

Cilt / Volume : 10

Sayı / Issue: 1

Yıl / Year: 2025



MAS

MAS JOURNAL OF APPLIED SCIENCES

UYGULAMALI BİLİMLER DERGİSİ



**İktisadi Kalkınma
ve
Sosyal Araştırmalar Enstitüsü**

Institute of Economic Development
and
Social Researches

MAS

Journal of Applied Sciences
Uygulamalı Bilimler Dergisi

ISSN: 2757-5675

masjaps.com

YIL-YEAR
2025

CİLT-VOLUME
10

SAYI-ISSUE
1

BAŞ EDİTÖR / EDITOR IN CHIEF

Doç. Dr. Seyithan SEYDOŞOĞLU / Assoc. Prof. Dr. Seyithan SEYDOSOGLU
Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Siirt-TÜRKİYE
Siirt University, Faculty of Agriculture, Department of Field Crops, Siirt-TÜRKİYE

EDİTÖR YARDIMCILARI / VICE OF EDITOR IN CHIEF

Doç. Dr. Mehmet Fırat BARAN / Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fırat BARAN
Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Tarımsal Makine Sistemleri Bölümü,
Siirt-TÜRKİYE
Siirt University, Faculty of Agriculture, Department of Biosystem Engineering, Siirt-TÜRKİYE

Doç. Dr. Gülşah ÇALIŞKAN KOÇ / Assoc. Prof. Dr. Gülşah ÇALIŞKAN KOÇ
Uşak Üniversitesi, Eşme Meslek Yüksek Okulu, Gıda İşleme Bölümü, Uşak-TÜRKİYE
Usak University, Esmе Vocational School, Department of Food Processing, Uşak-TÜRKİYE

Doç. Dr. Taylan GÜNAY / Assoc. Prof. Dr. Taylan GÜNAY
Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir-TÜRKİYE
Ege University, Faculty of Engineering, Department of Civil, İzmir-TÜRKİYE

Doç. Dr. Ebru YABAŞ / Assoc. Prof. Dr. Ebru YABAŞ
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, İleri Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Sivas-TÜRKİYE
Sivas Cumhuriyet University, Advanced Technology Application and Research Center, Sivas-TÜRKİYE

Prof. Dr. Sabit HOROZ / Prof. Dr. Sabit HOROZ
Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Mühendislik Temel Bilimleri Bölümü, Sivas-TÜRKİYE
Sivas Science and Technology University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Basic Engineering Sciences, Sivas-TÜRKİYE

Doç. Dr. Tuğba MERT / Assoc. Prof. Dr. Tuğba MERT
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Fakültesi, Matematik Bölümü, Sivas-TÜRKİYE
Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Science, Department of Mathematics, Sivas-TÜRKİYE

Dr. Öğr. Üyesi Ali İhsan KAYA / Assist. Prof. Dr. Ali İhsan KAYA
Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Adıyaman-TÜRKİYE
Adıyaman University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Adıyaman-TÜRKİYE

Doç. Dr. Duygu ELMA KARAKAŞ / Assoc. Prof. Dr. Duygu ELMA KARAKAŞ
Siirt Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Siirt-TÜRKİYE
Siirt University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Chemistry, Siirt-TÜRKİYE

Türkçe Dil Editörü / Turkish Language Editor

Doç. Dr. Arzu ÇIĞ / Assoc. Prof. Dr. Arzu CIG
Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Siirt-TÜRKİYE
Siirt University, Faculty of Agriculture, Department of Horticulture, Siirt-TÜRKİYE

İngilizce Dil Editörü / English Language Editor

Dr. Shahid FAROOQ / Dr. Shahid FAROOQ
Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Şanlıurfa-TÜRKİYE
Harran University, Faculty of Agriculture, Department of Plant Protection,
Şanlıurfa-TÜRKİYE

İstatistik Editörü / Statistics Editor

Doç. Dr. Gülen ÖZYAZICI / Assoc. Prof. Dr. Gulen OZYAZICI
Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Siirt-TÜRKİYE
Siirt University, Faculty of Agriculture, Department of Field Crops, Siirt-TÜRKİYE

Yayın ve Mizanpaj Editörü / Editorial Review and Layout

Dr. Esra BİLİCİ / Dr. Esra BILICI
Uşak Üniversitesi, Eşme Meslek Yüksekokulu, Veterinerlik Bölümü, Laborant Ve Veteriner Sağlık
Programı, Uşak-Türkiye
Usak University, Eşme Vocational School Veterinary Department Laborant and Veterinary Health
Program, Usak-Türkiye

Dizin Editörü / Index Editor

Prof. Dr. Tamer ERYİĞİT / Prof. Dr. Tamer ERYİĞİT
Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Gevaş Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim, Van-
TÜRKİYE
Van Yuzuncu Yıl University, Gevas Vocational School, Plant and Animal Production, Van-TÜRKİYE

ALAN EDITÖRLERİ / SUBJECT EDITORS

Prof. Dr. Mehmet ŞİMŞİR / Prof. Dr. Mehmet ŞİMŞİR

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü,
Sivas

Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Engineering, Department of Metallurgical and Materials
Engineering, Sivas

Doç. Dr. Kubra YAZICI / Assoc. Prof. Dr. Kubra YAZICI

Yozgat Bozok Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Yozgat-TÜRKİYE
Yozgat Bozok University, Faculty of Agriculture, Department of Landscape Architecture, Yozgat-
TÜRKİYE

Prof. Dr. Yılmaz BAYHAN / Prof. Dr. Yılmaz BAYHAN

Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ-TÜRKİYE
Namık Kemal University, Faculty of Agriculture, Department of Biosystems Engineering, Tekirdağ-
TÜRKİYE

Prof. Dr. Yusuf SERT / Prof. Dr. Yusuf SERT

Yozgat Bozok Üniversitesi, Sorgun Meslek Yüksekokulu, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri,
Yozgat-TÜRKİYE

Yozgat Bozok University, Sorgun Vocational School, Motor Vehicles and Transportation
Technologies, Yozgat-TÜRKİYE

Doç. Dr. Abdulkadir KARAKAŞ / Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir KARAKAŞ

Siirt Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, Siirt-TÜRKİYE
Siirt University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Mathematics, Siirt-TÜRKİYE

Prof. Dr. Melekber SÜLÜŞOĞLU DURUL / Prof. Dr. Melekber SÜLÜŞOĞLU DURUL

Kocaeli Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Meyve Yetiştirme ve Islahı Anabilim
Dalı, Kocaeli-TÜRKİYE

Kocaeli University, Faculty of Agriculture, Department of Horticulture, Fruit Growing and Breeding
Program, Kocaeli- TÜRKİYE

Prof. Dr. Osman GUNAYDIN / Prof. Dr. Osman GUNAYDIN

Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adıyaman-TÜRKİYE
Adıyaman University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Adıyaman-
TÜRKİYE

Doç. Dr. Mükerrerem ATALAY ORAL /Assoc. Prof. Dr. Mükerrerem ATALAY ORAL

Akdeniz Üniversitesi, Elmalı Meslek Yüksek Okulu, Yönetim ve Organizasyon Bölümü, Antalya-
TÜRKİYE

Akdeniz University, Elmalı Vocational School, Management And Organization, Business
Administration Program, Antalya-TÜRKİYE

Dr. Öğr. Üyesi Okan ORAL / Assist. Prof. Dr. Okan ORAL

Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Bölümü, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Antalya-TÜRKİYE
Akdeniz University, Faculty of Engineering, Department of Mechatronics Engineering, Antalya-TÜRKİYE

Doç. Dr. Yusuf BASOGUL / Assoc. Prof. Dr. Yusuf BASOGUL

Adiyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Adiyaman-Türkiye
Adiyaman University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Adiyaman-TÜRKİYE

Dr. Öğretim Üyesi Ferhat ÇIRA / Assist. Prof. Dr. Ferhat CIRA

Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa-TÜRKİYE
Harran University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Şanlıurfa-TÜRKİYE

Doç. Dr. Serpil SAVCI / Assoc. Prof. Dr. Serpil SAVCI

Bozok Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama, Yozgat-TÜRKİYE
Bozok University, Faculty of Engineering and Architecture, City and Regional Planning, Yozgat-TÜRKİYE

Doç. Dr. Gülay OĞUZ / Assoc. Prof. Dr. Gülay OĞUZ

Harran Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, Şanlıurfa-TÜRKİYE
Harran University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Mathematics, Şanlıurfa-TÜRKİYE

Dr. Ameer Fawad ZAHOR

Government College University, Department of Chemistry, Faisalabad-PAKISTAN

Dr. Amin MARANDI

University of Tehran, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Aquatic Animal Health, Tehran-IRAN

Dr. Shalini IYYANAR

Rajiv Gandhi Institute of Veterinary Education and Research, Department of Veterinary Gynaecology, Puducherry-INDIA

