibbard B, et al. Evaluation of models of acute and subacute acidosis on dry matter intake, ruminal fermentation, blood chemistry, and endocrine profiles of beef steers. *J. Anim. Sci.* 2000;78(12):3155-68.
- [73] Bai H, Vyshniakova K, Pavlica E, Malacco VMR, Yiannikouris A, Yerramreddy TR, et al. Impedimetric, PEDOT: PSS-Based Organic Electrochemical Sensor for Detection of Histamine for Precision Animal Agriculture. *IEEE Sensors Letters.* 2020;4(10):1-4.
- [74] Zabasta A, Kunicina N, Vitols N, Duritis I, Grunde U, Judvaitis J, et al. Low-power wireless sensor network system for early diagnostic of subacute rumen acidosis in cows. in 2019 IEEE 7th IEEE Workshop on Advances in Information, Electronic and Electrical Engineering (AIEEE). 2019.
- [75] Lachmann G, Siebert H. Bestimmung des Saure-Basen-Status in den Erythrozyten und im Lebergewebe beim Rind. *Monatshefte für Veterinarmedizin*, 1980.
- [76] Asl AN, Nazifi S, Ghasrodashti AR, Olyae A. Prevalence of subclinical ketosis in dairy cattle in the Southwestern Iran and detection of cutoff point for NEFA and glucose concentrations for diagnosis of subclinical ketosis. *Prev. Vet. Med.* 2011;100(1):38-43.
- [77] McArt JA, Nydam DV, Oetzel GR, Overton TR, Ospina PA. Elevated non-esterified fatty acids and β -hydroxybutyrate and their association with transition dairy cow performance. *Vet. J.* 2013;198(3):560-570.
- [78] Townsend J. Cowside tests for monitoring metabolic disease. *Tri-State Dairy Nutrition Conference*, 2011. Indiana:2011. p. 55-60
- [79] Samiei A, Liang J, Ghorbani G, Hirooka H, Yaakub H, Tabatabaei M. An evaluation of [Beta]-hydroxybutyrate in milk and blood for prediction of subclinical ketosis in dairy cows. *Pol. J. Vet. Sci.* 2010;13(2):349.
- [80] Mahrt A, Burfeind O, Voigtsberger R, Müller A, Heuwieser W. Evaluation of a new electronic handheld meter for measurement of β -

- hydroxybutyric acid in dairy cows. *Tierarztl Prax. Ausg. G. Grosstiere Nutztiere* 2014;42(1):5-10.
- [81] Voyvoda H, Erdogan H. Use of a hand-held meter for detecting subclinical ketosis in dairy cows. *Res. Vet. Sci.* 2010;89(3):344-51.
- [82] Weng X, Zhao W, Neethirajan S, Duffield T. Microfluidic biosensor for β -Hydroxybutyrate (β HBA) determination of subclinical ketosis diagnosis. *J. Nanobiotechnology.* 2015;13(1):13.
- [83] Huzzey J, Duffield T, LeBlanc S, Veira D, Weary D, Von Keyserlingk M. Haptoglobin as an early indicator of metritis. *J. Dairy Sci.* 2009;92(2):621-5.
- [84] Goldhawk C, Chapinal N, Veira D, Weary D, Von Keyserlingk M. Prepartum feeding behavior is an early indicator of subclinical ketosis. *J. Dairy Sci.* 2009;92(10):4971-7.
- [85] Gül Y. Geviş Getiren Hayvanların İç Hastalıkları (Sığır, Koyun-Keçi). In: Gül Y editör. II. Baskı Malatya:Medipres Matbaacılık Ltd Şti; 2006. p.452-4.
- [86] Alaçam E. Evcil hayvanlarda doğum ve infertilite. In: Alaçam E editör. Ankara: Medisan Yayınları;1997.
- [87] Hendriks S, Huzzey J, Kuhn-Sherlock B, Turner S-A, Mueller K, Phyn C, et al. Associations between lying behavior and activity and hypocalcemia in grazing dairy cows during the transition period. *J. Dairy Sci.* 2020;103(11):10530-10546.
- [88] Barraclough R, Shaw D, Thorup V, Haskell M, Lee W, Macrae A. The behavior of dairy cattle in the transition period: Effects of blood calcium status. *J. Dairy Sci.* 2020;103(11):10604-10613.
- [89] Venjakob P, Borchardt S, Thiele G, Heuwieser W. Evaluation of ear skin temperature as a cow-side test to predict postpartum calcium status in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2016;99(8):6542-9.
- [90] LeBlanc S. Monitoring metabolic health of dairy cattle in the transition period. *J. Reprod. Dev.* 2010;56(S):S29-S35.
- [91] Salman M, Bölükbaş B. P45-Geçiş Dönemindeki Süt İneklerinde Metabolik Profil ve Analitik Testler. 1. Uluslararası Hayvan Besleme Kongresi, 2016. Antalya.
- [92] Seifi HA, LeBlanc SJ, Leslie KE, Duffield TF. Metabolic predictors of post-partum disease and culling risk in dairy cattle. *Vet J.* 2011;188(2):216-20.
- [93] Walsh R, Walton J, Kelton D, LeBlanc S, Leslie K, Duffield T. The effect of subclinical ketosis in early lactation on reproductive performance of postpartum dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2007;90(6):2788-96.
- [94] Duffield T, LeBlanc S, Bagg R, Leslie K, Ten Hag J, Dick P. Effect of a monensin controlled release capsule on metabolic parameters in transition dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2003;86(4):1171-6.
- [95] Quiroz-Rocha GF, LeBlanc S, Duffield T, Wood D, Leslie KE, Jacobs RM. Evaluation of prepartum serum cholesterol and fatty acids concentrations as predictors of postpartum retention of the placenta in dairy cows. *J. Am. Vet. Med. A.* 2009;234(6):790-3.
- [96] Kennerman E. Süt Sığırlarında Metabolik Profil Test. *Türkiye Klinikleri J. Vet. Sci.* 2011;2(2):96-101.
- [97] Weaver DM, Tyler JW, VanMetre DC, Hostetler DE, Barrington GM. Passive transfer of colostral immunoglobulins in calves. *J. Vet. Intern. Med.*2000;14(6):569-77.
- [98] Godden SM, Kelton D, Lissemore K, Walton J, Leslie K, Lumsden J. Milk urea testing as a tool to monitor reproductive performance in Ontario dairy herds. *J. Dairy Sci.* 2001;84(6):1397-406.
- [99] Kleen J, Hooijer G, Rehage J, Noordhuizen J. Subacute ruminal acidosis (SARA): a review. *J. Vet. Med. A.* 2003;50(8):406-14.
- [100] Souissi W, Bouraoui R. Relationship between Body Condition Score, Milk Yield, Reproduction, and Biochemical Parameters in Dairy Cows. *Lactation in Farm Animals-Biology, Physiological Basis, Nutritional Requirements, and Modelization: IntechOpen: 2019.*
- [101] Duffield T, Sandals D, Leslie K, Lissemore K, McBride B, Lumsden J, et al. Efficacy of monensin for the prevention of subclinical ketosis in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 1998;81(11):2866-73.
- [102] Wilkens MR, Oberheide I, Schröder B, Azem E, Steinberg W, Breves G. Influence of the combination of 25-hydroxyvitamin D3 and a diet negative in cation-anion difference on peripartal calcium homeostasis of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2012;95(1):151-164.
- [103] Thilising T, Jørgensen RJ, Poulsen HD. In vitro binding capacity of zeolite A to calcium, phosphorus and magnesium in rumen fluid as influenced by changes in pH. *J. Vet. Med. A.* 2006;53(2):57-64.
- [104] Niu M, Ying Y, Bartell P, Harvatine K. The effects of feeding rations that differ in fiber and fermentable starch within a day on milk production and the daily rhythm of feed intake and plasma hormones and metabolites in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2017;100(1):187-98.
- [105] Roche J, Heiser A, Crookenden M, Burke C, Turner S, Kuhn-Sherlock B, et al. The effect of feeding synthetic zeolite A prepartum on indices of mineral and metabolic status, milk production and reproduction in grazing dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2018;101:175.
- [106] Kerwin A, Ryan C, Leno B, Jakobsen M, Theilgaard P, Barbano D, et al. Effects of feeding synthetic zeolite A during the prepartum period on serum mineral concentration, oxidant status, and performance of multiparous Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 2019;102(6):5191-207.
- [107] Lean I, Santos J, Block E, Golder H. Effects of prepartum dietary cation-anion difference intake on production and health of dairy cows: A meta-analysis. *J. Dairy Sci.* 2019;102(3):2103-33.
- [108] Santos J, Lean I, Golder H, Block E. Meta-analysis of the effects of prepartum dietary cation-anion difference on performance and

- health of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2019;102(3):2134-54.
- [109] Damir HA, Phillippo M, Thorp B, Milne J, Dick L, Inevison I. Effects of dietary acidity on calcium balance and mobilisation, bone morphology and 1, 25 dihydroxyvitamin D in prepartal dairy cows. *Res. Vet. Sci.* 1994;56(3):310-8.
- [110] Schonewille JT, Van't Klooster AT, Dirkwager A, Beynen A. Stimulatory effect of an anion (chloride)-rich ration on apparent calcium absorption in dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 1994;40(3):233-40.
- [111] Roche JR, Dalley DE, O'Mara FP. Effect of a metabolically created systemic acidosis on calcium homeostasis and the diurnal variation in urine pH in the non-lactating pregnant dairy cow. *J. Dairy Res.* 2007;74(1):34-9.



Afet Yönetimi ve Kablosuz İletişim Sürekliliğine Genel Bakış

Gizem ORTAÇ¹, Derya YILTAŞ-KAPLAN^{1*}

¹ İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye
 Gizem ORTAÇ ORCID No: 0000-0003-1228-9852
 Derya YILTAŞ-KAPLAN ORCID No: 0000-0001-8370-8941

*Sorumlu yazar: dyiltas@iuc.edu.tr

(Alınış: 10.12.2020, Kabul: 30.04.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Anahtar Kelimeler
 Afet Uyarı Sistemi,
 Afet Yönetimi, Haberleşme Sistemi,
 Kablosuz İletişim, İletişim Ağı

Öz: Afet sırasında ve sonrasında bir bölgedeki iletişim sistemlerinin çalışmaya devam etmesi hayati öneme sahip konulardan biridir. Afet ve diğer acil durum zamanlarında telekomünikasyon altyapısında oluşan hasarların tespiti ve tamiri oldukça büyük vakit kaybına neden olabileceği için bu iletişim şekli tercih edilmemektedir. Ayrıca ortaya çıkabilecek hizmet kayıpları da afet bölgesindeki yardım ekiplerinin yaşayabileceği zorlayıcı durumlardan biridir. Bu nedenle hem afetlerden önce uyarı sistemlerinin tasarlanması hem de afet sürecinde iletişim sürekliliğinin sağlanması çok büyük bir öneme sahiptir. Bu sistemler sayesinde doğal afetlerden kaynaklanabilecek zararlar en aza indirgenebilmektedir. Bu alanda gerçekleştirilen teknik ve bilimsel araştırmalar da oldukça önemlidir. Bu araştırmaların kapsamında çoğunlukla afet uyarı sistemleri, bir afetin etkilemeyeceği iletişim ağlarının geliştirilmesi ve alternatif haberleşme sistemleri bulunmaktadır. Mevcut çalışmada ise son yıllarda çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan afet ve acil durum yönetim uygulamaları hakkında bir derleme yapılmıştır. Teknolojik açıdan farklı sistemlerin neler olduğu ve bunların işleyişi açıklanmaktadır. Bu çalışma ile aynı çatı altına alınan literatür örnekleri, özellikle bilgisayar mühendisliği alanındaki gelişmeleri disiplinler arası bir platforma taşımaktadır.

An Overview of Disaster Management and Wireless Communication Continuity

Keywords
 Disaster Warning System,
 Disaster Management, Telecommunication System,
 Wireless Communication, Communication Network

Abstract: It is vital that communication systems in a region continue to function during and after a disaster. This form of communication is not preferred since the detection and repair of the damages in the telecommunication infrastructure during disasters and other emergencies can cause a considerable waste of time. In addition, possible service losses are one of the challenging situations that aid teams in the disaster area may experience. For this reason, it is of great importance to design warning systems before disasters and to ensure continuity of communication during the disaster process. Thanks to these systems, damages that may arise from natural disasters can be minimized. Technical and scientific research in this field is also very important. The scope of these researches mostly includes disaster warning systems, development of communication networks that will not be affected by a disaster, and alternative communication systems. In the present study, a review has been made on disaster and emergency management practices implemented by various researchers in recent years. Technologically different systems and their functioning are explained. Literature examples taken under the same roof with this study have brought the developments in the field of computer engineering to an interdisciplinary platform.

1. GİRİŞ

İnsanlık tarihi boyunca doğal veya suni afetler sürekli var olmuştur ve önlenemez felaketleri oluşturmuştur. Afetlerin oluşumuna etki edilemese de ortaya çıkaracakları hasarların azaltılmalarına çalışılmaktadır.

Bu amaçla etkin uyarı sistemleri ve afet sonrası kurtarma yönergeleri hazırlanmalıdır. Afetler sırasında meydana gelen olaylar arasında iletişim altyapısının çökmesi bulunmaktadır. Buradaki başlıca etkenler anten ve güç kaynağı gibi donanımsal ekipmanın hasar görmesi ile binaların yıkılmasıdır. Bu şekilde çok büyük zararlar doğuran afet olaylarına karşı detaylı acil durum yönetim

planlarının ve bununla bağlantılı olarak erken uyarı sistemlerinin hazırlanması oldukça önemli bir iştir. Böylece insanlar, teçhizatlar ve gereksinim duyulacak çeşitli malzemeler koruma altına alınabilir. Afet yönetimi ve aynı kapsamdaki acil durum müdahalesi ile bu işlemler planlandığında hız önemli bir etken ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle hasar gören iletişim altyapılarının tamirinden çok, alternatif iletişim sistemlerinin tasarlanması ve devreye konması daha uygundur. Böylelikle afet karşısında bütün toplum yanında korunma ve dayanıklılık da oluşabilecektir [1-2].

Afet sonrasında iletişim sistemlerinin korunması kapsamında birçok önemli konuya gereksinim duyulmaktadır. Bunlar arasında afet bölgelerinde arama-kurtarma çalışmalarının organize edilmesi, insanların tahliye edilmesi, acil ihtiyaçların hızlıca tespit edilmesi ve ulaştırılması, güvenliğin sağlanması gibi önemli görevler bulunmaktadır. Bütün bu işlemlerin gerçekleştirilmesi için görevli ekipler arasındaki iş birliğinin hızlıca sağlanması ve bu amaçla da bir iletişim ağının oluşturulması gerekmektedir. Güvenilir ve yeterli kapasiteyi taşıyan bir bant genişliğine sahip bilgi ve iletişim ağı sayesinde en temel öncelikler olan gıda ve yaşam malzemesi ihtiyaçlarının tedarik adımları gerçekleştirilmeli ve bu malzemelerin ihtiyaç sahiplerine dağıtılması sağlanmalıdır [3]. Bu çalışma boyunca bahsedilen ağ yapıları, bilgisayar sistemlerinden sonra ortaya çıkan bir kavram olarak, gerektiğinde hücreli iletişim ağlarını oluşturan çeşitli cihazların bir araya gelmiş halini ifade etmektedir. Afet durumlarında aralarında bağlantı oluşturulan her türlü ekipman bütün olarak bunu ifade etmektedir.

Afet müdahale kuruluşlarının iş koordinasyonunu sağlamaları ve gerekli iletişimi kurmaları için çeşitli bilgi ve iletişim teknolojileri kullanılmaktadır. Ancak bu teknolojilerin gelişen dünyaya ayak uydurarak sürekli güncellenmesi ve yeni versiyonlarının ortaya çıkarılması gerekmektedir. Bu nedenle bilgi ve iletişim teknolojileriyle ilgili yazılım ve donanımı tasarlayan, başka bir deyişle araştırma-geliştirme alanında çalışan uzmanların afet müdahale kuruluşlarıyla iş birliği içinde olmaları önemlidir. Böylece gerekli ihtiyaçlar daha net bir şekilde öğrenilerek bu doğrultuda sistemler üretilebilmektedir. Günümüzde acil müdahale ekipleri ile vatandaşlar arasında bilgi alışverişini ve iletişimi kolaylaştırmak amacıyla birçok araç ve ortam kullanılmaktadır. Bunlar arasında çevrimiçi haritalar, sosyal medya, akıllı saatler ve mobil uygulamalar bulunmaktadır. Ayrıca hücreli altyapısının olmadığı durumlarda bile iletişim kurmayı sağlayan, bozulmaya karşı toleranslı ağ sistemleri vardır. Uluslararası düzeyde de afet müdahalesi koordinasyonunu sağlamak için bulut tabanlı servisler sunan teknoloji şirketleri bulunmaktadır. Ayrıca insansız hava araçları (İHA'lar) ve arama-kurtarma robotları da afet bölgesindeki yardım faaliyetleri için kullanılmaktadır. Burada önemli olan nokta, bu teknolojilerin birbirine bağlı ve hiyerarşik bir düzende çalışma gerekliliğidir. Bu kapsamda bilgi ve iletişim sistemlerinde çalışan görev ekiplerinin

belirlenmesi ve etkin görev dağılımlarının yapılması bunu sağlamaktadır [4].