Prof. Dr. Rachid SALGHI

University Ibn Zohr, Laboratory of Applied Chemistry and Environment, Agadir-MOROCCO

Assoc. Prof. Dr. Norhayati Binti HUSSAIN

Universiti Putra Malaysia, Department of Food Technology, Faculty of Food Science and Technology,
Selangor-MALAYSIA

Dr. J.M. Susanthi JAYASINGHE

University of Peradeniya, Department of Chemistry, Faculty of Science, SRI LANKA

Victor T. IBEABUCHI

Alex Ekwueme Federal University Ndufu Alike, Department of Civil Engineering, Abakaliki-
NIGERIA

Assoc. Prof. Dr. Belay DUGUMA

Jimma University, College of Agriculture and Veterinary Medicine, Department of Animal Science,
Jimma-ETHIOPIA

Assist. Prof. Dr. Ružica Ždero PAVLOVIĆ

University in Novi Sad, Novi Sad, Faculty of Agriculture, SERBIA

Assoc. Prof. Dr. Sergiy LAVRENKO

Kherson State Agrarian and Economic University, Department of Agriculture, Kherson- UKRAINE

Dr. Krupa-Malkiewicz MARCELINA

West Pomeranian University of Technology Szczecin, Department of Plant Genetics, Breeding and
Biotechnology, Szczecin-POLAND

Dr. Javeria SHEIKH

Jinnah University for Women, Department of Pharmaceutics, Faculty of Pharmacy, Karachi-
PAKISTAN

Dr. Mehak AHSAN

Jinnah University for Women, Department of Food Science and Technology, Karachi-Pakistan

Dr. Bojan ĐERČAN

University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Department of Geography, Tourism and Hotel
Management, Novi Sad-SERBIA

Dr. Ivana PENJIŠEVIĆ

University of Priština in Kosovska Mitrovica, Faculty of Sciences and Mathematics, Lole Ribara,
Kosovska Mitrovica-SERBIA

Dr. Sunil KUMAR

Femtosecond Spectroscopy and Nonlinear Photonics Indian Institute of Technology Delhi Laboratory,
Department of Physics, New Delhi-INDIA

Prof. Dr. Akbar ABBASI

University of Kyrenia, Faculty of Art and Science, Kyrenia-TRNC

ÜRÜN BİLGİSİ / PRODUCT INFORMATION

Dergi Kapsamı: MAS Uygulamalı Bilimler Dergisi (MAS JAPS), yayın konuları, fen ve mühendislik bilimlerinde yapılmış deneysel ve teorik ilerlemeleri konu alan analitik ve sayısal çözümleri içeren araştırma makalesi türündeki çalışmaları, bilimsel derlemeleri ve teknik notları içermektedir. Makalelerin; üretilen bilginin yeni olması, yeni bir yöntem öne sürmesi ya da daha önce var olan bilgiye yeni bir boyut kazandırmış olması gibi niteliklere sahip olması beklenmektedir.

Scope of the Journal: MAS Journal of Applied Sciences (MAS JAPS) includes research article-type studies, scientific compilations and technical notes, including analytical and numerical solutions on experimental and theoretical advances in science and engineering sciences. Your articles; the information produced is expected to be new, suggest a new method, or add a new dimension to previously existing knowledge.

Yayımlayan / Publisher

İktisadi Kalkınma ve Sosyal Araştırmalar
Enstitüsü / Institute of Economic Development
and Social Researches

Yayın Dili / Language

Türkçe-İngilizce / Turkish-English

Basım Tarihi / Date of Publication

28/03/2025

Yayın Aralığı / Frequency

Yılda dört kez (Mart-Haziran-Eylül-Aralık)
yayınlanır.

Published four times a year (March-June-
September-December)

Tarandığı İndeksler / Indexed and Abstracted in



İÇİNDEKİLER / CONTENTS

The Effect of Different Amounts of Organic Farm Manure Applications on Pasture Yield and Yield Indicators in the Steppe Rangelands of Tektek Mountains in Şanlıurfa Province Merve BUCAK, Tahir POLAT, Mustafa OKANT, M. İzzet TÜRKOĞLU.....	1
Agro-Morphological and Forage Quality Traits of Some Pearl Millet (<i>Pennisetum glaucum</i> (L.) R. Br.) Populations Grown Under Şanlıurfa Conditions Mustafa İzzet ÖZER, Mustafa OKANT.....	12
The Effect of Low Temperature Applied During Carpophore Formation on The Development and Nutritional Content of Oyster Mushrooms (<i>Pleurotus ostreatus</i> (Jacq. ex Fr.) P. Kumm (1871) and <i>P. citrinopileatus</i> Singer) Turgay KABAY, Aynur SADAK TURHAN, Suat SENSOY, Ruhan İknur GAZIOĞLU SENSOY.....	22
Effect of Drought Applied in Different Periods on Plant Morphological and Physiological Characteristics in Tomato Muhammed Sait YANARDAĞ, Turgay KABAY.....	32
Role of Giberellic Acid (GA3) in Seed Germination and Early Seedling Development in Some Field Crops: A Review Nilüfer KOÇAK ŞAHİN, Onur OKUMUŞ, Ahmet SAY.....	39
The Effects of Proline and Salicylic Acid Applications on Yield and Plant Growth in Green Onion (<i>Allium cepa</i> L.) Cultivation Haydar BALCI, Muhsin YILDIZ, Murat KARA.....	45
Silage Quality Characteristics in Mixtures of <i>Moringa oleifera</i> and <i>Moringa stenopetala</i> with Maize (<i>Zea mays</i> L.) at Different Ratios Hager Gamal Maher MOHAMED, Gülcan DEMİROĞLU TOPÇU.....	54
Effect of Encapsulation on the Amount of HMF in Honey Elif Sine DÜVENCİ, Pınar KARAGÜL, Bora KARAGÜL.....	63
The Synthesis and Electrochemical Characterization of an Electron Donor-Acceptor Co-Monomer Hacer DOLAS.....	72
Emotion Recognition in EEG Signals with Wavelet Transform and CNN Abdulfatah KALAJE, Hasan DEMİR.....	81
Effect of Temperature Fluctuations on Biological Activity and Membrane Performance in Anaerobic Membrane Reactors Birkut GÜLER, Mehmet Emin ARICI.....	90

Synthesis, Characterization, and Thermal Properties of Cd(II) and Hg(II) Complexes Containing N,N'-bis(2-hydroxyethyl)piperazine and Saccharinate	
Serkan GÜNEY.....	102
Detection of Soil Salinity Using Remote Sensing and Machine Learning: Innovative Approaches and Contributions	
Fatma KAPLAN.....	110
Mesozoic Micropaleontological Data of Senirkent (Isparta) Surroundings	
Aslı KARABAŞOĞLU.....	120
The Impact of Social Media in Veterinary Education: Contributions of Social Media Use to the Learning Process in Veterinary Parasitology Education	
Meral AYDENİZÖZ, Pınar AYVAZOĞLU DEMİR	132
Enhancing EMG Signals for Amputee People with Deep Neural Network and Optimization Algorithms	
Çağdaş ÖZER, Zeynep ORMAN.....	141
Process Failure Modes and Effects Analysis (PFMEA) and Improvements on Valve Seizure Issue in Engine Assembly	
Taha Cüneyd MENDİ, Hasan AYDOĞAN.....	161
Investigation of the Kinetic and Thermal Properties of Lentil Stalk Pyrolysis	
Hakan YILDIZ.....	179

Şanlıurfa İli Tek Tek Dağları Doğal Meralarında Farklı Gübre Uygulamalarının Mera Verim ve Botanik Kompozisyonu ile Otlatma Kapasitesinin Belirlenmesi

Merve BUCAK¹, Tahir POLAT^{2*}, Mustafa OKANT², M. İzzet TÜRKÖĞLU¹

¹ Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa

² Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Şanlıurfa

*Sorumlu yazar (Corresponding author): tahirpolat@harran.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 15.11.2024

Kabul Tarihi (Accepted): 30.12.2024

Özet

Bu araştırma, Şanlıurfa ili tek tek dağları doğal meralarında 8 farklı organik çiftlik gübre dozları (0, 500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500 kg da⁻¹) uygulamalarının mera verim ve botanik kompozisyonu ile otlatma kapasitesinin belirlenmesi amacıyla tesadüf blokları deneme desenine göre 3 tekrarlamalı olarak yürütülmüştür. Çalışmada; kuru ot verimi, ham protein verimi, ağırlığa göre % buğdaygiller, % baklagiller ve % diğer familya bitkileri, otlatma kapasitesi gibi karakterler incelenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre; istatistiki olarak incelenen özellikler aşağıdaki aralıklarda olduğu tespit edilmiştir; kuru ot verimi 170-460 kg da⁻¹, ham protein verimi 13.56-81.93 kg da⁻¹, botanik kompozisyonda buğdaygil familyasındaki türlerin oranı %50.39, baklagillerin oranı %34.23, diğer familya bitki türlerinin oranı %19.06-37.18 olarak tespit edilmiştir. Meranın otlatma kapasitesi ise 73.93 hayvan birimi olmuştur. Sonuç olarak; mera bitki örtüsünde büyük çoğunluğunun yem bitkilerinin oluşturarak buğdaygil ve baklagil oranında artışa neden olduğu, diğer familya bitki türlerinin oranında ise düşüşe sebebiyet verdiği görülmüştür. Meraya 1 ton/da çiftlik gübresi ile 6 kg/da fosfor dozunun birlikte uygulamasının öne çıktığını söylemek mümkündür.