Afet müdahale sistemlerinin dışında uyarı sistemleri de acil durum veya afet öncesi yaklaşan tehdidi duyurmak ve gerekli tedbirlerin alınmasına zaman kazandırmak için gereklidir. Bu sistemler ortaya çıkacak tehdidin özellikleriyle ilgili gerekli mercilerin ve tehlikede olan kişilerin bilgi almalarını ve bu konuda geri dönüş yapmaları için belirli bir sürenin kazanılmasını sağlamaktadırlar. Bunlarla birlikte ortaya çıkabilecek tehditleri engellemek amacıyla yeterli bir ön sürenin olması için de afet yönetim sürecinin erken uyarı ve hazırlık aşamaları çok önemlidir. Literatürde yapılan çalışmalardan edinilen bilgilere göre afet uyarı sistemlerinin can ve mal kayıplarını büyük oranda azalttığı görülmektedir.

Bu çalışmada 2. Bölüm afet uyarı sistemlerini ve bunların çeşitlerini açıklamaktadır. 3. Bölüm afet bölgesindeki iletişim ağının sahip olması gereken koşulları ele almaktadır. 4. Bölüm son yıllarda literatürde yer alan çalışmaların geniş çaplı analizini sunmaktadır. Son olarak 5. Bölüm konuyla ilgili bazı önemli noktalara değinmektedir.

2. AFET UYARI SİSTEMLERİ

Afet uyarı sistemleri doğal afet kaynaklı can ve mal kaybını azaltmak için geliştirilen araçlardır. Bu sistemler sayesinde afetten etkilenebilecek kişilere afet hakkında ön bilgiler ve afetten korunmak için alınabilecek tedbirler iletilmektedir. Böyle bir hazırlık, erken tespit ve uyarı iletişiminin olması durumunda afet sonrasında can ve mal kayıplarının azaltılabildiği görülmektedir. Bu duruma en iyi uluslararası örnekler arasında gösterilen 2004 yılında Hint Okyanusu'nda gerçekleşen tsunami, 2009 yılında Avustralya'daki Victoria orman yangını ve 2011'de Japonya'da gerçekleşen Tohoku depremi ve tsunami olayları hakkında ayrıntılı bilgiler incelenebilir.

Afet uyarı sistemlerinin etkin çalışmaları için altyapılarının güvenilir, iletişim ağlarının da dayanıklı olması gerekmektedir. Yaygın uyarı sistemleri sirenler ve radyo/televizyon gibi aygıtlardır. Bu konuda günümüzde sürekli gelişmeye devam eden teknolojiler ise İnternet ortamı aracılığıyla birleşen mobil ve sosyal ağ yapıları ile kullanıcı taraflı bilgilerin de devreye girmesini sağlamaktadır. Örneğin birçok ülkenin acil durum yönetimi için kullanmakta olduğu mobil konum tabanlı hizmetler afetlerden korunmak için çok önemli görevleri yerine getirmektedir [5].

Yaklaşmakta olan afet veya risk durumları hakkında uyarı mesajları iletmek ve kritik olan güvenlik bilgilerini sunmak amacıyla yedek iletişim kanallarının oluşturulması zorunludur. Bu yedek kanallar erişim kapsamını genişleterek ilettikleri uyarıların etkinliğini çoğaltabilmekte ve acil durum bilgilerinin teyit edilmesini sağlayabilmektedirler. Tabela, siren, hoparlör, radyo/televizyon, sabit telefon şebekesi ve İnternet gibi geleneksel iletişim kanalları yalnızca uyarıların bilgi işlevini karşılayabilir. Daha kapsamlı iletişim için çeşitli

uyarı sistemleri geliştirilmeye devam edilmektedir. Temel olarak mobil, uydu tabanlı, kablosuz ağ tabanlı ve hava aracı destekli olmak üzere oluşturulan dört uyarı sistem sınıfı aşağıda açıklanmaktadır.

2.1. Mobil uyarı sistemleri

Eskiden yaygın kullanılan sabit telefon şebekeleri herhangi bir acil durum sırasında bilgilendirmeyi sağlasa da kablolu sistemlerin genelinde yaşandığı gibi yerel bir bölge çapında, herhangi bir kesinti yaşanmadığı sürece aktif çalışmaktadır. Son yıllarda multimedya ve iletişim araçlarında ortaya çıkan yenilikler sayesinde uyarı mesajları ve güvenlik bilgileri daha etkin bir hale getirilmektedir. Bu araçlar arasında en çok tercih edilenler mobil/cep telefon cihazlarıdır ve bunlar sayesinde mobil uyarı sistemleri oluşturulmaktadır. Acil durumlara ilgili bilgi alışverişi için genel olarak iki mobil telekomünikasyon teknolojisi görev yapmaktadır. Bunlar Kısa Mesaj Servisi (SMS) ve Hücre Yayın Servisleridir (CBS). SMS çoğunlukla bilinen bir yapı olduğu için çalışmanın bu kısmında CBS hakkında kısa bir açıklama yapılmaktadır. CBS'te baz istasyonunun bulunduğu merkez noktadan sabit bir alanda yer alan tüm kullanıcılara doğru tek biçimli/yalın metin mesajları gitmektedir. Burada önceden belirli bir coğrafik alanın yerine bir hücre taşıyıcı ağ düşünüldüğü zaman bu ağdaki tüm hücrelere mesaj gönderimi söz konusu olmaktadır. CBS'te çoklu kanallar üzerinden iletim yapıldığı takdirde farklı servis mesaj türlerinin gönderilmesi de mümkün olmaktadır. Bu durumda mobil cihaz radyo sinyallerinde yapıldığı gibi belirli bir kanala ayrılanmaktadır. Çoklu kanal yapısında çok fazla sayıda kullanıcı olduğu durumlarda CBS ağlarının kapasitesi işlem yapmak için yeterli olmamaktadır.

Mobil telefonlar içerisinde son yıllarda kullanılmaya başlanan akıllı telefon çeşidi ise iletişim sağlamakla birlikte birçok farklı kaynaktan, farklı formatlarda bilgi alma imkânını da beraberinde getirmiştir. Bu cihazların hemen hemen hepsine entegre edilmiş olan bir Global Konumlandırma Sistemi (GPS) alıcısı ve konum sabitlemeyi sağlayan haritalar bulunmaktadır. Konum tabanlı acil durum uyarı servisleri çalıştığı zaman belirli bir coğrafi alandaki aktif mobil cihazlara uyarılar ve gerekli güvenlik bilgileri gönderilmektedir. Burada mobil cihazların konumları acil çağrılardan ve SMS talebi gerçekleştirildikten sonra da belirlenebilmektedir. Mobil uyarı sistemlerinin kapasitesi ve güvenilirliği ilgili telekomünikasyon ağ altyapısına bağlı olduğu için bazı durumlarda dezavantaj da yaşanabilmektedir. Özellikle coğrafi açıdan büyük bölgelerde ve mobil ağların olmadığı kapsama alanlarında iletişim sistemlerinin etkileri azalmaktadır. Bu nedenle büyük şehirlerde iletişim aksamasının olması söz konusu değilse de kırsal bölgelerde kapsama alanı ya çok azdır ya da yoktur. Mobil uyarı sistemleri açısından bu tür bölgeler için uygun olan çözüm algılayıcı (sensör) ağların kullanılmasıdır. Oluşturulan kablosuz algılayıcı ağlar yanlış alarm sayısını ve bu sayede oluşabilecek karmaşayı azaltmaktadır. Bu ağların kullanılmasıyla oluşturulan mobil uyarı sistemleri afetleri hızlı tespit

etme özellikleri sayesinde zamanında alarm vererek güvenli bir yaşam ortamı sunmaktadır [6].

2.2. Uydu tabanlı uyarı sistemleri

Uyduyla bağlantılı çalışan acil durum uyarı sistemleri günümüzde gelişmekte olan yapılar arasında bulunmaktadır. Yerde konumlandırılmış iletişim kanalları az veya tamamen kapsama alanının dışındaysa ya da başlıca telekomünikasyon hizmetleri coğrafi engeller gibi bazı nedenlerden dolayı kullanılamıyorsa uydu tabanlı konum tespiti tercih edilmektedir. Kritik öneme sahip olan uydu bağlantılı sistemler çeşitli afet olaylarında önemli bir yere sahip olmaktadır. Bu konuda örneğin meteorolojik ve uzaktan algılama uyduları pek çok veriye ulaşarak ilgili durumla alakalı farklı analizlerin gerçekleştirilmesine imkân tanımaktadırlar. Uydu tabanlı uyarı sistemlerine bir örnek, Japonya'da üretilen ve Superbird-B2 isimli iletişim uydusunu kullanarak mesaj gönderimini yapan J-Alert'tir. Benzer şekilde tehlike alarmını algılama, bilgi dağıtma ve arama-kurtarma sistemi olarak hazırlanmış olan uluslararası Cospas-Sarsat Programı da bu sistemler arasındadır. Cospas-Sarsat [7]'nin web sitesinde de incelenebileceği gibi bu uluslararası uydu sistemi, sistemde kayıtlı olan ve kontrol işareti olarak görev yapacak olan bir radyo ileticisi (beacon) aracılığıyla acil durumdaki bir kişinin kurtarılmasını hedeflemektedir. Kontrol işaretinin çalışmasıyla birlikte tehlikedeki kişinin gerekli özel bilgilerinin arama-kurtarma ekiplerine iletimi sağlanmış olmaktadır. Bu sistem gemi, uçak veya dağlık alan gibi ortamlarda bulunan kişiler için önemlidir.

Gezirim uydularından oluşan acil durum uyarı sistemlerinin özellikleri, mobil telekomünikasyon hizmetlerini ve uydu iletişimini bir arada sunmayı uygun hale getirmektedir. Uydu sistemlerine örnekler ABD'deki GPS, Avrupa'daki Galileo, Çin'deki BeiDou ve Rusya'daki GLONASS gösterilebilmektedir. Bu sistemler yeryüzünden uzaktaki yüksek yörüngelerde bulunmaktadır. Sinyaller uydulardan yer alıcısına tek yönlü gelmektedir ve radyo sinyalleri aracılığıyla konum tespiti yapılmaktadır. Birçok uygulamayla birlikte acil durum ve afet yönetiminde de kullanılan bu sistemlerin konumları ve işleyişleri düşünüldüğü zaman karasal telekomünikasyon altyapılarına göre dayanıklılık ve güvenilirlik özelliklerinin öne çıktığı görülmektedir. Benzer şekilde, sistem içerisinde yer alan tüm uyduların toplam kapsama alanlarının bütün dünyayı içermesi söz konusu olduğu için de mobil uyarı sistemlerindeki kapsama problemleri ortadan kalkmaktadır. Ayrıca karasal telekomünikasyon trafik yoğunluğundan ve oluşan kapasite fazlalığından etkilenmeden birçok insana hizmet vermektelerdir [5]. Bütün bu özellikler sayesinde uydu sistemleri, afet sonrası oluşan çeşitli altyapı bağlantı problemlerinin aşılması için etkin bir seçenek olarak görev alabilmektedir.

Yukarıda sayılan birçok avantaja ve oldukça sağlam yapılara sahip olan uydu sistemlerinin elbette bazı olumsuz tarafları da bulunmaktadır. Uyduların servis ve bakım süreçleri uydu servis sağlayıcıları ve kullanıcılar

açısından çok maliyetli olmaktadır. Uydu telefon kullanımları cep telefonları gibi yaygınlaştıkça sinyallerle bağlantılı bilgilerin hangi konumdan geldiğini coğrafi bilgiler aracılığıyla bulmak kolaylaşabilecektir [5].

2.3. Kablosuz ağ tabanlı uyarı sistemleri

Afet durumları sırasında iletişim için kullanılan kablosuz ağ teknolojileri algılayıcılar, değişik topolojilere (tasarsız, örgüsel, vb.) sahip kablosuz aygıt kümeleri ve giyilebilir dijital cihazlardır. Burada en yaygın kullanılanlardan biri mobil tasarsız ağlardır (Mobile Ad-hoc Networks, MANETs). MANET'ler sabit bir ağ topolojisi gerektirmeden, mobil olarak ve hızlı bir şekilde ağ oluşturmayı sağlamaktadırlar. MANET'lerin dinamik ve gerçek zamanlı işlem yapmaları acil durum bölgelerinde ekiplerin özellikle başlangıç aşamasındaki hizmetleri için önemli bir özelliktir. MANET gibi yaygın kullanılan başka bir teknoloji de kablosuz algılayıcı ağıdır. Algılayıcılar kablosuz olarak algılama ve işleme yapan, sınırlı hesaplama gerçekleştirebilen, küçük boyutlu, düşük güce sahip ve düşük maliyetli cihazlardır. Geniş bir alana çok sayıda algılayıcı düğüm dağıtılarak bunların kendi aralarında veri iletiminin ve aktarımının gerçekleşmesi sağlanmaktadır. Algılayıcılar özellikle müdahale ekiplerinin afet bölgelerinden çeşitli biçimlerde veri elde etmelerini sağlamaktadırlar. Bu veriler sayesinde farklı şartlarda anlık ve uygun kararların alınması kolaylaşmaktadır. Kablosuz algılayıcı ağlar özellikle endüstriyel güvenlik, meteorolojik tehlikeler ve yangın gibi birçok alanda görev yapmaktadırlar [8].

2.4. Hava aracı destekli uyarı sistemleri

Afetler için kullanılan uyarı sistemlerinden biri de kumanda donanımlarına sahip İHA'lar adıyla bilinmektedir. İHA'lar yüksek çözünürlüklü görüntüleri analiz edebilmektedirler. Böylece bina cepheleri ve geniş çaplı yükselti gibi alanlar tespit edilebilmekte ve tehlikeli bölgeler üzerinde keşif yapılabilmektedir. Bu durum afet bölgeleri için uygun sistemler olduğunu da ortaya koymaktadır. İHA'lar aracılığıyla afet öncesindeki koşulların neler olduğu ve çevresel özellikler üzerindeki değişimler de izlenebilmektedir. İhtiyaç duyulan keşif verilerinin alınmasından sonra yardım ekipleri gerekli şekilde koordine edilebilmekte, binalarda veya tüm bölgede yaşanan hasar durumları ve iletişim bozuklukları ortaya çıkarılabilmektedir. Ayrıca afet durumuyla bağlantılı bilgilerin kullanılmasıyla uygulamalı ve simülasyon ortamı afet modelleri oluşturulabilmektedir. Bütün bu işlemler uzaktan algılama ve görüntü işleme tekniklerinin yardımıyla yapılmaktadır [9].

3. AFET BÖLGESİNDE İLETİŞİM AĞI GEREKSİNİMLERİ

Noguchi [10]'un araştırmasında belirttiği üzere 11 Mart 2011'de Japonya'da meydana gelen 9,1 şiddetindeki deprem sonucu oluşan tsunamide binlerce can kaybı olmuş, çok sayıda tesis ve bina yok olmuştur. Hussain ve

ark. [11]'nın belirttiğine göre Asya'da insan kayıplarının yüzde 85'i doğal afetler sebebiyle meydana gelmiştir. 8 Ekim 2005'te ise Pakistan'ın Himalaya bölgesi ve Keşmir'in kuzeyini vuran 7,6 büyüklüğündeki depremde ise aralarında 19.000 çocuğun bulunduğu 100.000'den fazla insan hayatını kaybetmiştir. Ayrıca 3,5 milyondan fazla evsiz kalan insan tespit edilmiştir. 25 Eylül 2013 tarihinde ise yine Pakistan'da meydana gelen depremden birçok alan yerle bir olurken binlerce kişi depremden zarar görmüştür [11]. Etdel [12]'in belirttiği gibi Amerika kıtasındaki Haiti ise son yirmi yılda afetlerden ötürü ölümlerin en çok yaşandığı ülkedir. 26 Aralık 2004'te Hint Okyanusu'nda meydana gelen büyük depremin ardından oluşan tsunami ise 14 ülkede yıkıcı etkiye sebep olmuştur. En ağır kayıp, 130.736 ölü sayısı ile Endonezya'da yaşanmıştır. 2008 yılında Myanmar'ı vuran Nargis Kasırgası ile 138.000 vatandaş hayatını kaybetmiştir. Ülke hükümeti yaşanan bu afetten sonra ulusal afet planları hazırlayarak halkı eğitmeye çalışmıştır [12].