Anahtar Kelimeler: Organik çiftlik gübresi, mera ot verim unsurları, tektek dağları

The Effect of Different Amounts of Organic Farm Manure Applications on Pasture Yield and Yield Indicators in the Steppe Rangelands of Tektek Mountains in Şanlıurfa Province

Abstract

This study was conducted in the steppe rangelands of Tek Tek Mountains in Şanlıurfa province, using a randomized block design with three replications to determine the effects of eight different organic farm manure doses (0, 500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500 kg da⁻¹) on rangeland yield, botanical composition, and grazing capacity. The parameters examined in the study included dry matter yield, crude protein yield, the percentage of grasses, legumes, and other plant families based on weight, as well as grazing capacity. According to the results, the investigated features were found to range within the following values: dry matter yield was between 170-460 kg da⁻¹, crude protein yield ranged from 13.56 to 81.93 kg da⁻¹, with the proportion of grasses in the botanical composition being 50.39%, legumes 34.23%, and other plant families ranging from 19.06% to 37.18%. The grazing capacity of the rangeland was calculated as 73.93 animal units. In conclusion, it was observed that the majority of the rangeland vegetation was composed of forage crops, leading to an increase in the proportions of grasses and legumes, while the proportion of other plant families decreased. The combined application of 1 ton da⁻¹ of farm manure with 6 kg da⁻¹ of phosphorus emerged as a prominent treatment.

Keywords: Organic farm fertilizer, rangeland forage yield traits, tektek mountains

1. Giriş

Türkiye'de yıllık yağış miktarının büyük çoğunluğunun 500-600 mm aralığında olduğu doğal meralar, uzun yıllar boyunca yönetim kurallarına uyulmadan yapılan aşırı otlatma nedeniyle bitki örtüsünün neredeyse tamamını kaybetmiş ve verimlilikleri büyük oranda azalmıştır. Bu gibi alanlarda, dinlendirme veya gübreleme gibi kısa vadeli iyileştirme yöntemlerinin başarı sağlaması güçtür. Ancak, topografya ve toprak özellikleri uygun olan meralarda, mevcut bitki örtüsü ortadan kaldırılarak bölgenin ekolojik şartlarına uyum sağlayan çok yıllık yem bitkilerinin ekilmesi, başarılı sonuçlar verebilir. Türkiye'de çayır ve meralar, ülke yüzölçümünün neredeyse üçte birini kaplamaktadır. Ancak bu alanların büyük bir kısmı oldukça zayıf durumdadır. Mera bitki örtüsünde yaşanan tahribatın başlıca nedenlerinden biri kurak iklimlerdir, ancak asıl sorun yanlış kullanımda yatmaktadır. Meraların taşıma kapasitesine dikkat edilmeden yapılan aşırı otlatma ve yanlış türde hayvanların meralarda otlatılması, bitki örtüsünün zarar görmesine yol açmaktadır. Bu olumsuz koşullara bir de bazı bölgelerdeki kurak ve soğuk iklimler eklendiğinde, bitkiler ciddi şekilde zayıflayarak kolayca yok olabilmektedir (Gökkuş ve ark., 2009). Dünya genelinde meralar, kara yüzeyinin %26'sını kaplarken, Türkiye'de bu oran %18.94'dür (Koç ve ark., 2012; Seydoşoğlu, 2018; Seydoşoğlu ve ark., 2019; Seydoşoğlu ve Kökten, 2018). Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yer alan Şanlıurfa ilinin arazi varlığı incelendiğinde toplam 19.451 km²'lik alanın yaklaşık %4.59'unu çayır-meralar, %54.28'sini de tarım alanları oluşturmaktadır (Türkoğlu ve ark., 2023). Şanlıurfa ilinin mevcut mera alanları, hayvancılık açısından çok az, tarım açısından ise önemli bir potansiyele sahiptir. İlimizdeki meraların çoğu, ülke genelinde olduğu gibi, kötü kullanım sebebiyle zayıf durumdadır. Bu alandaki bitkilerin verim güçlerini ortaya koyabilmeleri için büyüme ortamlarının en uygun koşullara sahip olması gerekmektedir. Gübreleme işlemi bu yetersizlikleri gidermek amacıyla bitki besin maddelerinin yapay yolla toprağa verilmesi

şarttır. Bu nedenle, bu alanlarda gübreleme yaparak bitki örtüsünü güçlendirmek veya ot üretimini artırmak bir gerekliliktir (Altın ve ark., 2005). N ve P gibi besin elementlerinin uygunluğu, bitkilerin biyokimyasal faaliyetlerinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu araştırmanın amacı, Şanlıurfa ili Tek Tek Dağları doğal meralarında gübre dozu uygulaması yaparak uzun yıllar korunan bir alanın verim ve kalite açısından mevcut durumu belirlemek, doğal bir alanın korunma ile sahip olacağı verim ve kalite farkını ortaya çıkarmaktır.

Bu çalışma sonucu elde edilen bulgular Şanlıurfa ilinde yapılacak mera iyileştirme çalışmalarına ışık tutarak bölge hayvancılığının gelişmesine de katkı sağlayacaktır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Bu araştırma ile ilgili arazi çalışması, 2022 yılının güz döneminde Şanlıurfa'ya 25 kilometre uzaklıkta bulunan ve Şanlıurfa-Mardin karayolu üzerinde yer alan TekTek Dağları doğal merası üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanı, Harran Ovası'nın TekTek Havzası içindedir ve coğrafi konumu 37° 09' 49'' kuzey enlemi, 38° 48' 46'' doğu boylamıdır. Ayrıca, çalışma bölgesinin ortalama rakımı 540 metredir (Anonim, 2002).

2.2. Araştırma alanının iklim özellikleri

Araştırmada, 2022-2023 deneme yılı ve uzun yıllar iklim değerleri Şanlıurfa Meteoroloji Müdürlüğü'nden alınan iklim verilerine göre TekTek Dağları doğal meralarında uzun yıllar sıcaklık ortalaması 13.9 °C, uzun yıllar ortalamaları içerisinde Ocak ayı en soğuk, Haziran ayı en sıcak aydır. ortalama yıllık sıcaklık 15.1 °C, ortalama yıllık yağış ortalaması 65.4 mm olup uzun yıllar ortalamasından yüksek çıkmış, 2023 yılı Mart ayı yağış miktarı 255 mm ile ekstrem durum yaşanmıştır. Ayrıca, Mayıs ve Haziran aylarında ise en düşük nispi neme ulaşılmıştır.

Çünkü 2023 yılında ekim nöbeti uygulamasından dolayı bölgemizde pamuk ekimi yapılmamış, diğer aylarda uzun yıllar

ortalama iklim verilerine paralel bir seyir izlemiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Şanlıurfa ilinin 2022-23 yılı ve uzun yıllara ait bazı iklim verileri*

Table 1. Some climatic conditions of Şanlıurfa province for 2022-23 and many years*

Aylar	Ort. sıcaklık (°C)		Toplam yağış (mm)		Nispi nem (%)	
	2022-23	U. yıllar	2022-23	U. yıllar	2022-23	U. yıllar
Kasım	14.6	13.2	78.4	45.2	63.0	59.9
Aralık	11.1	7.6	46.7	79.6	66.7	69.9
Ocak	8.1	5.6	21.6	86.3	62.8	70.3
Şubat	6.6	7.1	78.3	68.1	54.4	66.9
Mart	13.5	10.9	255.0	65.3	61.4	60.4
Nisan	15.8	16.3	39.8	48.9	54.1	69.1
Mayıs	22.1	22.3	3.1	27.0	35.6	71.5
Haziran	28.3	28.1	0.0	4.3	31.7	67.7
Ort./Top.	15.01	13.9	65.3	53.1	53.7	66.9

*: Anonim (2023), **: Anonim (1929-2020).

2.3. Araştırma alanının toprak özellikleri

Çalışmanın yürütüldüğü araziye ait toprak özellikleri Hayat Toprak Su ve Bitki Analizi Laboratuvarında (Teknokent, Şanlıurfa) analiz edilmiş olup 8.98-23.43 ppm mangan, 5.034-4.472 ppm demir ve 1.022-1.269 ppm oranında ise bakır içerdiği bulunmuştur. Deneme alanı toprağı aynı zamanda; 3.29-4.61 kg da⁻¹ fosfor, 96.9-366 kg da⁻¹ potasyum ve %1.1-2.29 oranında organik madde içermektedir. Toprağın pH değeri 6.96-7.33, işba oranı %72-74 ve kireç oranı da %16.3-43.2 olarak bulunmuştur.

2.4. Yöntem

Çalışma, tesadüf blokları deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak, her blok 8 parselden meydana gelecek şekilde toplam deneme alanı 24 parselden oluşturulmuş. Her bir parsel alanı 2mx3m:6 m² olarak alınmıştır. Çalışmada parseller arasında 50 cm, bloklar arasında ise 2 m boşluk bırakılmıştır. Araştırmada kontrol altına alınmış doğal meralara 0 kg da⁻¹, 500 kg da⁻¹, 1000 kg da⁻¹, 1500 kg da⁻¹, 2000 kg da⁻¹, 2500 kg da⁻¹, 3000 kg da⁻¹, 3500 kg da⁻¹'a organik çiftlik gübrenin farklı dozları uygulanmıştır. Ayrıca, her bir parsele 6 kg/da fosfor uygulanmıştır. Gübrelemenin, doğal bir meraya göre ne gibi bir farklılık oluşturduğu araştırılmıştır. İşletmelerden elde edilen ve araştırmada kullanılan organik çiftlik gübresi içerikleri; organik madde %70-75, nem %8-10,

toplam fosfor pentaoksit %1.25-2.1, pH 7-8, suda çözünür Potasyumoksit %0.75-1, toplam azot %1.5-3, toplam humik+fulvik asit %20-40, Çinko 30-40 mg kg⁻¹, Bakır 45-55 mg kg⁻¹ bileşiminden oluşmaktadır. Çalışmada mera vejetasyonunun kantitatif özelliklerini belirlemek amacıyla kuadrat yöntemi kullanılmıştır (Gökbulak 2013). Biçim, mayısın ilk haftasında buğdaygillerin başaklanma devresinde yapılmıştır. Merayı temsil edecek şekilde belirlenen alanda 0.33 x 0.33 m²'lik 2 kuadrat tesadüfi olarak atılmış, toplam 24 alanda çerçeve içerisinde kalan ot ve çalı türleri toprak seviyesinden biçilerek buğdaygiller, baklagiller ve diğer familya bitki türlerine göre gruplandırılıp, ayrı ayrı kese kağıtlarına konulup hava kurusu haline gelen örnekler 78 °C'ye ayarlı kurutma fırınında 48 saat bekletilerek sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuş ve hassas terazide tartılarak kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Her parselden alınan iki örneğin ortalamasından parselin verimi ve daha sonra dekara verim belirlenmiştir. Kuru maddesi tayin edilmiş numunelerden 600 mg alınarak mikro Kjeldal metoduna göre toplam azot oranları belirlenmiştir (Kacar, 1984). Bitkideki toplam azot yüzdesi yem bitkileri için tavsiye edilen 6.25 katsayısıyla çarpılarak ham protein oranları elde edilmiş (Akyıldız 1984), ham protein yüzdeleri dekara kuru ot verim değerleri ile çarpılarak dekara ham protein verimleri hesaplanmıştır (Altın,

1982;Akyıldız, 1984). Her kuadratta saptanan bitki gruplarına ait kuru ot verimi değerleri söz konusu kuadratlarla saptanan toplam kuru ot verimine oranlanarak farklı bitki gruplarının kuru ot verimine katılma oranları yüzde (ağırlığa göre botanik kompozisyon) olarak saptanmıştır (Tükel ve Hatipoğlu (2005). Araştırma, henüz otlatılmaya başlanılmayan kesimlerde yürütülüp tamamlanmıştır. Ayrıca araştırmada meranın otlatma kapasitesi belirlenmesi için meranın otlatma kapasitesi hayvan birimi (HB) cinsinden Türkiye’de yaygın olarak kullanılan ve Tükel ve Hatipoğlu (2005) tarafından bildirilen yöntemle hesaplanmıştır. Bir koyunun canlı ağırlığı 45 kg olarak alınmış veya HB birimine dönüştürülmüştür. Meraların genel ortalama verim değerlerinin %40’ı hayvanların yararlanabilecekleri yem miktarı olarak kabul edilip, iklim değerlerinden çıkartılan 165 günlük vejetasyon süresi de normal otlatma gün sayısı olarak değerlendirilmiştir (Gençkan, 1985; Tükel, 1989). Günlük yem gereksinimi kuru ot olarak hayvanın canlı ağırlığının 1/40 kg olarak kabul edilmiştir. Araştırmadan elde edilen değerler, JMP paket yazılım programı sayesinde tesadüf blokları deneme modeline ait varyans analizi yapılmış, gruplar arasındaki istatistiksel farklılıkları belirlemek için LSD (%5) çoklu karşılaştırma testleriyle değerlendirilmiştir (Yurtsever, 2011).

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Kuru ot verimi

Denemede incelenen farklı gübre dozlarında dekara 170.00-460.00 kg kuru ot verimi alınmıştır. En düşük değer 170.00 kg da⁻¹ ile 0 kg da⁻¹ gübre dozundan, en yüksek değer ise tüm gübre dozlarından elde edilmiştir (Tablo 2). Bu çalışmada gübreleme uygulaması kuru ot veriminde artışa neden olmuştur. Uygun gübreleme ile verimin 2-3 kat artabileceğini Yavuz ve Karagül (2013) bildirmektedirler. Ülkemizin farklı coğrafyalardaki çalışmalarında Gökkuş ve ark. (2005) Çanakkale doğal merasında 156 kg da⁻¹, Altın ve ark. (2010) Tekirdağ ili Malkara ilçesi Karamurat köyü merasında 387 kg da⁻¹, Babalık ve Sönmez (2010) Isparta’da yapılan bir mera çalışmasında 80.26 kg da⁻¹, Şen (2010) Kilis Madenyolu köyü merasında 172 kg/da, Yavuz ve Karagül (2013) Düzce Esenli merasında kuru ot verimi 149 kg da⁻¹, Çağan ve Başbağ (2016) Bingöl İli Merkez İlçesi Yelesen-Dikme köyü meralarında 143.54 kg da⁻¹, Polat ve ark. (2018) Adıyaman ili Kuyulu Köyü’nde bulunan doğal meraların ot verimi 235.21 kg da⁻¹, Babalık ve Kılınç (2021) Isparta ili Yalvaç ilçesi Tokmacık köyü merasında 284.6 kg da⁻¹ ve Ok ve Çağan (2023) Diyarbakır il merkezine bağlı Övündüler Köyü merasında kuru ot verimini 425 kg da⁻¹, olarak tespit etmişlerdir.

Tablo 2. Korunan bozkır doğal meralarda kuru ot ve ham protein verimleri ile oluşan gruplar

Table 2. Groups formed by hay and ham protein yields in protected steppe natural pastures

Gübre dozları (kg da ⁻¹)	Kuru ot verimi (kg da ⁻¹)	H. protein verimi (kg da ⁻¹)
0	170.00 b ¹	13.56 e
500	356.66 a	33.27 d
1000	460.00 a	52.80 bc
1500	396.66 a	69.39 a-c
2000	440.00 a	81.93 a
2500	426.66 a	66.24 a-c
3000	406.66 a	70.63 ab
3500	393.50 a	52.12 c
Ortalama	381.26	54.99
LSD (%5)	135.29	18.23

1) Farklı harf ile gösterilen ortalamalar LSD testine göre P≤0.05 hata sınırları içerisinde birbirinden istatistiksel olarak farklıdır.

2)

Çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan kuru ot verimleriyle Şanlıurfa TekTek Dağları doğal merasında farklılıklar gösterdiği

görülmektedir. Bu farklılık ise bölgenin iklimi ve meraların toprak yapısının çeşitlilik göstermesi, ot veriminde önemli farklılıklara

neden olmaktadır. Meraların ot üretimi, farklı iklim ve toprak koşullarının etkisiyle büyük ölçüde değişiklik gösterebilmektedir.