Türkiye ise jeolojik olarak genç bir ülke olduğu için sürekli olarak doğal afet tehlikesiyle karşı karşıyadır. Ülkemizde deprem, heyelan, sel, çığ, kuraklık, orman yangınları ve fırtına gibi çok çeşitli afetler görülmektedir. Türkiye'deki tüm doğal afetlerin en yaygın türü %32,7 ile heyelandır. Seller %12,2 oranında görülmektedir. Bir diğer afet türü ise %3,8 oranında olan çığdır. Öte yandan Türkiye'de deprem görülme oranı %6,8'dir; ancak depremin maddi ve manevi yıkıcı etkisi bu orandan daha fazladır. Çünkü özellikle büyük fay hatlarının yer aldığı Batı Anadolu, Kuzey Anadolu ve Güney Anadolu bölgelerinde bulunmaktadır. Deprem konusunda Türkiye Afet Bilgi Bankası isimli proje [13] ile afet dokümantasyonu ve analizi konularında planlama yapılarak geçmiş verilere ulaşılması hedeflenmiştir. Deprem verileri incelendiği zaman eski yıllardan günümüze yaşanan Erzincan, Bolu, İzmit ve Düzce gibi birçok yıkıcı depremden can ve mal kayıpları daha net anlaşılabilir. Ülkemizde 2020 yılındaki en şiddetli depremler de Elazığ (Sivrice) ve İzmir (Ege Denizi) illerimizde meydana gelmiştir. Türkiye'de 2018 verilerine göre 20. yüzyılın başından itibaren gerçekleşen doğal afetler neticesinde yaklaşık 100.000 kişi hayatını kaybetmiş, 61.424'ün üzerinde kişi yaralanmıştır. Öte yandan yıkılan bina sayısının 108.573'ün üzerinde, hasar gören bina sayısının da 1.337.521'in üzerinde olduğu belirtilmiştir [14]. Afet yönetim sistemlerinin etkin kullanımı tüm doğal afetlerden kaynaklanan kayıpları en aza indirmek için oldukça önemlidir.

Afet bölgesinde görev alan yardım ekiplerinin ana merkezle ve kendi aralarında sağlıklı bir iletişim kurmaları zorunlu bir durumdur. Bölgede bilgi alışverişinin kolay olması için bütün ihtiyaçların belirlenmesi ve buna uygun bir sistem oluşturulması gerekmektedir. Gerçek zamanlı bir haberleşme ortamı için kullanılabilir en yalın iletişim aracı ses olduğu için sese dayalı teknolojilerin sorunsuz bir şekilde kullanılması sağlanmalıdır. Bu nedenle telefon hatlarının

gereksizce kullanılmaması, meşgul edilmemesi ve önceliğin yardım ekiplerine verilmesi sağlanmalıdır.

Bir afet bölgesiyle iletişim ve koordinasyon sağlama sırasında görev alan birimler ve bunlar arasındaki bağlantılar Şekil 1’de gösterilmektedir. Şekil 1, Jahir ve ark. [3]’nin örneğinden yola çıkılarak çizim olarak yeniden yorumlanmıştır.

Afet bölgeleriyle bağlantılı iletişim problemleri arasında geleneksel afet yönetim sistemlerinin yüksek maliyetleri, bant genişliği kısıtları, güvenilirlik açısından çift altyapı gereksinimi ve iletişim gecikmesi bulunmaktadır. Bunların dışında telefon ve sesli mesaj hizmetlerinin kullanımındaki artışla birlikte trafik sıkışıklığı görülmektedir. İletişim ağında yeterli sayıda kaynak olmadığı zaman veri kaybı olmaktadır. Afetten etkilenen tüm alana donanımsal ekipman sağlamak için yeterince zamanın olması gerekmektedir. Bütün bunların dışında afetlere hazırlık programlarında unutulmaması gereken temel konuların başında güç/enerji gelmektedir. Bu nedenle güç kesintileri karşısında alınacak önlemler ve çözüm yolları etraflıca belirlenmelidir [15].

Afet bölgesinde radyo iletişimi oldukça büyük öneme sahiptir. Radyo iletişiminin sağlıklı yürümesi için hızlı kanal ayarlamasının yapılabilmesi ve parazitten uzak olunması gerekmektedir. Aynı frekansın yoğun kullanılmaması gerektiğinden dolayı afet bölgesindeki ağlar için frekans tahsisi ve düzenlemesi gibi konuların önemle planlanması gerekmektedir [3].

Afet sırasında kullanılan kablosuz ağların gereken ölçüde kesintisiz bir şekilde iletişim kurması beklenmektedir. Özellikle kullanılan yönlendirme protokollerinin etkin sonuç üretmesi önemli bir adımdır. Bundan başka afet önleme sistemlerinin aşağıdaki

niteliklere sahip olmasının gerektiği belirtilmektedir [16]:

- Kurtarma operasyonlarında kullanılacak olan ağ sistemleri mobil iletişime uygun ve çevre şartlarına karşı dayanıklı olmalıdır. Bu sistemlerin kablosuz tasarlanması görevlerin hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesi için önemlidir.

- Afet bölgesiyle bağlantılı kablosuz ağların güvenlik fonksiyonlarına ve gizlilik mekanizmasına sahip olması gereklidir.

- Afetle ilgili takibin sağlıklı olması için ağdaki bilgiler kesintisiz bir şekilde güncellenmeli ve korunmalıdır. Bu nedenle sistemde düzenli yedeklemeler yapılmalıdır ki sonradan sistemin geri yüklenmesi gerçekleştirilebilir.

- Kurtarma ekibinde görev alan kişiler diğerleriyle iletişim kurabilecek yetkiye sahip olmalıdır. Aradaki tüm iletişimin komuta merkezi tarafından gözlenmesi gereklidir. Ekiplerin kendi içindeki ve diğer ekiplerle olan dış iletişimlerini ayrı ayrı ele alınmalıdır.

- Kurtarma ekipleri kendilerinden uzak konumda yer alan komuta merkezine kolayca ulaşabilmelidir. Aynı şekilde, komuta merkezi ekipler arasında koordinasyon oluşturmak amacıyla tüm ekiplerle iletişimde olmalı ve onları sürekli takip edebilmelidir. Bütün bu bağlantılar için sistem donanımında çok yönlü ağ protokolleri seçilebilmektedir.

- Her bir mobil kurtarma ekibinin 40.000 metrekareden daha geniş bir alanda görev yapabilecek özellikte olması gerektiği belirtilmektedir. Bu şekilde geniş bir afet bölgesinin tamamında çalışılacağı için sistem ağır bir veri trafiğini kaldırabilecek kapasitede olmalıdır.



Şekil 1. Afet bölgesi kablosuz ağı sistem organizasyonu [3]

4. İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Afet nedeniyle hasar almış olan bir iletişim ağı, afet yönetiminin etkin yapılmasını engellemekte ve acil ihtiyaç dağıtımları sırasındaki karar alma süreçlerinde büyük problemleri ortaya çıkarmaktadır. Kawamura ve ark. [17], çalışmada bahsettikleri sorunların çözülmesi ve etkin bir iletişim sisteminin kurulması için ZigBee ve CBS teknolojilerini önermektedirler. ZigBee kablosuz algılayıcı ağlarında kullanılan iletişim standartlarından biridir. Endüstriyel otomasyon, inşaat ve tarım gibi alanlarda uygun bir teknolojidir. ZigBee'nin başka kullanım alanları arasında otomatik sayaç okuma sistemleri, uzaktan kumandalar ve güvenlik sistemleri yer almaktadır. Kawamura ve ark. [17]'nin bahsedilen çalışmasında Japonya'nın Tsukuba şehrinin afetlere maruz kalan bölgesi için haritalama ve örnekleme analizleri yapılmaktadır. Buradaki ZigBee sisteminin etkileşim alanında afet olduğu sırada acilen bir kontrol merkezi ve çeşitli tahliye merkezleri kurulmaktadır. Kontrol merkezinde kurulu bir sunucu sayesinde dijital haritalar toplanarak analiz edilmektedir. Bu haritalarda yer alan bilgiler, sonradan uzaktan algılanan görüntülerden tespit edilen afet hasar durumlarına göre sürekli olarak güncellenmektedir. Bilgi alışverişi öncelik durumuna göre araştırmacılar, kontrol merkezi, tahliye merkezleri ve afetzedeler arasında uygun biçimde ayarlanmaktadır. Çalışmada sonuç olarak, afet bölgesindeki müdahale işlemlerini desteklemek için kurulan bu iletişim sisteminin etkinliği ve belirli koşullar altında başarılı olduğu anlatılmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre, afetten etkilenen bölgedeki çevresel koşulların iletişim ağındaki düğüm sayısını ve düğümlerin yerleşim düzenlerini etkilediği belirtilmektedir.

Hoechner ve ark. [18], 2011 yılında Tohoku'da gerçekleşen depremden yola çıkarak gerçek zamanlı GPS kullanarak bir tsunaminin önceden uyarısını sağlayan bir uygulama geliştirmişlerdir. Burada belirli sayıda GPS istasyonu kullanılarak verilerin gerçek zamanlı ve kaliteli akışı sağlanmaya çalışılmıştır. Bütün veriler elde edildikten sonra yüksek hassasiyetli ölçümler tamamlanmıştır. Böylece deprem büyümesi deneylerle gözlemlenmiş ve Tohoku depreminin başlangıcından 3 dakika kadar sonra tsunami olacağı doğru bir şekilde tespit edilmiştir. Uygulama sırasında yapılan çıkarımlar, GPS sayısının artırılarak en optimal sayının belirlenmesinin önemli olduğu ve GPS'nin kısa süre içinde faydalı veriler sunması için kaynağa yakınlığının gerekli olduğudur. Maksimum faydalı mesafe olarak ifade edilen ölçüm, belirli bir GPS kümesine daha düşük bir deprem büyüklüğünü tespit edebilme sınırını uygulayan büyüklük ile gösterilmektedir. Afet durumlarında GPS'nin Cascadia, Endonezya, Şili ve Japonya gibi yerlerde kullanıldığı, ancak tsunami erken uyarı sisteminde kullanımıyla ilgili bir örneğin bulunmadığı belirtilmektedir. 2004 yılından sonra "GPS kalkanı" kavramı ortaya çıkmıştır ve GPS tabanlı tsunami erken uyarı sistemlerinin eklenmesi önerilmiştir [18].

Yulianto ve ark. [2]'nin çalışmalarında bahsedilen bir örneğe göre bir bölgede 7,7 büyüklüğünde gerçekleşen bir deprem ve tsunami olaylarının elektrik şebekesi altyapısını tahrip etmesi ve iletişim ağı altyapısını kapatması oldukça büyük sorunları beraberinde getirmiştir. Çalışmadaki temel amaç, Endonezya hükümetinin kullandığı iletişim teknolojilerinin doğal afetlerin ardından çalışma kabiliyetlerini tespit etmek ve herhangi bir iletişim kesintisi durumunda yeni alternatifleri bulmaktır. Bu doğrultuda insanların acil durum müdahaleleri sırasında nasıl iletişim kurabilecekleri hakkında bilgi vermek için tsunamiden sağ kurtulan otuz kadar kişiyle görüşülmüştür. Deneye katılanların bir kısmı tsunaminin depremden 3-4 dakika sonra gerçekleştiğini belirtirken başka bir grup depremden kısa süre sonra bir uyarı veya bilgi almadıklarını söylemişlerdir. Bulgular, iki yönlü telsiz sistemi ve uydu telefonu gibi bir dizi hücreli teknoloji cihazının acil müdahale koordinasyonu sırasında kullanılacak iki güvenilir cihaz olduğunu ortaya koymuştur. Örneğin; bir afet sırasında mobil cihazlarını kullanabilen bazı kullanıcılar WhatsApp gibi sosyal medya aracılığıyla bilgi aldıklarını açıklamışlardır. Bunun dışında erken uyarı sisteminin afet başlangıcı için hazırlık imkânı sunması açısından önem kazandığı görülmektedir. Ayrıca, mobil baz istasyon sisteminin kullanılması da afet bölgelerinde yaşayan insanların iletişimlerini sağlamak için elverişli bir yöntem olmaktadır. Mobil baz istasyonları deprem sonrasında hasar gören elektrik ve telekomünikasyon altyapılarının tamiri için de kullanılmaktadır. Çalışmanın deneylerine katılan bazı kişiler hastane, havaalanı ve polis merkezleri gibi önemli yerlere konumlandırılan mobil baz istasyonları aracılığıyla telefon kullanımını gerçekleştirdiklerini belirtmişlerdir. Afet hazırlığı için mevcut iletişim kanal teknolojisi desteğinin optimal olmadığı belirtilmiş olsa da mobil cihazlarda çalışan baz alıcı-verici istasyonlarının afet bölgesi ihtiyaçları için tercih edilmesinin uygun olduğu ifade edilmektedir [2].

Bir afet yönetimi için hazırlık, hafifletme, müdahale ve iyileştirme olmak üzere dört evre bulunmaktadır. Afet yöneticilerinin afet öncesi ve sonrasında, ayrıca afet boyunca durumu en iyi şekilde analiz etmeleri, karar vermeleri ve durum tespitlerine göre uygun işlemleri seçmeleri için afet yönetimi bilgi sistemlerinin işe yaradığı belirtilmektedir. Bu bilgi sistemleri geniş işlem kapasitesi, hız, optimizasyon ve gerçek zamanlı verilerin işlenmesi konularını kapsamaktadır. Veri ihtiyacının güncel veri aktarımı ile karşılanması amacıyla küçük uyduların kullanılacağı Albayrak [19] tarafından ortaya konmuştur. Uydulardan gelen afet verileri erken uyarı sağlamak açısından çok önemlidir. Albayrak [19]'ın çalışmasında uydu verilerinin afet yönetimi bilgi sistemleri tarafından kullanılacağı zamanlar, yerler ve yöntemler de araştırılmaktadır. Küçük uyduların tüm afet türleri için, afetin her dönemi için ve afet yönetiminin her işlevselliği için kullanılacağı belirtilmektedir. Burada afetin türünün yanı sıra kaynağı da önemsizdir. Yani doğal veya insan kaynaklı faktörlerden oluşan her türlü afette uydular kullanılabilir. Ayrıca bu cihazların yerel bölgelerde değil de uluslararası ve dünya çaplı afetler için daha iyi sonuç vereceği ifade

edilmektedir. Bu şekildeki kullanımda afetlerin hasar etkilerinin azalmasıyla birlikte dünya ölçeğinde çok sayıda can ve mal kazancının sağlanabileceği belirtilmektedir.

Tuna ve ark. [1] kendi çalışmalarında İHA'lerden yararlanarak afet zamanları için bir acil durum iletişim altyapısını oluşturmaktadırlar. Sistemde uçtan uca iletişim, yerleştirme-gezinim ve koordinasyon olmak üzere üç kısım bulunmaktadır. Uygulama kısmında İHA'lar iki ayrı senaryoda kullanılmıştır. Birinci senaryoda yerdeki sabit konumlu radyolardan bir ağ oluşturulmuştur. Ağ üzerinde birkaç yer istasyonu kendi aralarında bağlantılı şekilde işlem yapmaktadır. İki düğüm arasında direk bağlantı olmadığında ise ara düğümler trafiği iletmektedirler. Dinamik olarak yol hesabı yapılarak tıkanıklık gibi anlık iletim problemlerinin önüne geçilmektedir. İkinci senaryoda ise bir İHA ile bir yer istasyonu arasında bağlantı kurularak genişletilmiş bir ağ yapısı ortaya çıkarılmıştır. Çalışmada belirtildiği gibi küçük ölçekli mikro İHA'larda ağırlık, güç ve hacim gibi iletişim aralığını daraltan ölçüler vardır. Bu nedenle geniş çaplı bir iletişim alanı için ara düğümler olarak başka İHA'ların kullanılması gerekmektedir.