3.2. Ham protein verimi

İncelenen Şanlıurfa TekTek Dağları doğal meralarının farklı gübre dozlarında kuru ottaki ham protein veriminin istatistiksel olarak önemli olduğu, en yüksek verimin sayısal olarak 81.93 kg da⁻¹ ile 2000 kg da⁻¹ gübre dozunda, en düşük verimin ise 13.56 kg da⁻¹ ile 0 kg da⁻¹ gübre dozundan alındığı Tablo 2’de görülmektedir. Farklı gübre uygulamalarında, kontrol uygulamasına göre (0 kg da⁻¹), 2.43-6.04 kat daha fazla ham protein verimi elde edilmiştir Farklı gübreleme uygulamasında kontrol uygulamasına göre (0 kg da⁻¹), kuru ot verimi ile ham protein verimini artırabileceğini Ayan (1997) bildirmektedir. Meralardan elde edilen ham protein değerleri genellikle otların büyüme ve gelişme zamanında hesaplanan değerlerdir. Farklı ekolojilerde ve farklı uygulamalarda yapılan çalışmalarda ham protein verim değerleri; Erden (1994) Samsun koşullarında gübrelemenin doğal mera ot verimi 49 kg da⁻¹, Türker (2006) Mersin ili Tarsus ilçesi Olukkoyak köyü Topakardıç merasında 14.30 kg da⁻¹, Nadir (2010) Tokat ili merkez ilçe Yeşilyurt köyü doğal mer’a alanında ham protein verimi 53.42 kg da⁻¹, Şahinoğlu (2010) Samsun ili Bafra ilçesi Koşu köyü mer’asında 81.25 kg da⁻¹, Şen (2010)) Kilis Madenyolu köyü merasında 28 kg da⁻¹, Ağın (2012), Bingöl ili, Yedisu ilçesi, Karapolat köyü doğal bir merada 26.4 kg da⁻¹, Yavuz ve Karagül (2013) Düzce Esenli merasında ham protein verimi 13.40 kg da⁻¹, Taşdemir (2015) Elazığ ili, Karakoçan ilçesi, Bahçecik Köyü doğal bir merada 15.3-25.8 kg da⁻¹, Büyükhatipoğlu (2016) Şanlıurfa TekTek Dağları meralarında 13.60 kg da⁻¹, Yıldız ve Özyazıcı (2017) Van ili, Gürpınar ilçesi Kırkgeçit köyü merasında 42.78 kg da⁻¹, Dedek (2020) Şanlıurfa ilinin TekTek Dağları meralarında 3.25-3.96 kg da⁻¹ ve Yılmaz (2023) Şanlıurfa TekTek Dağları doğal meralarında 4.52-27.95 kg da⁻¹ arasında belirlemiştirler. Diğer araştırmacıların bulgularındaki farklılıklar ise kullanılan farklı gübre dozları, meraların içerdiği bitki

türlerinin (baklagiller, buğdaygiller ve diğer familyalardan bitkiler) yoğunluğu veya seyrekliği, bu bitkilerin olgunlaşma dönemleri ve biçim zamanları gibi etkenler, ham protein miktarlarında farklılıklar meydana getirmektedir.

3.3. Ağırlığa göre botanik kompozisyon

3.3.1. Ağırlıkça bileşenlere göre buğdaygiller (%)

TekTek Dağları doğal merasında hesaplanan ağırlığa göre botanik kompozisyonda buğdaygillerin, baklagillerin ve diğer familya bitkilerinin oranları Tablo 3’de verilmiştir. Ağırlığa göre botanik kompozisyonda buğdaygiller ile baklagiller açısından farklı gübre dozları arasında istatistiki olarak bir farklılık bulunmamıştır. Ağırlığa göre botanik kompozisyonda istatistik olarak bir fark olmamasına rağmen en yüksek buğdaygil oranı %50.39 ile 1000 kg da⁻¹ gübre dozunda, ağırlığa göre botanik kompozisyonda buğdaygillerin genel ortalaması %45.50 olarak tespit edilmiştir. Farklı ekolojilerde, farklı uygulamalarda yapılan çalışmalarda buğdaygil oranın; Uslu (2005) Kahramanmaraş ili, Türkoglu ilçesi, Araplar köyünde bulunan doğal merada %46.4, Türker (2006) Mersin ili Tarsus ilçesi Olukkoyak köyü Topakardıç merasında %49.11, Nadir (2010) Tokat ili merkez ilçe Yeşilyurt köyü doğal mer’a alanında %34.11, Şen (2010) Kilis Madenyolu köyü merasında %73.4, Yıldız ve Özyazıcı (2010) Van ili, Gürpınar ilçesi Kırkgeçit köyü merasında %62.46, Ağın (2012) Bingöl ili, Yedisu ilçesi, Karapolat köyünde doğal bir merada %36.8, Yavuz ve ark. (2012) Amasya İli meralarında %41.81, Çaçan ve Başbağ (2016) Bingöl İli Merkez İlçesi Yelesen-Dikme köyleri meralarında %20.60, Ercan (2018) Eskişehir İli Seyitgazi İlçesi Karaören Köyü merasında %44.28, Tutar ve Kökten (2019) Bingöl il Merkezine bağlı Ormanardı köyü doğal bir merada %50.4, Babalık ve Matrasulov (2020) Antalya ili Kemer ilçesi sınırları içerisinde bulunan Tahtalı Dağı meralarında %52.16, Çaçan ve Kortak (2021) Elazığ ili Karakoçan ilçesi, Başyurt köyü merasında %35.5 ve Ok ve Çaçan (2023) Diyarbakır il merkezine bağlı Övündüler Köyü

merasında %38.63 oranında belirlenmiştir. Araştırma sonucunda elde ettiğimiz bulguların diğer araştırmacıların bulgularıyla benzerlik ve farklılıkları bulunmaktadır. Bu farklılıkların, vejetasyon ölçüm yöntemlerinin çeşitliliği,

meraların otlanmadan korunma sürelerindeki değişiklikler ile incelenen meraların toprak, iklim ve özellikle yağış bakımından farklılık göstermesinden kaynaklandığı ifade edilebilir.

Tablo 3. Şanlıurfa ili TekTek Dağları doğal meralarında kaplama alanına göre botanik kompozisyonda buğdaygillerin, baklagillerin ve diğer familya bitkilerinin oranı (%) ortalama değerler ile oluşan gruplar

Table 3. The proportion of grasses, legumes and other family plants in the botanical composition according to the coverage area of TekTek Mountains natural pastures in Şanlıurfa province, groups formed with average values (%)

Gübre Dozları (kg da ⁻¹) ¹⁾	Buğdaygiller ile kaplı alan oranı (%)	Baklagiller ile kaplı alan oranı (%)	Diğer familya bitkileri ile kaplı alan oranı (%)
0	37.83	24.97	37.18 a ¹
500	44.76	27.81	27.41 b
1000	50.39	27.78	21.80 bc
1500	45.20	31.95	22.82 bc
2000	47.03	33.88	19.06 c
2500	45.27	32.51	22.20 bc
3000	47.61	32.34	20.03 c
3500	45.92	34.23	19.83 c
Ortalama	45.50	30.68	23.79
LSD (%5):	ö.d.	ö.d.	6.56

¹⁾ Farklı harf ile gösterilen ortalamalar LSD testine göre P≤0.05 hata sınırları içerisinde birbirinden istatistiki olarak farklıdır.

3.3.2. Ağırlıkça bileşenlere göre baklagiller (%)

Farklı gübre dozu uygulamalarında saptanan ağırlığa göre botanik kompozisyonda baklagil oranı değerlerini istatistiki olarak önemli derecede etkilememiştir. Bu sonuçlara göre, Tablo 3. dikkate alındığında, farklı gübre dozlarına bağlı olarak baklagillerin meranın kuru ot verimine katılma oranı önemsiz olmasına rağmen en yüksek 3500 kg da⁻¹ gübre dozunda %34.23 olup, ortalama değer ise %30.68 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuç; Uslu (2005) Kahramanmaraş ili, Türkoğlu ilçesi, Araplar köyünde bulunan doğal merada %14.7, Türker (2006) Mersin ili Tarsus ilçesi Olukkoyak köyü Topakardıç merasında %4.70, Çağlayan (2009) Karaman ili Demiryurt köyünde bulunan doğal bir merada %2.58, Nadir (2010) Tokat ili merkez ilçe Yeşilyurt köyü doğal mer'a alanında %33.41, Şahinoğlu (2010) Samsun ili Bafra ilçesi Koşu köyü mer'asında %21.7, Şen (2010)) Kilis Madenyolu köyü merasında %17.0, Yıldız ve Özyazıcı (2010) Van ili, Gürpınar ilçesi Kırkgeçit köyü merasında %7.61, Ağın (2012), Bingöl ili,

Yedisu ilçesi, Karapolat köyünde doğal bir merada %17.9, Yavuz ve ark. (2012) Amasya İli meralarında %25.22, Çaçan (2016) Bingöl İli Merkez İlçesi Yelesen-Dikme köyleri meralarında %21.0, Özen ve Türk (2014), Burdur ili Ağlasun ilçesi orman içi merasında %21.50, Seydoşoğlu ve ark. (2015) Diyarbakır ili Silvan ilçesinin taban merasında %48.25, Budak (2016) Adıyaman İli Kuyulu Köyü merasında %8.18, Büyükhatipoğlu (2016) Şanlıurfa Tek Tek dağları meralarında 12.01-%10.61, Çaçan ve Başbağ (2016) Bingöl İli Merkez İlçesi Yelesen-Dikme köyü meralarında %21.85, Ercan (2018) Eskişehir İli Seyitgazi İlçesi Karaören Köyü merasında %22.56, Tutar ve Kökten (2019) Bingöl il Merkezine bağlı Ormanardı köyü doğal bir merada %2.3, Babalık ve Matrasulov (2020) Antalya ili Kemer ilçesi sınırları içerisinde bulunan Tahtalı Dağı meralarında %14.86, Çaçan ve Kortak (2021) Elazığ ili Karakoçan ilçesi, Başyurt köyü merasında %0.9 ve Ok ve Çaçan (2023) Diyarbakır il merkezine bağlı Övündüler Köyü merasında %14.01 oranında belirlemişlerdir. Araştırmacıların bulgularında bu denli farklılıklar, farklı meralarda ölçülen

farklı baklagiller ile kaplı alan oranı değerlerinde, vejetasyon ölçme yöntemlerinin farklılığı, incelenen meraların otlanmadan korunma süreleri arasındaki farklılık ile incelenen meraların toprak yapısı, iklim ve özellikle de yağış miktarından kaynaklandığını söyleyebiliriz.

3.3.3. Ağırlıkça bileşenlere göre diğer familya bitkileri (%)

Şanlıurfa TekTek Dağları doğal merasında uygulanan farklı organik gübre dozları diğer familya bitkilerinin vejetasyonun verimine katılma oranı üzerindeki etkisi istatistiki olarak ($P \leq 0.05$) önemli olmuştur. Çalışmamızda farklı organik gübre dozlarının elde edilen ağırlıkça bileşenlerine göre diğer familya bitkileri ile ilgili elde edilen sonuçlarda %19.06-37.18 arasında değişirken en yüksek değer 0 kg da^{-1} , en düşük değer ise 2000-3000 ve 3500 kg da^{-1} gübre dozlarında ölçülmüştür. Araştırmada diğer familya bitkileri kaplı alan oranı ortalaması %23.79 olarak saptanmıştır (Tablo 3). Artan organik gübre dozu uygulamaları, baklagil ve buğdaygil oranlarını olumlu yönde artırmış ve aynı zamanda merada istenmeyen diğer familya bitkileri oranını azaltmış, bu durum olumlu bir gelişme olarak görülmektedir. Ülkemizde otlanmadan korunan sahalarda yapılan çalışmalarda; Uslu (2005) Kahramanmaraş ili, Türkoğlu ilçesi, Araplar köyünde bulunan doğal merada %36.2, Türker (2006) Mersin ili Tarsus ilçesi Olukkoyak köyü Topakardıç merasında %44.77, Çağlayan (2009) Karaman ili Demiryurt köyünde bulunan doğal bir merada %28.48, Nadir (2010) Tokat ili merkez ilçe Yeşilyurt köyü doğal mer'a alanında %32.49, Şahinoğlu (2010) Samsun ili Bafra ilçesi Koşu köyü mer'asında %26.0, Yıldız ve Özyazıcı (2010) Van ili, Gürpınar ilçesi Kırkgeçit köyü merasında %29.93, Ağın (2012), Bingöl ili, Yedisu ilçesi, Karapolat köyünde doğal bir merada %35.55, Özen ve Türk (2014), Burdur ili Ağlasun ilçesi orman içi merasında %24.60, Seydoşoğlu ve ark. (2015) Diyarbakır ili Silvan ilçesinin taban merasında %39.74, Budak (2016) Adıyaman İli Kuyulu Köyü merasında %17.71, Ercan (2018) Eskişehir İli Seyitgazi İlçesi Karaören Köyü merasında

%33.16, Tutar ve Kökten (2019) Bingöl il Merkezine bağlı Ormanardı köyü doğal bir merada %47.2, Babalık ve Matrasulov (2020) Antalya ili Kemer ilçesi sınırları içerisinde bulunan Tahtalı Dağı meralarında %30.22, Çaçan ve Kortak (2021) Elazığ ili Karakoçan ilçesi, Başyurt köyü merasında %63.6 ve Ok ve Çaçan (2023) Diyarbakır il merkezine bağlı Övündüler Köyü merasında %42.85 oranında elde edilmiştir. Mevcut çalışma bulguları ile önceki araştırmacıların verileriyle arasında farklılık görülmektedir. Bunun sebebi; farklı iklim özellikleri ve topoğrafik unsurlar başta olmak üzere otlatma yoğunluğundaki farklılıklardan kaynaklandığı söylenebilir.

3.3.4. Otlatma kapasitesi

Belirli bir büyüklüğe sahip mera alanında, belirli bir otlatma sezonu süresince, toprak, su, bitki örtüsü ve diğer doğal kaynaklara zarar vermeden uzun vadede otlatılabilecek en fazla hayvan sayısına "otlatma kapasitesi" denir (Ekiz 2017). Merada bulunan ot miktarı ve hayvan sayısı arasında bir denge kurulması, meranın sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasını sağlar. Bu denge, hem bitkilerin aşırı otlanmasını önler hem de hayvanların yeterince beslenmesini garanti eder. Eğer bu denge korunmazsa, yani meradaki ot miktarı ve otlayan hayvan sayısı uyumlu olmazsa, mera tahribatı yaşanır. Aşırı, sürekli ve dengesiz otlatma, bitki örtüsünün zayıflamasına ve toprağın erozyona uğramasına yol açar. Tablo 4.'de bakıldığında; en az mera alanı ihtiyacı (11.20 da) korunan alanın 1000 kg da^{-1} gübre dozundan elde edilirken, en fazla mera alanı ihtiyacı ise 0 kg da^{-1} gübre dozunda (30.33 da) elde edilmiştir. Meranın otlatma kapasitesi 165 günlük otlatma periyodu için genel ortalama 73.93 HB olarak hesaplanmış, bir HB için gerekli toplam mera alan ortalaması ise 1.35 ha olarak bulunmuştur. İlave olarak organik çiftlik gübresi uygulamaları meranın otlatma kapasitesini artırmıştır. Meralarımızın otlatma kapasitesi azaldıkça, hayvanların beslenme ve verimliliklerini sürdürebilmek için daha geniş alanlarda otlatılması gerektiği açıktır. Ancak, hayvanların daha büyük alanlarda otlaması, daha fazla enerji harcamalarına ve dolayısıyla

daha düşük verim elde edilmesine neden olur. Ülkemizde meraların otlatma kapasitelerinin belirlenmesine yönelik birçok çalışma bulunmaktadır. Ağın (2012) Bingöl ili, Yedisu ilçesi, Karapolat köyünde doğal bir merada otlatma kapasitesi 10.00 HB, Aydın (2014) Diyarbakır-Şanlıurfa illeri arasındaki Karacadağ merasında 52.56 HB, Çağan ve ark. (2014) Bingöl ili Merkez ilçesinde korunan mera alanında 5.43 HB, Büyükhatoğlu (2015) Şanlıurfa Tek Tek dağları meralarında 40.96 HB, Budak (2016) Adıyaman İli Kuyulu Köyü merası korunan alanında 52.26 HB olup gerekli mera alanı ise 19.13 da, Karan ve Başbağ (2017) Elazığ Merkezine bağlı Hal Köyü merasında korunan alanda 37.85 HB, Ercan

(2018) Eskişehir İli Seyitgazi İlçesi Karaören Köyü merasında 91.2 HB, Babalık ve Matrasulov (2020) Antalya ili Kemer ilçesi sınırları içerisinde bulunan Tahtalı Dağı meralarında 179 HB, mera alanı ise 1.75 ha, Babalık Kılınç (2021), Isparta ili Yalvaç ilçesi Tokmacık köyü sınırlarında bulunan meralarda 52.4 HB, Ok ve Çağan (2023) Diyarbakır il merkezine bağlı Övündüler Köyü merasında 29.6 HB olarak hesaplanmıştır. Bulgular arasındaki farklılıklar, ekolojik özellikler başta olmak üzere meraların sahip olduğu alan ve mera verimlerinin farklılığından dolayı otlatma kapasiteleri büyük farklılıklar sebep olacağı açıktır.