Afet sırasında veya sonrasında, afet yönetim sistemlerinin mobil hizmet sağlayarak her yerden erişilebilir ve kullanılabilir olması en temel gereksinimlerdenidir. He ve ark. [20]'nın çalışmasında ise afet yönetim sistemlerinin çoklu platformlardan ve çoklu cihazlardan erişim özelliğine dikkat çekilmiştir. Mevcut literatürde buna yeterince dikkat çekilmediği belirtilerek ilk kez yerel ve web uygulama teknolojilerinin birleşimi kullanılarak açık kaynaklı ve ücretsiz bir mobil afet yönetim sistemi geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında, 1980'lerden beri Çin'in Amoy kentinde oluşan şiddetli bir tayfandan sonraki hasar ve risk tespiti için verilerin toplanması ve bunların yetkililerle paylaşılması sağlanmıştır. Böylece afet sonrası yönetim için düşük maliyetli, çevrimdışı çalışabilen ve taşınabilir bir sistemin olduğu belirtilmiştir.

Ülkemizde ve dünyada oluşan afetlerden sonra günümüzde bile iletişim kesintilerinin yaşandığı görülmektedir. Bu durum afet bölgesiyle ve afetzedelerle ilgili bilgi alma olanağını azaltmaktadır. Centelles ve ark. [21]'nin çalışmasında sivillerin ilk müdahale ekiplerine engel olmadan ve tehlikeye maruz kalmadan afetzedelerle durumları hakkında bilgi alışverişinde bulunmalarına olanak tanıyan bir iletişim sistemi önerilmektedir.

Alazawi ve ark. [22], ulaşım tahliyesinin iyileştirilmesi için bir afet yönetim sistemi önermişlerdir. Önceki çalışmalarındaki araç tasarsız ağ ortamıyla bağlantılı olarak burada da afet yönetim sistemlerinin araç içi sistemlere entegre edilmesi hedeflenmiştir. Bununla birlikte şehir dışındaki daha fazla sayıdaki tahliye noktasına güvenli bir erişimin gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Bu işlemlerin yapıldığı simülasyon ortamlarındaki testler neticesinde önceki sistemin daha

iyileştirilmiş olduğu ve daha dengeli bir trafik dağılımının sağlandığı belirtilmiştir.

Chatfield ve Brajawidagda [23]'nin çalışmalarında sosyal ağ ortamı olan Twitter'ın alternatif bir iletişim kanalı olarak kullanılması hedeflenmiştir. Yapılan vaka çalışması ve tweet içeriklerinin analizi sonucunda, Endonezya'da 2010-2012 aralığında gerçekleşen üç farklı depremde afet tehlikeleriyle ilgili insanları uyarmak amacıyla hükümetlerin Twitter'ı ne ölçüde kullandığı araştırılmıştır. Çalışma sonucunda Twitter erken tsunami uyarı sisteminin, insanların tahliyesi için 7 dakikadan fazla bir süre sağladığı gözlemlenmiştir.

Birçok mikro denetleyici ve mikro denetleyici platformu sayesinde iletişimi her yerde mevcut ve mobil hale getiren, çeşitli aygıtların kendi aralarında ve diğer ağ sistemleriyle veri alışverişine olanak tanıyan Nesnelerin interneti (Internet of Things-IoT) teknolojilerini kullanan Sakhardande ve ark. [24]'nin çalışmalarında afet yönetimi ve akıllı şehir izleme için çoklu algılayıcılardan oluşan birbirine bağlı modüller ile veri toplanması amaçlanmıştır. Bu hedef doğrultusunda IoT özellikli sistemlerde kullanılan düşük maliyetli bir modülün donanımı tasarlanmış ve bu modülün akıllı şehir izleme ve afet yönetimi için kullanılması önerilmiştir. Yapılan ilk testler olumlu sonuç vermiştir ve gelecekteki çalışmalarda ağın dayanıklılığının iyileştirilmesi, modüllerin değişen koşullara dinamik adaptasyonu ve afet yönetimi için özel bir protokol geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Bilgisayar ağlarındaki başlıca iletişim protokollerinden olan İnternet Protokolü (IP) ile destekli IoT'yi kullanan bir diğer çalışma olan Hannan ve ark. [25]'nin araştırmalarında ise yangın felaketiyle ilgili bir mimari önerilmiştir. Burada IoT ortamı için esnek ve elverişli ağ mimarilerinden biri olan Named Data Networking (NDN) kullanılmıştır. Planlanan yapı, akıllı kent ve akıllı bina gibi çeşitli ortamlara uyarlanabilir özelliktedir. Sistemin yayılma ve iletim gecikmesi ile ilgili metrikleri ölçüldüğünde bunların literatürdeki örneklere kıyasla daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Sonwane [26]'in çalışmasında özellikle bulunan bölgeye aşına olmayan, güvenli alan veya barınak bulmakta zorlanan turistler için konum bazlı bir afet yönetim ve tahliye sistemi geliştirilmiştir. Bu sistemde Google firmasının ücretsiz sunduğu, çevrimiçi harita hizmeti veren Google Maps uygulaması çalışmaktadır. Uygulama, Android işletim sistemine sahip akıllı telefonlara yüklenerek kullanıcının afetten etkilenen bölgede veya o civarlarda olması durumunda uyarı vermektedir. Tahliye adımı için haritada en yakın güvenli bölgeleri ve sığınakları göstermektedir. Uygulamayı kullananların ailelerine de metin mesajı iletilmektedir.

Raj ve Sasipraba [27]'nin çalışmalarında ise deprem, kasırga, sel ve tsunami gibi afetlerin üstesinden gelmek için CBS web servislerine dayalı, mobil ortama uyarlanabilen bir afet yönetim sistemi hazırlanmıştır. Genel olarak web servis farklı platformlar arasındaki

verilerin ortak bir formata dönüştürülmesi için kullanılan ve HTTP protokolü aracılığıyla iletişim sağlayan yazılımı ifade etmektedir. Tasarlanan sistemde afetten etkilenen bölgelere ulaşmak için olası yollar belirlenirken CBS web hizmetleri kullanılmaktadır. Sistemde ambulans, itfaiye ve polis hizmetleri bulunmaktadır. Bu doğrultuda GIS web servisleri kullanılmış ve web programlamada yer alan AJAX (Asynchronous JavaScript ve XML) yaklaşımı aracılığıyla konum verileri haritaya entegre edilmiştir. Çalışmada AJAX ve CBS sayesinde harita ve konum bağlantılı veriler istemci tarafın tarayıcısına hemen yüklenmiştir. Bu durum klasik CBS-harita entegrasyon problemini ortadan kaldırmıştır.

Afet yönetim sistemini afet azaltma ve kurtarma operasyonu olarak ikiye ayıran Saha ve Matsumoto [28]'nin çalışmalarında her iki alt sistemi dikkate alan bir düzen sunulmuştur. Afet azaltma işleminde daraltılmış baz istasyonundan en yakın baz istasyonlarına veri iletiminin sağlanması için hücre sınırlarına statik bir tasarsız yedek istasyon (Ad hoc Relay Station) yerleştirilmiştir. Kurtarma işlemi için de bir kablosuz algılayıcı ağ protokolü önerilmiştir. Burada verilerin yayılımı için açışal mesafenin kullanıldığı çok atlamalı bir işleyiş gerçekleştirilmiştir.

Doğal afetlerin çok fazla görüldüğü Filipinler için afetten etkilenen bölgelere etkin kurtarma ve yardım sağlanmasına yardımcı olacak bir sistem geliştiren Fajardo ve Oppus [29]'un çalışmalarında yardım ekiplerindeki kişilerin en fazla sayıda insana hizmet verebilmeleri ve bu konuyla bağlantılı olarak afet bölgesinde en kısa sürede en büyük kapsama alanını gerçekleştirmeleri için izlenmesi gereken optimum yol hesaplanmıştır. Optimizasyon adımıda genetik algoritmanın kullanıldığı bu afet yönetim sistemi, Android işletim sistemi üzerinde tasarlanmıştır. Klasik ağ problemleri arasında yer alan gezgin satıcı modelindeki şehirlere karşılık burada coğrafi konumlar, satıcılara karşılık da yardım ekiplerindeki kişiler düşünülerek bulunabilecek en optimum yol elde edilmeye çalışılmıştır. Böylece zamanın hayati öneme sahip olduğu afet durumlarında bu uygulama ile hızlıca yardım gönderme durumu sağlanmış olmaktadır.

Badpa ve ark. [30]'nın çalışmalarında özellikle İran'daki depremlere dayanarak bir ağ sistemi önerilmiştir. Bu sistemde temel amaçlar, enkaz altında kalanların tespit edilmesi ve afet yönetim sürecinin hızlandırılmasıdır. Kullanılan teknolojiler arasında veri tabanı yönetim sistemi olarak Oracle ve kablosuz veri iletim sağlayıcısı olarak Radyo Frekans Tanımlama Sistemi (RFID) bulunmaktadır. RFID en genel biçimiyle barkod

tarayıcılara alternatif olarak yer alan ve radyo dalgası kullanılarak anten, okuyucu, etiket bileşenleriyle veri iletişimini gerçekleştiren bir mekanizmadır. Badpa ve ark. [30]'nın RFID'yi kullanma amaçları, afetzedeleri ve yardım ihtiyacını belirlemektir. RFID sisteminin doğru şekilde uygulanması, afet yönetim merkezine yerleştirilen ve özel bir ağ ile bağlanan veri tabanıyla desteklenmiştir. RFID teknolojisinin temel alındığı çalışmada afet yönetimindeki zamanlama aşamaları afet öncesi, afet sırası ve afet sonrası olmak üzere üç adımda incelenmiştir. Afet öncesinde afetin önlenmesi ile ilgili yöneticilere bilgi akışı yapılarak onların yerinde ve zamanında karar almaları hedeflenmektedir. Afet sırasında afetin derecesi ve derinliği gibi gerekli bilgiler doğru ve hızlı bir şekilde tahmin edilmektedir. Afet sonrasında ise depremedelerin yeri tam olarak tespit edilmektedir.

Son olarak ele alınan Bhattacharya ve ark. [31]'nin çalışmalarındaki temel amaç, İnternet-SMS tabanlı bir coğrafi tehlike uyarı iletişim sistemi geliştirmektir. Mevcut iletişim sistemlerini tamamlayıcı özellikte olan bu sistemde mobil bilgi ve iletişim teknolojisi ile güvenilir ve etkin çözüm ön plandadır. Sistem dört fonksiyonel modülü içermektedir. Bunlar veri tabanı modülü, web içerik işleyici modülü, tetik modülü ve iletişim modülü olarak belirtilmektedir. Veri tabanında abone verileri ve tehlike mesaj bilgileri ile ilgili başlıca nitelikler bulunmaktadır. Web içerik işleyicisi HTTP paketlerini oluşturmaktadır. Tetik modülü, paketin tehdit seviyesine göre uyarı frekansını yani sıklığını haberleşme modülüne bildirmektedir. İletişim modülü ise SMS gönderimini sağlayarak uyarı bilgilerini kullanıcılara yaymaktadır. Buradaki mesaj sayısı çok fazla ise yerel mobil operatörün toplu SMS servisi kullanılabilir. Uygulama kolay kullanıma sahip, modüler, taşınabilir ve platformdan bağımsız bir yapıya sahiptir. Modüler olması nedeniyle çeşitli afet türlerindeki tehlike değerlendirme sistemleriyle uyumludur. Ticari şekle getirildiği zaman afet yönetimine destek bir sistem haline gelebilecek bir yapıdadır.

Bunların dışında Lee ve ark. [32], Erdelj ve ark. [33], Şentürk ve Erener [34], Ali ve ark. [35], Çolak ve Sunar [36], Tsai ve ark. [37], Franchi ve ark. [38], Küçük ve ark. [39], Cheikhrouhou ve ark. [40], Nyimbili ve Erden [41], Beltran Jr. ve ark. [42]'nin hazırladıkları çalışmalar da afet yönetim sistemleriyle ilgili ek inceleme yapılabilecek kaynaklardır. Bu bölüm içerisinde belirtilmiş olan ve son yıllara ait afet yönetim sistemleri ile ilgili çalışmalar Tablo 1'de yıllara göre sıralanarak özetlenmektedir.

Tablo 1. Afet yönetim sistemleri ile ilgili yapılan çalışmalar

| Kaynakça Numarası | Yayın Yılı | Afet Çeşidi | Kullanılan Araç/Metot | Amaç |
|-------------------|------------|--|---|---|
| [19] | 2005 | Deprem, sel, kasırga, heyelan, yangın, kirlilik, savaş | Afet yönetim sistemi tarafından küçük uydu verilerinin kullanılması için bir çerçeve | Afet yönetim bilgi sistemlerinin gerçek zamanlı veri ihtiyacını küçük uydularla sağlamak |
| [28] | 2007 | Deprem, tsunami | Hücre sel iletişimde statik tasarsız yedek istasyon ve kablosuz algılayıcı ağ protokolü | Afet hafifletme ve afet sonrası kurtarma operasyonları için veri toplamak ve yaymak |
| [27] | 2010 | Tsunami, sel, deprem, kasırga | AJAX ve CBS web servisine dayalı afet yönetim sistemi | Önerilen afet yönetim sistemi ile etkilenen alanları ve konuma ulaşmak için olası yolları belirlemek için CBS web hizmetleriyle birleştirmek |
| [29] | 2010 | Filipinler'deki doğal afetler | Android tabanlı bir afet yönetim sistemi, genetik algoritma | En fazla sayıda afetzedeye, en kısa sürede, en geniş kapsama hizmeti ile yardım sağlanması için optimum yolu hesaplamak |
| [31] | 2011 | Kasırga | İnternet-SMS tabanlı bir coğrafi tehlike uyarı iletişim sistemi | Cep telefonları aracılığıyla insanları etkili şekilde uyararak ve tehlike mesajlarını geniş bölgelerdeki kullanıcılara iletmek |
| [1] | 2012 | Doğal afetler | İHA olarak Air Robot quadrotor helikopterleri | Afet zamanında binaların, güç sistemlerinin ve antenlerin çökmesi nedeniyle bir iletişim altyapısı oluşturmak için İHA'ları kullanmak |
| [18] | 2013 | Tsunami, deprem | Gerçek zamanlı GPS | Deprem büyüklüğünü neredeyse gerçek zamanlı olarak gözlemlemek ve aynı anda tsunami uyarı seviyelerini erken hesaplamak |
| [23] | 2013 | Tsunami, deprem | Twitter tabanlı afet uyarı sistemi | Twitter'ı afetler sırasında geleneksel iletişim kanalları yerine alternatif olarak kullanmak |
| [30] | 2013 | Deprem | Özel bir ağ sisteminde Oracle ile koordinasyon içinde kullanılan RFID | Depremden sonra enkazın altındaki kişilerin tespit edilebileceği kesin ve verimli bir tanımlama sistemini oluşturmak |
| [17] | 2014 | Deprem | ZigBee kablosuz ağ sistemi ve CBS | Afet bölgelerinde hızlı bir şekilde geçici bir iletişim ağını inşa etmek |
| [22] | 2014 | Doğal afetler | Bulut özellikli araç acil müdahale sistemi | Acil durumlarda ulaşım tahyisini gerçekleştirmek |
| [26] | 2014 | Tsunami, sel | Android'de GoogleMap tabanlı afet yönetim sistemi ve tahliye sistemi | Afetlerden önce özellikle turistler tarafından güvenli yer ve barınak bulunmasını sağlamak |
| [24] | 2016 | Doğal afetler | IoT ortamında mikro denetleyici özellikli algılayıcılar, aktüatörler, Wi-Fi alıcı-verici modülü | IoT özellikli sistemlerde kullanılan düşük maliyetli bir modülün donanımını tasarlamak ve bu modülü Akıllı Şehir İzleme ve Afet Yönetimi için kullanmak |
| [32] | 2016 | Deprem, yangın | Drone destekli afet yönetim sistemi | Doğal afetlerden kurtulanları tespit etmek ve haritalama görevi için drone donanımını içeren bir mimari tasarlamak |
| [20] | 2017 | Tsunami, tayfun, deprem, heyelan | GeoServer, OpenLayers, Cordova ve JQuery Mobile gibi açık kaynak ve ücretsiz yazılımlar | Mobil tabanlı afet yönetimi çözümlerinde ilk kez yerel ve web uygulama teknolojilerinin bir kombinasyonunu kullanarak bir mobil afet yönetim sistemini oluşturmak |
| [33] | 2017 | Deprem, sel, kuraklık, yangın | İHA destekli etkili afet yönetimi için uygun ağ mimarileri | Afet yönetimine ağ destekli ilk müdahale için İHA'lardaki en son gelişmeleri gözden geçirmek ve çözülmesi gereken açık sorunları tanımlamak |
| [34] | 2017 | Deprem | CBS'ye dayalı çok kriterli karar analiz yöntemi | Afet yönetimi için en uygun geçici barınma alanlarını belirlemek |
| [25] | 2018 | Yangın, deprem, sel | NDN tabanlı IoT DMS (yangın felaketi) mimarisi | NDN mimarisini IoT için IP tabanlı yaklaşımlarla karşılaştırmak |
| [35] | 2018 | Tsunami, deprem, sel, sağanak yağışlar | Cihazdan Cihaza (D2D) iletişim | Bir doğal afet olayında hasar gören hücre sel ağlara alternatif erişimi sağlayan bir D2D iletişim mimarisini tasarlamak |
| [36] | 2018 | Yangın | Sentinel 2A ve Landsat 8 uydu görüntülerinin CBS verilerinin entegrasyonu ile orman yangını geçiren alanların haritalandırılması | İzmir'in Menderes bölgesinde meydana gelen orman yangınının çevresel sonuçlarını ve etkilerini araştırmak |
| [37] | 2019 | Sel, tsunami | Sezgisel bir mobil cihaz tabanlı kullanıcı arayüzüne sahip bir chatbot sistemi | Afetle ilgili verilerin karmaşıklığının üstesinden gelmek |
| [38] | 2019 | Deprem | Yapısal sağlık izleme ve deprem erken uyarı yönlerine odaklanan, dikey olarak entegre edilmiş 5G tabanlı bir afet yönetim sistemi | Bir sismik bölgedeki binaların durumunu izlemek ve deprem erken uyarısını yapmak |
| [39] | 2019 | Deprem | IoT tabanlı afet yönetim sistemi | Afet sonrası afet bölgesi hakkında bina hasar durumu ve afet bölgesindeki insan yoğunluğu bilgilerini hızlı ve etkin biçimde elde etmek |
| [2] | 2020 | Doğal afetler | Anket | Karmaşık ve öngörülemeyen afetlerle başa çıkmak için iletişim kanalı teknolojisini potansiyelini daha fazla geliştirmek ve kullanmak |
| [40] | 2020 | Doğal afetler | Bulut ağ, kablosuz algılayıcı düğümler, XML | Kurtarma ekiplerinin gerçek acil durumlarda uygulanmadan önce çeşitli kurtarma planlarını geliştirmeleri için sanal bir eğitim ortamını hazırlamak |
| [41] | 2020 | Yangın | Analitik Hiyerarşik Sürecin (AHP) Çok Kriterli Karar Verme (MCDM) yönteminin bulanık uzantısının kullanımı | Yeni itfaiye istasyonlarının en uygun şekilde konumlandırılmasına yönelik bir model sağlamak |
| [21] | 2021 | Deprem | LoRaWAN temelli LoRaMoto sistemi | Sivilin güvenlikleri hakkında aileleri ve arkadaşları ile, ayrıca bir deprem sonrasında ilk müdahale ekipleriyle bilgi alışverişinde bulunmalarına yardımcı olmak |
| [42] | 2021 | Sel, heyelan, tsunami, tayfun | Arduino mikrodenetleyici, C programlama dili | Sıcaklık, toprak kayması, ivmeölçer, eğim ve yağmur sensöründen oluşan bir afet yönetim cihazı ile kullanıcıları bilgilendirmek |

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Türkiye’de ve tüm dünyada hayatı olumsuz anlamda etkileyen afet durumları önlenemez olsa da bunların etkileri çeşitli uygulamalar sayesinde azaltılabilmektedir. Teknolojideki hızlı ilerlemenin hayatın her alanına olduğu gibi bu konuya da faydaları bulunmaktadır. Özellikle afetlerden önce uyarı sistemlerinin geliştirilmesi, afet zamanlarında yardım ekiplerinin etkin koordinasyonu için iletişim sistemlerinin güçlendirilmesi, herhangi bir iletişim altyapısında bozukluk olmaması için önceden gerekli ekipmanın sağlanması ve özellikle kablosuz sistemlerin kullanılabilirliğinin geliştirilmesi gerekmektedir. Afet sonrası için de yine gerekli hizmetlerin eksiksiz sağlanması amacıyla iletişim bağlantılarının kuvvetli olması önemlidir. Burada görüldüğü gibi afetlerin başından sonuna kadar tüm aşamalarda afet yönetimi için oluşturulan ekipman düzeneğinin ve oluşturulan ağın önemi çok büyüktür. Bu amaçla kullanılan pek çok farklı cihaz vardır. Bunlar arasında uydular, algılayıcılar, mobil cihazlar ve baz istasyonları gibi örnekler mevcuttur. Bu çalışmada çeşitli hedefler için kullanılan teknolojik yapılar ve afet uyarı sistemleri başta olmak üzere bazı gelişmeler incelenmiştir. Literatürde konuyla ilgili son yıllarda gerçekleştirilen çalışmalar analiz edilerek konuyla ilgili bir derleme hazırlanmıştır. Burada yeni gelişmelerden, özellikle bilgisayar ağları disiplini açısından konu anlatımı yapılarak farklı bilim alanlarına da hitap eden bir içerik sunulması hedeflenmiştir. Böylece ileride yapılabilecek disiplinler arası çalışmalar için bir kaynak oluşturulması hedeflenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Tuna G, Mumcu TV, Gulez K. Design strategies of unmanned aerial vehicle-aided communication for disaster recovery, Proceedings High Capacity Optical Networks and Emerging/Enabling Technologies, IEEE, Istanbul, Turkey; 2012. p. 115-119.
- [2] Yulianto E, Utari P, Satyawan IA. Communication technology support in disaster-prone areas: Case study of earthquake, tsunami and liquefaction in Palu, Indonesia. International Journal of Disaster Risk Reduction. 2020; 45(101457): 1-8.
- [3] Jahir Y, Atiquzzaman M, Refai H, Paranjothi A, LoPresti PG. Routing protocols and architecture for disaster area network: A survey. Ad Hoc Networks. 2019; 82: 1-14.
- [4] Stute M, Maass M, Schons T, Kaufhold MA, Reuter C, Hollick. Empirical insights for designing information and communication technology for international disaster response. International Journal of Disaster Risk Reduction. 2020;47(101598):1-10.
- [5] Choy S, Handmer J, Whittaker J, Shinohara Y, Hatori T, Kohtake N. Application of satellite navigation system for emergency warning and alerting. Computers, Environment and Urban Systems. 2016;58:12-18.
- [6] Seba A, Nouali-Taboudjemat N, Badache N, Seba H. A review on security challenges of wireless communications in disaster emergency response and crisis management situations. Journal of Network and Computer Applications. 2019;126:150-161.
- [7] Cospas-Sarsat [Internet]; 2021. International satellite system for search and rescue. International Cospas-Sarsat Programme. Available from: <https://www.cospas-sarsat.int/en/>
- [8] Bahrepor M, Meratnia N, Poel M, Taghikhaki Z, Havinga PJM. Distributed event detection in wireless sensor networks for disaster management. Proceedings International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems, IEEE, Thessaloniki, Greece; 2010. p. 507-512.
- [9] Tuna G, Nefzi B, Conte G. Unmanned aerial vehicle-aided communications system for disaster recovery. Journal of Network and Computer Applications. 2014;41(1):27-36.
- [10] Noguchi S. The design principle of the robust communication system under the great disaster environment. In 2012 IEEE 26th International Conference on Advanced Information Networking and Applications. IEEE, Fukuoka, Japan; 2012. p. 1-4.
- [11] Hussain S, Nisar A, Khazai, B, Dellow G. The Kashmir earthquake of October 8, 2005: impacts in Pakistan. Earthquake Engineering Research Institute Special Paper. 2006;8.
- [12] Edtel D. Earthquakes Death Toll Event Location. The Worst Natural Disasters by Death Toll. 2007.
- [13] TABB (Türkiye Afet Bilgi Bankası - Turkey Disaster Information Bank) Projesi, AFAD-T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. <https://www.afad.gov.tr/tabb-turkiye-afet-bilgi-bankasi>
- [14] Öcal A. Natural disasters in Turkey: Social and economic perspective. International Journal of Disaster Risk Management. 2019;1(1): 51-61.
- [15] Ali K, Nguyen HX, Vien QT, Shah P. Disaster management communication networks: Challenges and architecture design. In 2015 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communication Workshops (PerCom Workshops), IEEE, St. Louis, MO, USA, 2015. p. 537-542.
- [16] Nakamura D, Uchida N, Asahi H, Takahata K, Hashimoto K, Shibata Y. Wide area disaster information network and its resource management system. Proceedings 17th International Conference on Advanced Information Networking and Applications, Xi'an, China, AINA; 2003. p. 146-149.
- [17] Kawamura Y, Dewan AM, Veenendaal B, Hayashi M, Shibuya T, Kitahara I, Nobuhara H, Ishii K. Using GIS to develop a mobile communications network for disaster-damaged areas. International Journal of Digital Earth. 2014;7:279-293.
- [18] Hoechner A, Ge M, Babeyko AY, Sobolev SV. Instant tsunami early warning based on real-time GPS-Tohoku 2011 case study. Natural Hazards and Earth System Sciences. 2013;13:1285-1292.
- [19] Albayrak O. Small satellite utilization for disaster management information systems, Small Satellites for Earth Observation: Selected Proceedings of the

- 5th International Symposium of the International Academy of Astronautics, Berlin. April 4-8 2005, Walter de Gruyter; 2011. p. 52-460.
- [20] He Y, Zhang D, Fang, Y. Development of a mobile post-disaster management system using free and open source technologies. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2017;25:101-110.
- [21] Centelles RP, Meseguer R, Freitag F, Navarro L, Ochoa SF, Santos RM. LoRaMoto: A communication system to provide safety awareness among civilians after an earthquake. *Future Generation Computer Systems*. 2021;115:150-170.
- [22] Alazawi Z, Alani O, Abdjabar MB, Mehmood R. An intelligent disaster management system based evacuation strategies. In 2014 9th International Symposium on Communication Systems, Networks & Digital Sign (CSNDSP), Manchester, UK; 2014. p. 673-678.
- [23] Chatfield AT, Brajawidagda U. Twitter early tsunami warning system: A case study in Indonesia's natural disaster management. In 2013 46th Hawaii International Conference on System Sciences, Wailea, HI, USA; 2013. p. 2050-2060.
- [24] Sakhardande P, Hanagal S, Kulkarni S. Design of disaster management system using IoT based interconnected network with smart city monitoring. In 2016 International Conference on Internet of Things and Applications (IOTA), Pune, India; 2016. p.185-190.
- [25] Hannan A, Arshad S, Azam MA, Loo J, Ahmed SH, Majeed MF, Shah SC. Disaster management system aided by named data network of things: Architecture, design, and analysis. *Sensors (Basel)*. 2018;18(8):2431.
- [26] Sonwane VS. Disaster management system on mobile phones using google map. *International Journal of Computer Science and Information Technologies (IJCSIT)*. 2014; 5(5): 6760-6763.
- [27] Raj RJR, Sasipraba T. Disaster management system based on GIS web services. In *Recent Advances in Space Technology Services and Climate Change 2010 (RSTS & CC-2010)*, Chennai, India. 2010; 252-261.
- [28] Saha S, Matsumoto M. A framework for disaster management system and WSN protocol for rescue operation. In *TENCON 2007-2007 IEEE Region 10 Conference*, Taipei, Taiwan, 2007. p. 1-4.
- [29] Fajardo JTB, Oppus CM. A mobile disaster management system using the android technology. *WSEAS Transactions on Communications*. 2010;9(6):343-353.
- [30] Badpa A, Yavar B, Shakiba M, Singh MJ. Effects of knowledge management system in disaster management through RFID technology realization. *Procedia Technology*. 2013;11:785-793.
- [31] Bhattacharya D, Ghosh JK, Boccardo P, Samadhiya NK. Wireless hazard communication system, *Journal of Systems and Information Technology*. 2011;13(4):408-424.
- [32] Lee S, Har D, Kum D. Drone-assisted disaster management: Finding victims via infrared camera and lidar sensor fusion. In: 2016 3rd Asia-Pacific World Congress on Computer Science and Engineering (APWC on CSE). Nadi, Fiji, IEEE; 2016. p. 84-89.
- [33] Erdelj M, Natalizio E, Chowdhury KR, Akyildiz IF. Help from the sky: Leveraging UAVs for disaster management. *IEEE Pervasive Computing*. 2017;16(1), 24-32.
- [34] Şentürk E, Erener A. Determination of temporary shelter areas in natural disasters by gis: A case study, Gölcük/Turkey. *International Journal of Engineering and Geosciences*. 2017; 2(3):84-90.
- [35] Ali K, Nguyen HX, Vien QT, Shah P, Chu Z. Disaster management using D2D communication with power transfer and clustering techniques. *IEEE Access*, 2018(6):14643-14654.
- [36] Çolak E, Sunar AF. Remote sensing & GIS integration for monitoring the areas affected by forest fires: A case study in Izmir, Turkey. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci*, 2018;(42):165-170.
- [37] Tsai MH, Chen JY, Kang SC. Ask Diana: A keyword-based chatbot system for water-related disaster management. *Water*. 2019; 11(2):234.
- [38] Franchi F, Marotta A, Rinaldi C, Graziosi F, D'Errico L. IoT-based disaster management system on 5G uRLLC network. In 2019 International Conference on Information and Communication Technologies for Disaster Management, IEEE. (ICT-DM). 2019. p. 1-4.
- [39] Küçük K, Bayılmış C, Sönmez AF, Kaçar S. IoT teknolojilerini kullanan afet sonrası yönetim sistemi. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*. 2019;7(2): 298-305.
- [40] Cheikhrouhou O, Koubaa A, Zarrad A. A cloud based disaster management system. *Journal of Sensor and Actuator Networks*. 2020;9(1):6.
- [41] Nyimbili PH, Erden T. GIS-based fuzzy multi-criteria approach for optimal site selection of fire stations in Istanbul, Turkey. *Socio-Economic Planning Sciences*. 2020;(71):100860.
- [42] Beltran Jr AA, Dizon KJT, Nones KC, Salanguit RLM, Santos JBD, Santos JRG. Arduino-based disaster management system. *Journal of Robotics and Control (JRC)*, 2021;2(1):24-28.



Türkiye Florasında Peyzaj Özelliği Gösteren Hiperakümülatör Bitkilerin Maden Alanlarının Onarımında Kullanımı

Aslıhan ESRİNGÜ^{1*}, Işık SEZEN¹

¹ Atatürk Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Erzurum, Türkiye

Aslıhan ESRİNGÜ ORCID No: 0000-0002-7930-5290

Işık SEZEN ORCID No: 0000-0003-0304-9072

*Sorumlu yazar: esringua@atauni.edu.tr

(Alınış: 06.11.2020, Kabul: 15.06.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Anahtar Kelimeler

Ağır metal,
Hiperakümülatör
bitki,
Madencilik
aktiviteleri,
Peyzaj onarım

Öz: Madencilik faaliyetleri sanayi devriminden bu yana insan yaşamının sürdürülebilirliğinde, ülkelerin refah ve kalkınma düzeylerinin ilerlemesinde bir gösterge olarak kabul edilmektedir. Fakat maden işletme faaliyetleri süresince uygulanan bazı fiziksel ve kimyasal işlemler çevresel sorunlarının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu sorunlar toprakların verimsizleşmesi, yerel endemik türlerin kaybolması, flora ve faunanın bozulması ve doğal peyzajın tahrip edilmesi olarak sıralanabilir. Madenlerin doğayı tahrip etmeden işletilerek devamında insanların ve diğer canlıların güvenli kullanımını sağlamaları için birçok farklı doğal restorasyon yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemlerden biri de fitoremediasyon yöntemidir. Fitoremediasyon yönteminde kullanılan bitkiler hiperakümülatör bitki olarak adlandırılmaktadır. Bu bitkiler çok yüksek konsantrasyonlarda ağır metallerle kirletilmiş topraklarda bile hayatlarını devam ettirebilmektedirler. Doğada bilinen 11 bitki familyasından yaklaşık 400 bitki taksonu hiperakümülatör özellikleri ile bilinmektedir. Bu çalışmada Türkiye florasında bulunan 38 hiperakümülatör bitki türü ile ilgili yerli ve yabancı literatür araştırmaları yapılmış. Bu bilgiler ışığında Türkiye florasında doğal olarak bulunan 21 hiperakümülatör bitki türünün peyzaj onarım çalışmalarında renk, doku ve form özellikleri nedeniyle kullanılabilirliği ile ilgili önerilerde bulunulmuştur.