Tablo 4. Korunan alanda otlatma kapasitesi (HB) ve Hayvan başına gerekli mera alanı (da)

Table 4. Grazing capacity (HB) in the protected area and required pasture area per animal (da)

Gübre dozları (kg da ⁻¹)	Otlatma kapasitesi (HB)	Hayvan başına gerekli mera alanı (da)
0	32.96	30.33
500	69.17	14.45
1000	89.21	11.20
1500	76.92	12.99
2000	85.33	11.71
2500	82.74	12.08
3000	78.86	12.67
3500	76.31	13.10
Ortalama	73.93	13.52

4. Sonuçlar

İncelediğimiz merada, elde ettiğimiz verilere göre; mera bitki örtüsünün büyük çoğunluğunun yem bitkilerinin oluşturduğunu, farklı dozlarda organik gübre buğdaygil ve baklagil oranında artışa neden olduğu ve diğer familya bitkileri oranında ise düşüşe sebebiyet verdiği görülmüştür. Araştırmanın yürütüldüğü mera ve benzer ekolojik koşullara sahip meralarda yapılacak gübrelemenin etkili olmasında en önemli faktörün yağış olduğu, yağışın yetersiz olduğu yıllarda gübrelemenin ise etkisiz olacağı bir gerçektir. Her ne kadar kuru ot verimleri ve ham protein oranları yüksek olarak tespit edilmesine rağmen merada istilacı bitkilerin az olmadığı belirlenmiştir. Araştırmada elde edilen bu sonuçlara Şanlıurfa'nın TekTek Dağları doğal merasında, uygun miktarda gübreleme yapıp

amenajman kurallarına uygun olarak uygun otlatma sisteminin getirilmesi ile meranın botanik kompozisyonu üzerine olumlu etkisi olacağı sonucuna varılmıştır.

Yazarların Katkı Beyanı

Yazarlar makaleye eşit katkıda bulduklarını, makalenin yayına hazır son halini gördüklerini/okuduklarını ve onayladıklarını beyan ederler.

Çıkar Çatışması Beyanı

Tüm yazarlar, bu çalışma için herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Finansman

Bu çalışma, Harran Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırmalar Projeleri HÜBAP) Koordinatörlüğü tarafından "22207" nolu proje ile desteklenmiştir.

Açıklama

Bu çalışma, ilk yazarın yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

Kaynaklar

Ağın, Ö., 2012. Bingöl ili Yedisu ilçesi Karapolat Köyü Merasının Verim ve Botanik Kompozisyonunun Saptanması. Yüksek Lisans Tezi, Bingöl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bingöl.

Akyıldız, A.R., 1984. Yemler bilgisi laboratuvar kılavuzu. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara.

Altın, M., 1982. Bazı yem bitkileri ile bunların karışımlarının değişik ekim şekillerindeki kuru ot ve ham protein verimleri, türlerin ham protein oranları ve karışımların botanik kompozisyonları. I. Kuru Ot ve Ham Protein Verimleri, *Doğa Dergisi*, 6(2): 93-107.

Altın, M., Gökkuş, A., Koç, A., 2005. Çayır Mera Islahı, TKB. Tarımsal Üretim ve Geliştirme Genel Müdürlüğü Ankara 468 s.

Altın, M., Tuna, C., Gür, M., 2010. Tekirdağ taban ve kıraç meralarının verim ve botanik kompozisyonuna gübrelemenin etkisi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 7(2): 191-198.

Anonim, 2023. Şanlıurfa Meteoroloji Müdürlüğü, (1929-2021) uzun yıllar ve (2023) deneme yılı iklim verileri, Ankara. (<https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirm/e/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=undefined&m=Sanliurfa>) (Erişim tarihi: 10.09.2023).

Ayan, İ., 1997. Samsun yöresi engebeli meralarında değişik ıslah yöntemlerinin etkileri üzerine bir araştırma. Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.

Aydın, A., 2014. Karacadağ'ın farklı yükseltilerindeki meralarında bitki tür ve kompozisyonları ile ot verim ve kalitelerinin belirlenmesi. Doktora Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.

Babalık, A.A., Sönmez, K., 2010. Isparta ili Bozanönü Köyü Kırtepe merasında botanik kompozisyonun belirlenmesi üzerine bir araştırma. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 12(17): 27-35.

Babalık, A.A., Matrasulov, F., 2020. Antalya çukuryayla merasının vejetasyon özellikleri ve otlatma kapasitesinin belirlenmesi. *European Journal of Science and Technology*, 20: 327-333.

Babalık, A.A., Kılınç, O., 2021. Isparta ili Yalvaç ilçesi Tokmacık köyü doğal merasında botanik kompozisyonun belirlenmesi. *Turkish Journal of Forestry*, 22(3): 277-282.

Budak, S., 2016. Adıyaman ili Kuyulu köyü doğal meralarının ot verimi, kalitesi ve botanik kompozisyonu üzerine bir araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.

Büyükhatipoğlu, Ş., 2015. Şanlıurfa tek tek dağları meralarında farklı yöneylerdeki bitki türü, kompozisyonları, ot verimi ve kalitelerin belirlenmesi. Doktora Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.

Çaçan, E., Başbağ, M., 2016. Bingöl ili Merkez ilçesi Yelesen-Dikme köylerinin farklı yöney ve yükseltilerde yer alan mera kesimlerinde botanik kompozisyon ve ot veriminin değişimi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 53(1): 1-9.

Çaçan, E., Kortak, Ş., 2021. Elazığ İli Karakoçan İlçesi Başyurt Köyü Merasının Botanik Kompozisyonu ile Mera Durumu ve Sağlığının Belirlenmesi. *ISPEC Tarım Bilimleri Dergisi*, 5(3): 690-696.

Çağlıyan, M., 2009. Karaman ili Demiryurt köyü merasında farklı gübre uygulamalarının gelişimine ve botanik üniversitesine etkileri üzerinde araştırmalar. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

- Dedek, B., 2020. Şanlıurfa ilinde Tektek Dağları doğal meralarında farklı dozlarda su tutucu polimer uygulamasının mera verim ve verim unsurlarına etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
- Ekiz, H., 2017. Çayır mera yönetimi ve çayır mera ıslahı. Yayınlanmamış Ders Notu. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, Ankara.
- Ercan, A., 2018. Eskişehir İli Seyitgazi İlçesi Karaören Köyü merasının bitki örtüsü özellikleri ve mera durumunun belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Erden, İ., Acar, Z., Manga, İ., Aydın, İ., Özyazıcı, M.A., Akkas, N., 1994. Samsun koşullarında gübrelemenin doğal meranın ot verimi, kalitesi ve botanik kompozisyonuna etkileri üzerinde bir araştırma. *Tarla Bitkileri Kongresi*, 25-29 Nisan 1994, İzmir, Cilt III, Çayır Mera ve Yem Bitkileri Bildirileri, s. 83-87.
- Gençkan, M.S., 1985. Çayır-Mera Kültürü Amenajman Islahı. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, İzmir, 632s.
- Gökbulak, F., 2013. Meralarda vejetasyon analizi. İstanbul Üniversitesi Yayın.
- Gökkuş, A., Hakyemez, B.H., Yurtman, İ.Y., Savaş, T., 2005. Farklı mera tiplerinde değişik yoğunluklarda keçi otlatmanın meraların ot ve keçilerin süt verimlerine etkileri. *Akdeniz University Journal of the Faculty of Agriculture*, 18(2): 207-212.
- Gökkuş, A., Koc, A., Comaklı, B., 2009. Çayır-Mera Uygulama Kılavuzu. (3. Baskı). *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, No: 142, Erzurum.
- Kacar, B., 1984. Bitki besleme uygulama kılavuzu. *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, 900, 140.
- Koç, A., Tan, M., Erkovan, H.I., 2012. Türkiye'deki yem kaynakları ve hayvan üretimine genel bakış. Seçenekler Akdeniz, Serie A/102, İklim ve Sosyo-Ekonomik Değişiklikler Bağlamında Çayır Araştırmaları İçin Yeni Yaklaşımlar. *Zaragoza, CIHEAM*, 542.
- Nadir, M., 2010. Tokat ili Yeşilyurt köyü doğal merasının botanik kompozisyon, kuru madde verimi ve kalitesinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.
- Ok, H., Çaçan, E., 2023. Övündüler Köyü (Diyarbakır-Türkiye) merasının verim, botanik kompozisyonu ve otlatma kapasitesinin belirlenmesi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 24(1): 148-154.
- Özen, F., Türk, M., 2014. Orman içi merada ağaç sıklığının bitki örtüsü üzerine etkileri. *Turkish Journal of Forestry*, 15(1): 9-14.
- Polat, T., Budak, S., Akkaya, G., 2018. Adıyaman ili Kuyulu köyü doğal meralarının kuru ot verimi, kalitesi ve botanik kompozisyonu üzerine bir araştırma. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 22(3): 348-354.
- Seydoşoğlu, S., 2018. Bazı doğal mera alanlarının bitki örtüsü özellikleri, mera durumu ve sağlığının belirlenmesi. *Türkiye Ormancılık Dergisi*, 19(4): 368-373.
- Seydoşoğlu, S., Çaçan, E., Sevilmiş, U., 2019. Determination of Botanical Composition, Yield and Pasture Quality Ratings of Infertile Pastures in Kozluk District of Batman Province of Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 28(4A): 3388-3394.
- Seydoşoğlu, S., Kökten, K., 2019. Batman mera vejetasyonlarının bazı özellikleri. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 23(1): 60-68.
- Şahinoğlu, O., 2010. Bafra ilçesi Koşu köyü merasında uygulanan farklı ıslah yöntemlerinin meranın ot verimi, yem kalitesi ve botanik kompozisyonu üzerine etkileri. Doktora tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.