Use of Hyperaccumulator Plants With Landscape Features in Turkey Flora in the Restoration of Mining Areas

Keywords

Heavy metal,
Hyperaccumulator
plants,
Mining activities,
Landscape repair

Abstract: Mining activities have been accepted as an indicator for the sustainability of human life and progress of countries' prosperity and development since the industrial revolution. However, some physical and chemical processes applied during mining operations bring environmental problems with it. These problems can be listed as inefficiency of the land, loss of local endemic species, degradation of flora and fauna and destruction of natural landscape. There are many different natural restoration methods to ensure that the mines are operated without destroying the nature, and to ensure the safe use of humans and other living things. One of these methods is the phytoremediation method. Plants used in the phytoremediation method are called hyperaccumulators. These plants can survive even in soils contaminated with very high concentrations of heavy metals. It is known that approximately 400 plants from 11 families known in nature have hyperaccumulator properties. In this study, domestic and foreign literature research was done about about 38 hyperaccumulator plant species in Turkey flora. In the light of this information, suggestions have been made regarding the usability of 21 hyperaccumulator plant species naturally found in Turkey's flora in landscape repair works due to their color, texture and form characteristics.

1. GİRİŞ

Yenilenemez doğal kaynaklar içerisinde büyük bir paya sahip olan madenler ülkelerin ekonomik ve sosyal kalkınmaları için gerekli hammaddeyi ve enerjiyi sağlayan önemli sektörlerden biridir. Madencilik ise farklı yerlerde değişken süreler ile geçici arazi kullanımı olarak tanımlanmaktadır [1]. Madencilik faaliyetlerinin yapıldığı alanlar yerel ve bölgesel ortamlar üzerinde bazı olumsuz etkilerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır [2]. Bu olumsuzluklar işletim faaliyetleri esnasında yüksek oranlardaki ağır metallerin ve deşarj sularının taban sularına karışması nedeniyle bölgedeki toprak, su, hava kaynaklarının kaliteleri ve ekosistemin bozularak tüm canlıların yaşam alanlarının tehdit altına girmesi şeklinde görülmektedir [3, 4, 5]. Bu yer altı zenginlikleri değerlendirilirken çevrenin ve ekosistemin dengesini bozabilecek her türlü olumsuzluklar için gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir. Şayet bu önlemler alınmaz ise bir taraftan ekonomik gelir seviyesi artış gösterirken diğer taraftan tahrip olmuş bir çevre ile mutsuz bir toplumun ortaya çıkması kaçınılmazdır. Yer altı zenginliklerinin işletilip ekonomiye kazandırılmasında açık ve kapalı madencilik olmak üzere iki ana yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden açık ocak maden işletmeciliği dünya maden üretiminin yaklaşık %70'inde kullanılmaktadır. Bu alanların çevreye etkileri; maden işletmeciliği ile meydana gelen arazi degradasyonu, zararlı kimyasal atıklar ile hava, su ve toprak kalitesi, hidrolojik yapı ve topografyanın bozulması, görüntü ve ses kirliliğinin oluşması, alanda kültür ve tabiat varlıkları, doğa koruma alanları var ise bu alanların tahrip olmasıdır. Açık ocak maden alanlarındaki peyzaj alanlarının ıslahı çok kolay olmamaktadır. Mevcut bu problemlerin sebebi madencilik faaliyetlerinin yapıldığı alanlarda öncesinde ve sonrasında gerekli tedbirlerin alınmaması ve çevre ile uyumlu yöntem ve teknolojilerin kullanılmaması olarak gösterilmektedir.

Özellikle orman ekosistemlerinde yapılan madencilik faaliyetlerinin işletim süresince ve sonrasında alanın rehabilite edilmeksizin terk edilmesi ile ortaya çıkan sorunlar maden alanı ile sınırlı kalmamakta yerel, bölgesel ve küresel düzeyde önemli problemleri de beraberinde getirmektedir. Bu nedenle madencilik faaliyetlerinin ortaya çıkardığı ekolojik bozulmalar için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Kullanılan bu yöntemler sırasıyla; elektroliz yöntemi, üst toprağın sahaya serilmesi suretiyle yapılan rehabilitasyon, ve rehabilite edilemeyen sahaların kamu yararına kullanılması gibi yöntemler kullanılmaktadır. Kullanılan bu yöntemler yüksek yatırım maliyeti getirmesi ve uygulanması için alanında uzman kişilere ihtiyaç duyulmaktadır [6, 7]. Bu yöntemlere alternatif olarak son dönemlerde maliyeti daha düşük ve çevre dostu yeşil ıslah (fitoremediasyon) yöntemi kullanılmaktadır [8]. Yeşil ıslah teknolojisinde kullanılan materyal hiperakümülatör bitkilerdir. Bu bitkiler çok yüksek konsantrasyonlarda ağır metal içeren topraklarda canlılıklarını sürdürebilen ve kökleri vasıtasıyla topraktan almış oldukları ağır metalleri toprak üstü bitkisel (yaprak, dal ve gövdeleri gibi) dokularına

taşıyabilen normal bitkilerde ölçülenden 50 ile 500 kat daha fazla metal biriktiren bitkiler olarak tanımlanmaktadır [9].

Bu çalışma ile Türkiye florasında doğal olarak bulunan 38 hiperakümülatör bitki türü peyzaj özellikleri (doku, form ve çiçek) yönünden incelenerek madencilik faaliyetleri süresince ve sonrasında çeşitli nedenlere bağlı olarak tahrip olan alanların peyzaj onarımı için kullanım olanakları araştırılmıştır.

1.1 Kirlenmiş Toprakların Bitkilerle Temizlenmesi (Fitoremediasyon) Yöntemi

Ağır metallerin restorasyonunda kullanılan fitoremediasyon terimi temiz ve yeşil teknolojidir. Fitoremediasyon radyonüklid, pestisitler, poliklorlubifenil, polinüleer aromatik hidrokarbon gibi kirleticiler ile kirlenmiş alanların doğal veya modifiye olmuş bitkilerin kullanımı ile kirleticilerin bileşik metabolitlere yada hareketsiz hale getirebilen teknolojidir [10,11,12,13] Fitoremediasyon yöntemi toprak veya su kirleticilerini buldukları yerden başka yerlere taşımak veya hareketsiz hale getirebilmek için mikroorganizmaların veya vejetasyon türlerinin kullanıldığı mekanizma ve tekniklerin bütünüdür [14,15]. Kirleticiler bitkiler tarafından farklı zararsız formlara dönüştürülebilir ya da buharlaşarak kayba uğrayabilmektedir [16]. Fitoremediasyon toksik maddelerin izolasyonu, arıtılması ve topraktan uzaklaştırılması için en iyi alternatiflerden biri olarak bilinmektedir [15].

1.2 Hiperakümülatör Bitki

Fitoremediasyon yönteminde kullanılan bitkiler hiperakümülatör bitki olarak adlandırılır. Clemens (2006)'e [9] göre hiperakümülatör bitkiler normal bitkilerden 50-500 kat daha fazla ağır metalleri kök ve gövdelerinde absorbe etme yeteneklerine sahip bitkiler olarak tanımlanırken Van der Ent. ve ark. [17] bitki kuru maddesinde 10.000 mg/kg Mn, 3000 mg/kg Zn, 1000 mg/kg As, Ni ve Pb, 300 mg/kg Cr, Cu ve Co ve 100 mg/kg Tl, Cd ve Se metalleri biriktiren bitkiler olarak tanımlanmaktadır. Başka bir tanımda ise, bitki kuru maddesinde 10,000 mg/kg'dan fazla Mn ve Zn, 1000 mg/kg den fazla Pb, Ni, Cu, Co, As, Se ve 100 mg/kg den fazla Cd biriktiren bitkiler hiperakümülatör bitki olarak tanımlanmıştır [18, 19].

Son yıllarda bünyesinde metal biriktiren yaklaşık olarak 450 bitki türünün çoğunluğunun Asteraceae, Brassicaceae, Caryophyllaceae, Fabaceae, Flacourtaceae, Lamiaceae, Poaceae, Violaceae, and Euphorbiaceae familyasına ait oldukları tespit edilmiştir [20, 21]. Bunların içerisinde Brassicaceae familyası Ni, Zn ve Cd bileşiklerini yüksek oranda biriktiren 11 cins ve 87 türü ile hiperakümülatör bitkilerin yaklaşık %25'ini oluşturmaktadır [22].

1.3 Türkiye Florasında Peyzaj Özelliği Gösteren Hiperakümülatör Bitkiler

Türkiye florası 11.0707 takson ve 3.035 adet endemik tür ile dünyada çok önemli bir yere sahiptir. Türkiye florası hiperakümülatör bitkiler açısından incelendiğinde farklı familyalardan 38 adet hiperakümülatör bitki türüne rastlanmaktadır [23]. Son yıllarda çevre dostu yeşil teknoloji olarak adlandırılan fitoremediasyon yönteminin baş kahramanları olan hiperakümülatör bitkiler ile ilgili yapılan literatür taramalarından elde edilen sonuçlarda; *Betula pendula* bitkisinin ağır metaller ile kirletilmiş toprakların ve endüstriyel alanların temizliğinde iyi bir indikatör bitki olarak kullanılabilmesi yapılan çalışmalarda ortaya konulmuştur [24, 25, 26, 27]. Çinko (Zn) ve kurşun (Pb) cevher madenciliğinin yapıldığı alanlarda *Betula pendula* bitkisinin yüksek oranda elementlere toleranslı olduğu belirlenmiş ve maden alanlarının ıslahında kullanılabilmesi önerilmiştir [28].

Arabidopsis thaliana Heynh. bitkisinin Maestri ve ark. [29] ve Stein ve ark. [30] tarafından yapılan çalışmalarda Cd ve Zn metalleri ile kirletilmiş alanların ıslahı için iyi bir hiperakümülatör bitki olduğu bu metaller ile kirletilmiş alanların ıslahında kullanılabilmesi önerilmiştir. *Minuartia Hirsuta* L. bitkisinin Cu toleransı üzerine etkisi yapılan bir çalışmada araştırılmış ve bitkinin kök gelişiminin 80 µM Cu uygulanmış alanlarda gelişim gösterdiği [31] ve Yunanistan'ın kuzeyinde yapılan başka bir çalışmada *Minuartia hirsuta* ssp. falcata türünün Mn, Zn ve Fe elementlerinin yüksek miktarlarına tolerans gösterdiklerini tespit edilmiştir [32].

Wenzel ve Jockwer [33] yapmış oldukları çalışmada Alpinlerde Pb ve Zn metalleri ile kirletilmiş alandan *Minuartia verna* bitki örnekleri alınarak analiz yapılmış ve sonuçlarında Pb ve Zn sırasıyla 5000 ve 30 mg/kg oranlarında ağır metali bünyesinde biriktirdiği belirlenmiştir. Fernandez ve ark. [34] nin yapmış oldukları çalışmada *Minuartia verna* L. bitkisinin Pb, Zn ve Cd elementlerin yüksek konsantrasyonlarına karşı toleranslı olduğu ve bitkinin bünyesinde biriktirdiği tespit edilmiştir. *Isatis pinnatiloba* P. H. Davis bitkisi ile ilgili yapılan literatür araştırmasında bitkinin bünyesinde 3000 mg/kg oranında Ni biriktirdiği [35], Altınözlü ve ark. [36] nin Pinnatiloba bitkisinin 7 farklı türünde yapılan bir çalışmada tüm türlerin 1000 mg/kg dan fazla Ni ve Turgay ve ark. [37] ise çalışmalarında bitkinin 1441 mg/kg oranında Ni biriktirebildikleri tespit edilmiştir. Ayrıca Pollard ve ark. [38] tarafından yapılan çalışma ile de bitkinin iyi bir Ni hiperakümülatörü olabileceği öne sürülmüştür.

Silene compacta L. bitkisi ile Gümüşköy/Kütahya maden alanından alınan bitki örnekleri ile yapılan bir çalışmada bitkinin köklerinin iyi bir Cd akümülatörü olacağı ortaya konulmuştur [39].

Ricinus communis L. bitkisinin V, Mn, Ni, Pb, Cu, Zn, Cd gibi ağır metallerini kökleri ile absorbe ederek yapraklarında biriktirdiği için maden alanlarının iyileştirilmesinde ve ıslahında kullanılabilmesi çeşitli

çalışmalarda önerilmiştir [40, 41, 42]. Yashim ve ark. [43] Nijerya'nın kuzey bölgesinde bulunan çöp sahasında doğal olarak yetişen *Ricinus communis* L. bitkisinden alınan örnekler ile yapılan analizler neticesinde bitkini bünyesinde yüksek oranda Cd, Co, Ni ve Pb biriktirdiği ortaya konulmuştur.

Parzych ve ark. [44]. yapmış oldukları çalışma ile *Carex echinata* L. bitkisinin Sr, Cu and Ca elementlerini yüksek oranlarda bünyesinde taşıdığı tespit edilmiştir. *Calystegia sepium* L. bitkisinin ağır metallere karşı toleranslı olduğu ve yüksek oranda Cd biriktirebildiği belirlenmiştir [45].

Melilotus officinalis L. bitkisi ile yapılan çalışmalarda bitkinin Cu, Pb ve Se ağır metallerine yüksek tolerans gösterdiği ve bu elementler ile kirletilmiş alanların ıslahında rahatlıkla kullanılabilmesi bildirilmiştir [46, 34, 47, 48]. *Trifolium pratense* L. bitkisinin Cu, Pb ve Ni ağır metallerini biriktirme potansiyelinin yüksek olduğu ve kirletilmiş topraklara tolerans göstererek bitki biyokütlesinde yüksek oranlarda biriktirdiği tespit edilmiştir [49, 50, 51, 52]. *Fraxinus excelsior* fidelerinin Pb, Cd, Cu, Zn, Ni ve Cr ağır metalleri için iyi bir biyomonitör olduğu [53] ve *Fraxinus angustifolia*'nın Sr metalinin topraktan alınması için iyi bir hiperakümülatör bitki olduğu tespit edilmiştir [54]. *Epilobium hirsutum* L. bitkisinin Cu ile kirletilmiş alanlarda hiperakümülatör bir bitki olarak kullanılabilmesi önerilmiştir [55]. Ayrıca bitkinin yüksek oranda As ve diğer metalleri biriktirdiği yapılan diğer çalışmalarda da tespit edilmiştir [56, 57].

Armeria maritima Wild. bitkisinin Pb, Zn ve Cu ağır metalleri ile kirletilmiş topraklara çok iyi adapte oldukları, bünyelerinde biriktirebildikleri ve gelişimlerini tamamlayabildikleri yapılan çeşitli çalışmalar ile ortaya konulmuştur [58, 59, 60]. *Agrostis capillaris* L bitkisinin Pb ve Cd ile kirletilmiş toprakların ıslahında güvenli bir şekilde kullanılabilmesi önerilmiştir [61, 62].

Cynodon dactylon L.'C.M bitkisinin köklerinde yüksek oranda Cu ve Pb elementlerini biriktirebilme özelliği nedeniyle bu metaller ile kirletilmiş toprakların ıslahı için kullanılabilmesi tespit edilmiştir [63]. *Deschampsia cespitosa* P. Beauv.'nun köklerinde fazla miktarda Cd, Zn ve Pb'u biriktirdikleri için bu metaller ile kirlenmiş alanların ıslahı için uygun olduğu belirtilmiştir [64, 65, 66]. *Festuca rubra* L. bitkisinin çeşitli ağır metaller ile kirletilmiş alanlarda vejetatif örtü oluşturmak için sıkça kullanılan dayanıklı bir çim bitki türü olduğu [67,68] ve yüksek ıslah özelliğine sahip olduğu belirtilmiştir [69, 70]. Ayrıca bitkinin Cu, Zn, Pb ve Ni ile kirletilmiş toprakların ıslahında yaygın bir şekilde güvenli kullanılabilmesi ifade edilmiştir [71, 72].

Nardus stricta L. bitkisi ile yapılan bir çalışmada bitkinin Cu ve Pb'un yüksek miktarlarına tolerans gösterdiği ve bu metaller ile kirletilmiş alanların ıslahında kullanılabilmesi bildirilmiştir [73].

Populus Tremuloides spp. türlerinin Zn, Cd, Ni ve Cu ağır metallerine toleranslı oldukları ve bu metallerin

yoğun olduğu alanların ıslahında yaygın bir şekilde kullanılabileceği ifade edilmiştir [74, 75, 76, 77,78]. Ayrıca Smith ve Nkongolo [79] tarafından yapılan bir çalışmada da bitkinin Fe, Mg, Ni ve Zn metalleri için de iyi bir akümülatör olduğu ortaya konulmuştur. *Salix viminalis* L. türlerinin yoğun şekilde Zn ve Cd metalleri ile kirletilmiş toprakları temizlemek için yaygın bir şekilde kullanıldığı ve Hg ya karşın yüksek tolerans gösterdiği yapılan çeşitli çalışmalar ile bildirilmiştir [74,

33, 80, 81, 77]. Türkiye florasında bulunan hiperakümülatör özellik gösteren ve peyzaj değerine sahip bu 21 türün peyzaj değerleri (Doku, form ve renk) ve kullanım olanakları çeşitli literatürlerden araştırılarak [82,83,84,85,86] ağır metal toleransları ile beraber Çizelge 1 de verilmiştir.

Tablo 1. Türkiye Florasında Bulunan Hiperakümülatör ve Peyzaj Özelliği Gösteren Türler ve Özellikleri

| Familiya | Tür | Peyzaj Değeri | Ağır Metal Toleransları | Kullanım Alanları |
|------------------|---|------------------|---------------------------|---|
| Betulaceae | <i>Betula pendula</i> Roth | Doku, form, renk | Pb ve Zn | Peyzaj onarım ve koruma çalışmalarında gölge oluşturma, yönlendirme amaçlı |
| Brassicaceae | <i>Arabidopsis thaliana</i> Heynh. | Çiçeği | Pb, Zn ve Cd | Peyzaj onarım ve koruma çalışmalarında, toprak yüzeyini örtme ve görsel amaçlı |
| Caryophyllaceae | <i>Minuartia hirsuta</i> L. | Çiçeği | Cu | Peyzaj onarım ve koruma çalışmalarında, toprak yüzeyini örtme, stabilizasyon ve görsel amaçlı |
| Caryophyllaceae | <i>Minuartia verna</i> L. | Çiçeği | Pb, Cd ve Zn | Peyzaj onarım ve koruma çalışmalarında, toprak yüzeyini örtme, stabilizasyon ve görsel amaçlı |
| Brassicaceae | <i>Isatis pinnatifolia</i> P.H. Davis. | Çiçeği | Ni | Peyzaj onarım ve koruma çalışmalarında, toprak yüzeyini örtme, stabilizasyon ve görsel amaçlı |
| Caryophyllaceae. | <i>Silene compacta</i> L | Çiçeği | Cd | Peyzaj onarım ve koruma çalışmalarında, toprak yüzeyini örtme, stabilizasyon ve görsel amaçlı |
| Cyperaceae | <i>Carex echinata</i> L. | Formu | Sr, Cu ve Ca . | Peyzaj onarım ve koruma çalışmalarında, toprak yüzeyini örtme, stabilizasyon |
| Convolvulaceae | <i>Calystegia sepium</i> L. | Çiçek ve form | Cd | Peyzaj onarım ve koruma çalışmalarında, tırmanıcı özelliğinden dolayı duvar kenarlarında ve yapay çitlerin bitkilendirilmesinde |
| Euphorbiaceae | <i>Ricinus communis</i> L. | Çiçek ve form | Pb, Cd ve Zn | Peyzaj onarım ve koruma çalışmalarında, toprak yüzeyini örtme, stabilizasyon ve görsel amaçlı görsel amaçlı |
| Fabaceae | <i>Melilotus officinalis</i> L. | Çiçek | Pb ve Cu | Peyzaj onarım ve koruma çalışmalarında, toprak yüzeyini örtme, stabilizasyon ve görsel amaçlı |
| Fabaceae | <i>Trifolium pratense</i> L. | Çiçek | Cu, Pb ve Ni | Peyzaj onarım ve koruma çalışmalarında, toprak yüzeyini örtme, stabilizasyon ve görsel amaçlı |
| Oleaceae | <i>Fraxinus angustifolia</i> L. | Formu | Pb, Cd, Cu, Zn, Ni ve Cr | Peyzaj onarım ve koruma çalışmalarında, erozyon önleme ve toprak stabilizasyonu çalışmalarında |
| Onagraceae | <i>Epilobium hirsutum</i> L. | Çiçek | As ve Cu | Peyzaj onarım ve koruma çalışmalarında, toprak yüzeyini örtme, stabilizasyon ve görsel amaçlı |
| Poaceae | <i>Agrostis capillaris</i> L. | Formu | Pb | Peyzaj onarım ve koruma çalışmalarında, erozyon önleme ve toprak stabilizasyonu çalışmalarında |
| Poaceae | <i>Cynodon dactylon</i> . | Formu | Cu ve Pb mealleri için | Peyzaj onarım ve koruma çalışmalarında, toprak yüzeyini örtme, erozyon önleme ve toprak stabilizasyonu çalışmalarında |
| Poaceae | <i>Deschampsia caespitosa</i> P. Beauv. | Formu | Cd, Zn, Pb | Peyzaj onarım ve koruma çalışmalarında, toprak yüzeyini örtme, erozyon önleme ve toprak stabilizasyonu çalışmalarında |
| Poaceae | <i>Festuca rubra</i> L. | Formu | Cu, Pb, ve Zn | Peyzaj onarım ve koruma çalışmalarında, toprak yüzeyini örtme, erozyon önleme ve toprak stabilizasyonu çalışmalarında |
| Poaceae | <i>Nardus stricta</i> L. | Formu | Cu ve Pb | Peyzaj onarım ve koruma çalışmalarında, toprak yüzeyini örtme, erozyon önleme ve toprak stabilizasyonu çalışmalarında |
| Plumbaginaceae | <i>Armeria maritima</i> Wild. | Çiçeği | Pb, Zn ve Cu | Peyzaj onarım ve koruma çalışmalarında, toprak yüzeyini örtme çalışmalarında |
| Salicaceae | <i>Populus tremula</i> L. | Formu | Fe, Cu, Mn, Zn, Pb ve Cd. | Peyzaj onarım ve koruma çalışmalarında, erozyon önleme çalışmalarında |
| Salicaceae | <i>Salix viminalis</i> L. | Formu | Zn, Cd | Peyzaj onarım ve koruma çalışmalarında, erozyon önleme çalışmalarında |

4. SONUÇ

Madencilik faaliyetleri esnasında ortaya çıkan çevresel problemlere yeşil bir çözüm olarak önerilen fitoremediasyon yöntemi çevre dostu ve ucuz bir metottur. Bu yöntemde kullanılan bitki türleri normal bitkilere oranla çok daha fazla oranda bünyesinde ağır metalleri biriktirebilen hiperakümülatör türlerdir. Yapılan literatür araştırmaları sonucunda Türkiye florasında yer alan 38 hiperakümülatör bitki türünden 21 türün (*Betula pendula* Roth, *Arabidopsis thaliana*

Heynh, *Minuartia hirsuta* L., *Minuartia verna* L., *Isatis pinnatifolia* P. H. Davis, *Ricinus communis* L., *Silene compacta* L., *Carex echinata* L., *Calystegia sepium* L., *Melilotus officinalis* L., *Trifolium pratense* L., *Fraxinus angustifolia* L., *Epilobium hirsutum* L., *Armeria maritima* Wild, *Agrostis capillaris* L., *Cynodon dactylon*, *Deschampsia caespitosa* P. Beauv, *Festuca rubra* L., *Nardus stricta* L., *Populus tremula* L., *Salix viminalis* L.) peyzaj (doku, form ve renk) ve hiperakümülatör özelliklerinden dolayı madencilik faaliyetleri gibi çeşitli uygulamalarla kirletilmiş

toprakların peyzaj onarım çalışmalarında kolaylıkla kullanılabilceği gösterilmektedir (Çizelge 1).

Peyzaj onarım ve koruma çalışmalarında kullanımı önerilen 21 tür bitkinin 14'nün çok yıllık otsu bitki (*Minuartia hirsuta* L., *Minuartia verna* L., *Isatis pinnatiloba* P.H. Davis, *Silene compacta* L., *Carex echinata* L., *Calystegia sepium* L., *Melilotus officinalis* L., *Epilobium hirsutum* L., *Agrostis capillaris* L., *Cynodon dactylon*., *Deschampsia caespitosa* P. Beauv., *Festuca rubra* L., *Nardus stricta* L., *Armeria maritima* Wild), 2'sinin tek yıllık otsu bitki (*Arabidopsis thaliana* Heynh., *Trifolium pratense* L.), 1'i tek yıllık odunsu (*Ricinus communis* L.) ve 4'ünü ağaç türleri (*Betula pendula* Roth., *Fraxinus angustifolia* L., *Populus tremula* L. ve *Salix viminalis* L.) oluşturmaktadır. Çeşitli metaller ile kontamine olmuş toprak alanlarının ıslahında bitki seçimi önem arz etmektedir. Otsu hiperakümülatörler nispeten küçük biyokütle ve yavaş büyümeye sahiptir, bu da türlerin fitoremediasyon potansiyellerini sınırlar [87, 88]. *Betula pendula* Roth., *Fraxinus angustifolia* L., *Populus tremula* L. ve *Salix viminalis* L.) gibi ağaç türleri ise hızlı ve büyük biyokütle üretimi nedeniyle ağır metallerin fitoremediasyonu için otsu bitkilere göre bir avantaja sahiptir. Ağaçların yer örtücü bitkiler ile birlikte kullanılması, toprakların ağır metallere iyileştirmesi için önemli bir rol oynamaktadır. Wu ve ark. (2021) [89] yapmış oldukları bir çalışmada üç ağaç türü (*Mangifera persiciforma*, *Bischofia javanica* ve *Neolamarckia cadamba*) ve üç yer örtücü bitki (*Dianella ensifolia*, *Syngonium podophyllum* ve *Schefflera odorata*) türünün ortak dikim için kullanılmışlardır. Bu şekilde birlikte dikim uygulaması ile bitki-bitki etkileşiminin ağır metallerin uzaklaştırılmasında başarılı bir uygulama olduğu bitki ağır metal alımını artırdığını ifade etmişlerdir. Yapılan pekçok çalışmada da hiperakümülatör özelliğe sahip farklı türlerin birlikte kullanılmasının bitkiler arasında rekabet ve tamamlama meydana getirerek ağır metaller ile kontamine topraklarda bitki biyokütlesini artırarak daha fazla ağır metal uzaklaştırılabileceği gösterilmiştir [90, 91, 92].

Sonuç olarak ülkemizde çeşitli metaller ile kirlenmiş maden saha toprakların temizlenmesinde Türkiye florasında yer alan otsu ve odunsu hiperakümülatör türler uzun vadede koordineli bir şekilde beraber kullanımları sağlanırsa bu alanların ağır metallere arındırılması için düşük maliyetle bir çözüm olarak önerilebilir. Ayrıca kullanılacak türlerin peyzaj niteliği taşımasından dolayı çalışılan alanlar üzerinde görsel kaliteyi de artırması beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Kivinen S. Sustainable post-mining land use: are closed metal mines abandoned or re-used space? Sustainability. 2017; 9, 1705.
- [2] Sontter LJ, Barrett DJ, Moran CJ, Soares-Filho BSA. Land system science meta-analysis suggests we underestimate intensively used land use changes dynamics. Journal Land Use Science. 2015; 10,191–204.
- [3] Khalil A, Hanich L, Bannari A, Zouhri L, Pourret O, Hakkou R. Assessment of soil contamination around an abandoned mine in a semi-arid environment using geochemistry and geostatistics: pre-work of geochemical process modeling with numerical models. Journal Geochemistry Explorer. 2013; 125:117–129.
- [4] Bacchetta G, Cappai G, Carucci A, Tamburini E. Use of native plants for the remediation of abandoned minesites in the Mediterranean semiarid environments. Bull Environ Contam Toxicol. 2015; 94:326–333.
- [5] Kim SM, Suh J, Oh S, Son J, Hyun CU, Park HD, Shin SH, Choi Y. Assessing and prioritizing environmental hazards associated with abandoned mines in Gangwon-do, South Korea: the Total Mine Hazards Index. Environmental Earth Sciences. 2016; Volume 75, Article number: 369.
- [6] Salt DE, Rauser WE. Mg ATP-dependent transport of phytochelatin across the tonoplast of oat roots. Plant Physiology. 1995; 107, 1293-1301
- [7] Glass DJ. International activities in phytoremediation: Industry and market overview. Hazardous and Industrial Wastes Book. Pages. 1999; 238-291.
- [8] Arshad M, Silvestre J, Pinelli E, Kallerhoff J, Kaemmerer M, Tarigo A. A field study of lead phytoextraction by various scented pelargonium cultivars. Chemosphere. 2008; 71, 2187-2192.
- [9] Clemens S. Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. Biochimie. 2006; Volume 88, Issue 11, Pages 1707-1719.
- [10] Turan M, Esringü A. Phytoremediation based on canola (*Brassica Napus* L.) and indian mustard (*Brassica Juncea* L.) planted on spiked soil by aliquot amount of Cd, Cu, Pb and Zn. Plant Soil and Environment. 2007; 53(1):7-15.
- [11] Saier MH, Trevors JT. Phytoremediation. Water Air Soil Pollution. 2010; 205 (Suppl 1):S61–S63.
- [12] Singh S, Parihar P, Singh R, Singh VP, Prasad SM. Heavy Metal Tolerance in Plants: Role of Transcriptomics, Proteomics, Metabolomics, and Ionomics. Front Plant Science. 2016; 6: 1143.
- [13] Manoja SR, Chinnannan K, Kadirvelu K, Arulselvia PI, Shanmugasundaram T, Bruno B, Rajkumar M. Understanding the molecular mechanisms for the enhanced phytoremediation of heavy metals through plant growth promoting rhizobacteria: A review Journal of Environmental Management. 2020; Volume 254, 109779.
- [14] Ashraf S, Ali Q, Zahir ZA, Ashraf S, Asghar HN. Phytoremediation: Environmentally sustainable way for reclamation of heavy metal polluted soils. Ecotoxicology and Environmental Safety. 2019; Volume 174, 15 June Pages 714-727.
- [15] Saxena G, Purchase D, Mulla SI, Saratale GD, Bharagava RN. Phytoremediation of heavy metal-contaminated sites: Eco-environmental concerns, field studies, sustainability issues, and future prospects. Reviews of Environmental

- Contamination and Toxicology. 2019; Volume 249 pp 71-131.
- [16] Canak S, Berezljjev L, Borojevic K, Asotic J, Ketin S. Bioremediation and "Green Chemistry". Fresenius Environmental Bulletin. 2019; Volume 28 pages 3056-3064
- [17] Van der Ent A, Baker AJM, Reeves RD, Pollard AJ, Schat H. Hyperaccumulators of metal and metalloids elements: facts and fiction. *Plant Soil*. 2013; 362:319-334
- [18] Baker AJM, Brooks RR. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements—a review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery*. 1989; 1:81-126
- [19] Robinson B, Duwig C, Bolan N, Marchetti M, Moni C, Schroeter L, Dijssel C, Milne G, Clothier B. Arsenic hyperaccumulation by aquatic macrophytes in the Taupo volcanic zone, New Zealand. *Environment Explorer Botany*. 2006; 58(1-3):206-215.
- [20] Bolan N, Kunhikrishnan A, Thangarajan R, Kumpiene J, Park J, Makino T, Kirkham MB, Scheckel K. Remediation of heavy metal (loid)s contaminated soils – To mobilize or to immobilize? *Journal of Hazardous Materials*. 2014; Volume 266, 15, Pages 141-166.
- [21] Iñer MJ, Kochian LV. Investigating heavy-metal hyperaccumulation using *Thlaspi caerulescens* as a model system. *Annals of Botany*. 2008; 102: 3- 13.
- [22] Kramer U. Metal hyperaccumulation in plants. *Annual Review of Plant Biology*. 2010; 61:517-534
- [23] Özbek K. Hiperakümülayon ve Türkiye florasındaki hiperakümülatör türler. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*. 2015; 3 (1) 37 – 43
- [24] Eltrop L, Brown G, Hinchee RF, Olfenbuttel Lead tolerance of *Betula* and *Salix* in the mining area of Mechnich, Germany. *Plant Soil*. 1991; 131 (1991), pp. 275-285
- [25] Bojarczuk K, Przyby K. Effects of polluted substrate on growth and health of silver birch (*Betula pendula* Roth). *Pollution Journal Environment Study*. 2005; 14,677-684.
- [26] Reimann C, Arnoldussen MA, Boyd R, Finne TE, Koller F, Nordgulen, Englmaier P. Element contents in leaves of our plant species (Birch, mountainash, fern and spruce) along anthropogenic and geogenic concentration gradients. *Science Total Environment*. 2007a; 377,416-433.
- [27] Reimann C, Arnoldussen A, Finne TE, Koller F, Nordgulen, Englmaier P. Element contents in mountain birch leaves, bark and wood under different anthropogenic and geogenic conditions. *Appl. Geochemistry*. 2007b; 22,1549-1566.
- [28] Pajak M, Halecki W, Gasiorek M. Accumulative response of Scots pine (*Pinus sylvestris*L.) and silver birch (*Betula pendula*Roth) to heavy metals enhanced by Pb-Zn ore mining and processing plants: Explicitly spatial considerations of ordinary kriging based on a GIS approach. *Chemosphere* 168. 2017; 851-859
- [29] Maestri E, Marmiroli M, Visioli G, Marmiroli N. Metal tolerance and hyperaccumulation: Costs and trade-offs between traits and environment. *Environmental and Experimental Botany*. 2013; Volume 68, Issue 1, Pages 1-13.
- [30] Stein AJ, Höreth S, Melo JRF, Syllwasschy L, Lee G, Garbin M, Clemens S, Kramer U. Relationships between soil and leaf mineral composition are element-specific, environment-dependent and geographically structured in the emerging model *Arabidopsis halleri*. *New Phytology*. 2017; 213, Pages 1274-1286.
- [31] Ouzounidou G, Symeonidis L, Babalonas D, Karataglis S. Comparative Responses of a copper-tolerant and a copper-sensitive population of *Minuartia hirsuta* to copper toxicity. *Journal of Plant Physiology*. 1994; Volume 144, Issue 1, Pages 109-115.
- [32] Konstantinou M. Heavy metal uptake by species from metalliferous sites in Northern Greece. *Mineral Resources in a Sustainable World 13th sga Biennial Meeting*. 2015; Proceedings, Volume 4
- [33] Wenzel WW, Jockwer F. Accumulation of heavy metals in plants grown on mineralised soils of the Austrian Alps. *Environment Pollution*. 1999; 104 (1), pp. 145-155.
- [34] Fernández R, Bertrand A, García JI, Tamés RS, González A. Lead accumulation and synthesis of non-protein thiolic peptides in selected clones of *Melilotus alba* and *Melilotus officinalis*. *Environment Experimental Botany*. 2012; 78, 18-24.
- [35] Karimi N, Ghaderian SM, Maroofi H, Schat H. Analysis of arsenic in soil and vegetation of a contaminated area in Zarshuran. *Iran International Journal Phytoremediate*. 2010; 12:159-173
- [36] Altınözülü H, Karagöz A, Polat T, Ünver İ. Nickel hyperaccumulation by natural plants in Turkish serpentine soils. *Turk Journal Botany*. 2012; 36:269-280.
- [37] Turgay OC, Görmez A, Bilen S. Isolation and characterization of metal resistant-tolerant rhizosphere bacteria from the serpentine soils in Turkey. *Environment Monitoring and Assessment*. 2012; 184(1):515-26.
- [38] Pollard A J, Reeves RD, Baker AJM. Facultative hyperaccumulation of heavy metals and metalloids. *Plant Science*. 2014; 217-218:8-17.
- [39] Palutoglu M, Akgül B, Suyarko, Yakovenko, M, Kryuchenko N, Sasmaz A. Phytoremediation of cadmium by native plants grown on mining soil. *Bulletin of Environmental. Contamination and Toxicology*. 2018; 100:293-297.
- [40] Wwioko DE, Anoliefo Go, Fashemi SD. Metal concentration in plant tissues of *ricinus communis* l. (Castor oil) grown in soil contaminated with spent lubricating oil. *All rights reserved Journal Apply Science Environment Volume*. 2006; 10 (3) 127 – 134.
- [41] Rajkumar M, Freitas H. Influence of metals resistant- plant growth-promoting bacteria on the plant growth of *Ricinus cummunis* in soil contaminated with heavy metals. *Chemosphere*. 2008; 71:834-842.

- [42] Olivares R, Carrillo-González R, González-Chávez M, Del CA, Soto- Hernández RM. Potential of castor bean (*Ricinus communis* L.) for phytoremediation of mine tailings and oil production. *Journal of Environmental Management*. 2012; 114:316-323
- [43] Yashim ZI, Agbaji EB, Gimba CE, Idris SO. Phytoremediation potential of *ricinus communis* L. (Castor oil plant) in Northern Nigeria. *International Journal of Plant & Soil Science*. 2016; 10(5): 1-8.
- [44] Parzych AE, Sobisz Z, Jonczak J. Comparing *carex* species of mid-forest spring ecosystems in terms of ability to accumulate macro- and microelements. *Journal of Ecological Engineering*. 2017; Volume 18, Issue 5, pages 125–136
- [45] Abe T, Fukami M, Ogassawara M. Cadmium accumulation in the shoots and roots of 93 weed species. *Soil Science and Plant Nutrition*. 2010; 54, 566–573.,
- [46] Kostopoulou P, Kyriazopoulos AP, Abraham EM, Parissi Z.M, Karatassiou M, Barbayannis N. Synergistic effect of selenium addition and water stress on *melilotus officinalis* L. mineral content. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 2015; 43(2):447-454.
- [47] Wu Z, McGrouther K, Chen D, Wu W, Wang H. Subcellular distribution of metals within *Brassica chinensis* L. in response to elevated lead and chromium stress. *Journal Agricultural Food Chemistry*. 2013; 61:4715–4722.
- [48] Han Y, Wu X, Gu J, Zhao J, Huang S, Yuan H, Fu J. Effects of organic acids on the photosynthetic and antioxidant properties and accumulations of heavy metals of *Melilotus officinalis* grown in Cu tailing. *Environment Science Pollution Research*. 2016; 23:17901–17909.
- [49] Abdel-Sabour MF. Nickel accumulation parameters, coefficients of transfer, tolerance index, and nutrient uptake by red clover grown on nickel polluted soils. *International Journal Environment Study*. 1991; 37, 25–34.
- [50] Guerra P, Ahumada, Carrasco A. Effect of biosolid incorporation to mollisol soils on Cr, Cu, Ni, Pb, and Zn fractionation, and relationship with their bioavailability. *Chemosphere*. 2007; 68, 2021–2027.
- [51] Malizia D, Giuliano A, Ortaggi G, Masotti A. Common plants as alternative analytical tools to monitor heavy metals in soil. *Chemistry Central Journal*. 2012; 6, S6.
- [52] Shahbaza AK, Iqbal M, Jabbar A, Hussaina S, Ibrahima M. Assessment of nickel bioavailability through chemical extractants and red clover (*Trifolium pratense* L.) in an amended soil: Related changes in various parameters of red clover. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2018; Volume 149, Pages 116-127.
- [53] Aksoy A, Demirezen D. *Fraxinus excelsior* as a biomonitor of heavy metal pollution polish *Journal of Environmental Studies*. 2006; Vol. 15, No. 1, 27-33.
- [54] Pinheiro JC, Marques CR, Pinto G, Bouguerra S, Mendo S, Gomes NC, Gonçalves F, Rocha-Santos T, Duarte AC, Roembke J, Sousa JP, Ksibi M, Haddioui A, Pereira R. The performance of *Fraxinus angustifolia* as a helper for metal phytoremediation programs and its relation to the endophytic bacterial communities. *Geoderma*. 2013; 202–203 171–182.
- [55] Ghaderian AM, Ravandi AG. Accumulation of copper and other heavy metals by plants growing on Sarcheshmeh copper mining area, Iran. *Journal of Geochemical Exploration*. 2012; Volume 123, Pages 25-32.
- [56] Cheng S, Grosse W, Karrenbrock F, Thoennesen M, 2002. Efficiency of constructed wetlands in decontamination of water polluted by heavy metals. *Ecological Engineering*. 18, 317–325.
- [57] Philippe AG, Masotti V, Rabier J, Petit ME, Malleret L, Coulomb B, Schwob IL. Biomonitoring of *epilobium hirsutum* l. health status to assess water ecotoxicity in constructed wetlands treating mixtures of contaminants. *Water*. 2015; 7(2), 697-715.
- [58] Brewin LE, Mehra A, Lynch T, Farago ME. Mechanisms of copper tolerance by *armeria maritima* in dolfrwynog bog, north wales initial studies. *Environmental Geochemistry and Health*. 2003; 25: 147–156.
- [59] Ciarkowska K, Hanus-Fajerska E. Remediation of soil-free grounds contaminated by zinc, lead and cadmium with the use of metallophytes. *Polish Journal of Environment Study*. 2008; Vol. 17, No. 5 707-712.
- [60] Parys E, Wasilewska W, Siedlecka M, Zienkiewicz M, Drozak A, Romanowska E. Metabolic responses to lead of metallophilous and nonmetallophilous populations of *Armeria maritima*. *Arch Environmental Contamination Toxicology*. 2014; 67:565–577.
- [61] Truyens S, Jambon I, Croes S, Janssen J, Weyens N, Mench M, Carleer R, Cuypers A, Vangronsveld J. The effect of long-term Cd and Ni exposure on seed endophytes of *agrostis capillaris* and their potential application in phytoremediation of metal-contaminated soils. *International Journal of Phytoremediation*. 2014; 16: 643–659.
- [62] Seijo AR, Vila ML, Andrade ML. Pb pollution in soils from a trap shooting range and the phytoremediation ability of *Agrostis capillaris* L. *Environmental Science and Pollution Research*. 2016, Volume 23, Issue 2, pp 1312–1323.
- [63] Nazir A, Naseem MMR, Ajaib M, Khan N, Siddique F. Hyperaccumulators of heavy metals of industrial areas of islamabad and rawalpindi. *Pakistan Journal Botany*. 2011; 43(4): 1925-1933.
- [64] Padmavathamma PK, Li LY. Phytoremediation technology: hyperaccumulation metals in plants. *Water, Air, Soil Pollution*. 2007; 184, 105–126.
- [65] Mahmood T. Phytoextraction of heavy metals the process and scope for remediation of contaminated soils. 2010; *Soil & Environ*. 29(2): 91-109.
- [66] Smith MM, Nkongolo KK. Physiological and Cytological Responses of *Deschampsia cespitosa* and *Populus tremuloides* to Soil Metal

- Contamination. 2015; Water, Air, & Soil Pollution volume 226, Article number: 125
- [67] Simon L. Stabilization of metals in acidic mine spoil with amendments and red fescue (*Festuca rubra* L.) growth. *Environmental Geochemistry and Health*. 2005; Volume 27, pages 289–300.
- [68] Touceda-Gonzalez M, Alvarez-Lopez V, Prieto-Fernandez A, Rodríguez B, Trasar-Cepeda C, Mench M, Puschenreiter M, Quintela-Sabaris C, Macias-Garcia F, Kidd PS. Aided phytostabilisation reduces metal toxicity, improves soil fertility and enhances microbial activity in Cu-rich mine tailings. *Journal Environment Management*. 2017; 186, 301–313.
- [69] Malagoli M, Rossignolo V, Salvalaggio N. Potential for phytoextraction of copper by *Sinapis alba* and *Festuca rubra* cv. Merlin grown hydroponically and in vineyard soils. *Environment Science Pollution Research*. 2014; 21:3294–3303.
- [70] Gomez J, Yunta F, Esteban E, Carpena RO, Zornoza P. Use of radiometric indices to evaluate Zn and Pb stress in two grass species (*Festuca rubra* L. and *Vulpia myuros* L.) .*Environment Science Pollution Research*. 2016; No, 23 pages 23239–23248.
- [71] Bosiacki M, Zielezi Eski L. Phytoextraction of nickel by selected species of lawn grasses from substrates contaminated with heavy metals. *Acta Science Pollution Hortorum Cultus*. 2011; 10(3) 2011, 155-173.
- [72] Golda S, Korzeniowska J. Comparison of phytoremediation potential of three grass species in soil contaminated with cadmium. *Environmental Protection and Natural Resources*. 2016; Volume 27: Issue 1.
- [73] Alexandrina M, Eften A, Anghel A, Marinescu M. Soil contamination in the proximity of the historical copper smelter - A Review. 18th International Multidisciplinary Scientific Geo Conference SGEM. 2018
- [74] Pulford I, Watson C. Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees a review. *Environment International*. 2003; 29, 529–540.
- [75] Wenzel WW, Jockwer F. Accumulation of heavy metals in plants grown on mineralised soils of the Austrian Alps. *Environment Pollution*. 1999; 104 (1), pp. 145-155
- [76] Tlustoš P, Pavlíková D, Száková J, Fischerová Z, Balík J. Exploitation of fast growing trees in metal remediation. *Phytoremediation Rhizoremediation*. 2006; pp. 83–102.
- [77] Wieshammer G, Unterbrunner R, Baares GT, Zivkovic MF, Puschenreiter M, Wenzel WW. Phytoextraction of Cd and Zn from agricultural soils by *Salix* Ssp. and intercropping of *Salix caprea* and *Arabidopsis halleri*. *Plant Soil*. 2007; 298, 255–264.
- [78] Surat H, Aybar M. Ağır metaller ile kirlenmiş alanların onarılmasında kullanılacak bitki türleri. *Academic Research in Science and Engineering*. 2019; Chapter 4.
- [79] Smith MM, Nkongolo KK. Physiological and cytological responses of *deschampsia cespitosa* and *populus tremuloides* to soil metal contamination. *Water Air Soil Pollution*. 2015; 226: 125
- [80] Wang YD, Greger M. Clonal differences in mercury tolerance, accumulation, and distribution in willow. *Journal Environment Quality*. 2004; 33, 1779–1785.
- [81] Tlustoš P, Pavlíková D, Száková J, Fischerová Z, Balík J. Exploitation of fast growing trees in metal remediation. *Phytoremediation Rhizoremediation*. 2006; pp. 83–102.
- [82] Özer S, Yılmaz H, Kaya Y. Determination of the diversity of grassy and woody plant species in Sarıkamış/Turkey district and evaluation of their usability in planning and design attempts *Biological Diversity and Conservation* 2009; 2 / 3
- [83] Yılmaz H. ve Yılmaz H. .Karayolu Şevlerinde Doğal Olarak Yetişen Odunsu Bitkilerin Kullanım Alanlarının İrdelenmesi. *Erzurum-Uzundere Örneği*. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi. 2009;1: 101-111
- [84] Güler N. Çevre Ve Orman Bakanlığı Vize Orman İşletme Müdürlüğü, İğneada ve Çevresi Fauna Revizyonu. Kiklarelî, Vize.2013.
- [85] Tuttu G, Aytas İ, Dilaver Z. Use Opportunities of Some Natural Herbaceous Plants of Cankiri Province in Landscape Applications *International Journal of Scientific and Technological Research* www.iiste.org ISSN 2422-8702 (Online), DOI: 10.7176/JSTR/5-3-16 Vol.5, No.3, 2019
- [86] Surat H. .Artvin’de doğal olarak yetişen bazı tıbbi-aromatik ve ekonomik değere sahip odunsu bitkilerin peyzaj mimarlığında kullanım alanlarının değerlendirilmesi. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*. 2020; Cilt: 13 Sayı: 74 Yıl: 2020 & Volume: 13 Issue: 74
- [87] Oldfield EE, Warren RJ, Felson AJ, Bradford MA. Challenges and future directions in urban afforestation. *Journal Applied Ecology* 2013; 50, 1169–1177.
- [88] Merlot S, Garcia de la Torre VS, Hanikenne M. Physiology and molecular biology of trace element hyperaccumulation. *Agromining: Farming for Metals*. 2018; pp 93-116
- [89] Wu D, Yu X, Lai M, Feng J, Dong X, Peng W, Su S, Zhang X, Wan L, Jacobs DF, Zeng S. . Diversified effects of co-planting landscape plants on heavy metals pollution remediation in urban soil amended with sewage sludge. *Journal of Hazardous Materials*. 2021; Volume 403, 5
- [90] Wan X, Lei M, Chen T, Yang J. Intercropped *Pteris vittata* L. and *Morus alba* L. presents a safe utilization mode for arsenic-contaminated soil. *Sci. Total Environ*. 2017; 579, 1467–1475.
- [91] Zeng P, Guo Z, Xiao X, Peng C, Feng W, Xin L, Xu Z. Phytoextraction potential of *Pteris vittata* L. co-planted with woody species for As, Cd, Pb and Zn in contaminated soil. *Sci. Total Environ*. 2019; 650, 594–603.
- [92] Cid CV, Pignata ML, Rodriguez JH. Effects of co-cropping on soybean growth and stress response in lead-polluted soils. *Chemosphere*. 2020; 246, 125833.