- Şen, Ç., 2010. Kilis ilinin bazı köylerindeki meralarda vejetasyon yapısı üzerine bir araştırma. Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- TARM., 2002. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü. 7-335. (<https://kutuphane.ta.rimorman.gov.tr/vufind/Record/1228343>) (Erişim tarihi: 16.02.2023).
- Taşdemir, V., 2015. Elazığ ili Karakoçan ilçesi bahçecik köyü merasında verim ve botanik kompozisyonunun saptanması üzerine bir çalışma. Yüksek Lisans Tezi, Bingöl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bingöl.
- Tutar, H., Kökten, K., 2019. Bingöl il merkezine bağlı ormanardı köyü merasının botanik kompozisyonunun belirlenmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 6(1): 16–23.
- Tükel, T., 1989. Çayır-mera amenajmanı Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla bitkileri Bölümü, Ders kitabı No:17, Adana.
- Tükel, T., Hatipoğlu, R., 2005. Çayır-Mera Amejanajmanı. Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Genel Yayın.
- Türker, A., 2006. Mersin tarsus oluk koyak köyü toprak ardıç mevkiinde 1997 Yılından beri korunmuş ağaçlandırma sahasındaki otsu vejetasyonun özellikleri üzerine bir araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Türkoğlu, M.İ., Oral, E., Okant, M., 2023. Şanlıurfa İlinde bitkisel ve hayvansal üretimin genel durumu. *4rd International Cukurova Agriculture and Veterinary Congress*, 27-28 February, Adana. 226-233.
- Uslu, Ö.S., 2005. Kahramanmaraş ili Türkoğlu ilçesi Araplar köyü Yeniyanan merasında botanik kompozisyonunun tespiti ve farklı gübre uygulamalarının meranın verim ve botanik kompozisyonuna etkileri üzerinde araştırmalar. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Yavuz, R., Karagül, R., 2013. Bazı ıslah yöntemlerinin meranın verim ve kalitesine etkisi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 22(2): 96-104.
- Yıldız, A., Özyazıcı, M.A., 2017. Karasal iklim kuşağında bulunan bir meranın farklı yöneylerinde botanik kompozisyonun, ot verimi ve ot kalitesinin belirlenmesi. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 4(3): 218-231.
- Yılmaz, T., 2023. Şanlıurfa ili tektek dağları doğal meralarında farklı dozlarda solucan gübre uygulamalarının mera verim ve verim unsurlarına etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
- Yurtsever, N., 2011. Deneysel İstatistik Metotlar (2. Baskı). Tarım ve Köyüşleri Bakanlığı, *TAGEM Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü Yayınları*, No. 121/56, Ankara, 823s.

Atf Şekli: Bucak, M., Polat, T., Okant, M., Türkoğlu, M.İ., 2025. Şanlıurfa İli Tek Tek Dağları Doğal Meralarında Farklı Gübre Uygulamalarının Mera Verim ve Botanik Kompozisyonu ile Otlama Kapasitesinin Belirlenmesi. *MAS Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 10(1): 1-11. DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15074360>.

To Cite: Bucak, M., Polat, T., Okant, M., Türkoğlu, M.İ., 2025. The Effect of Different Amounts of Organic Farm Manure Applications on Pasture Yield and Yield Indicators in the Steppe Rangelands of Tektek Mountains in Şanlıurfa Province. *MAS Journal of Applied Sciences*, 10(1): 1-11. DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15074360>.

Agro-Morphological and Forage Quality Traits of Some Pearl Millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) Populations Grown Under Şanlıurfa Conditions

Mustafa İzzet ÖZER ¹, Mustafa OKANT ^{2*}

¹ Harran University, Institute of Science, Şanlıurfa

² Harran University, Faculty of Agriculture, Department of Field Crops, Şanlıurfa

*Corresponding author: mokant63@gmail.com

Received: 15.11.2024

Accepted: 30.12.2024

Abstract

The research was conducted to determine the dry matter yield and some quality characteristics of pearl millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.], a warm-season annual forage grass grown as a summer crop in 2022. In addition to the Yellow witness variety, seven pearl millet populations (9198, 8022, 4903, 9645, 9449, 5455, and Yellow) obtained from ICRISAT were used as the study material. The harvests were carried out during the dough stage of the grains. Although dry matter yield varied among the populations, it was found to range between 2.32 and 3.47 t ha⁻¹. Moreover, forage quality characteristics showed that crude protein content ranged from 6.87% to 9.25%, ADF from 31.11% to 36.69%, NDF from 44.49% to 52.09%, and RFV (Relative Forage Value) from 108.83 to 136.04. Among the populations studied, populations 5455, 9198, and Yellow were superior in terms of dry matter yield, while population 9198 outperformed the Yellow witness variety in terms of forage quality. Based on the results of the study, it was concluded that the 9198 population could be considered in future breeding programs when yield and quality characteristics are evaluated together for Şanlıurfa province and similar ecological conditions.

Keywords: *Pennisetum glaucum* L. yield, quality, population

1. Introduction

Pennisetum glaucum (L.) R. Br., commonly referred to as pearl millet, is a cereal species within the Poaceae family, indigenous to Africa. Its domestication occurred approximately 3.000 to 5.000 years ago (de Morais Cardoso et al., 2017). This crop exhibits exceptional resilience to a wide array of environmental challenges, such as low soil fertility, elevated temperatures, and limited water availability. Pearl millet is predominantly cultivated in the semi-arid regions of Africa and Asia, where it constitutes a critical staple food source for local populations (Mawouma et al., 2022). In contrast, in Western countries, millets are primarily grown for birdseed and livestock forage. Additionally, they serve as a strategic crop in agricultural systems, providing a safeguard against crop failure and fulfilling emergency fodder requirements. Their rapid growth and adaptability make them particularly suited for these roles (Baltensperger, 2002). In recent years, with the effects of global warming, pearl millet has gained prominence as an annual warm-season cereal that is resistant to hot and dry conditions. Millets are among the most important drought-tolerant crops, ranking 6th in global agricultural production (Cicek and Yucel, 2022). This plant's ability to withstand drought and high temperatures plays a crucial role in maintaining sustainable agricultural practices, especially in regions with limited water resources. Furthermore, its ability to adapt to saline and acidic soils enhances its potential for production in marginal areas where agriculture is challenging (Bhattacharya et al., 2021). The increasing greenhouse gases and resulting climate changes have made the development of new, abiotic stress-tolerant plant varieties increasingly important (Cicek and Yucel, 2022). Pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) was originally cultivated in the United States for feed production and grazing purposes. It also serves as a primary cereal source for approximately 90 million people in Africa and the Indian subcontinent, and is widely used as feed and fuel (FAO, 2011). According to Ullah et al. (2017), pearl

millet uses only 70% of the water required by maize to produce the same amount of dry matter, making it a promising crop for semi-arid regions and water-scarce conditions. Pearl millet is a short-day plant, completing its flowering process in short days. It is reported that a day length of 12 hours and an average daily temperature of 28-30 °C are ideal for its growth (House, 1985; Andrews et al., 1993). Pearl millet thrives in sandy, light-textured, low-fertility soils with pH ranging from 6.2 to 7.7 and responds well to low inputs (Anonymous, 1996). As a C4 plant adapted to hot climates, pearl millet is among the leading drought-resistant cereals, though it cannot be grown without water (Rai et al., 2008). Moreover, according to BUGEM (Republic of Türkiye Ministry of Agriculture and Forestry) data, Turkey faced a shortage of approximately 27 million tons of quality roughage in 2022, with Şanlıurfa province accounting for 8.3 million tons of this deficit. This gap is expected to widen in the coming years due to climate change and increases in livestock populations (Anonymous, 2021; Anonymous, 2022a).

This study aims to assess the forage yield potential and feed quality of pearl millet populations selected and obtained from ICRISAT in the drought-prone and hot climate conditions of Şanlıurfa, Turkey. By determining the yield and quality potential of these pearl millet populations, selected varieties will provide fundamental materials for ongoing and future breeding efforts. The cultivation of these high-quality materials is expected to significantly contribute to meeting the quality roughage needs of livestock in Turkey.

2. Material and Methods

In this study, seven pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) populations, sourced from the International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT), were utilized as experimental materials. The pearl millet populations analyzed in this research are designated as follows: 9198, 8022, 4903, 9645, 9449, 5455, and Yellow (control).

2.1. Soil and climate characteristics of the study area

Soil was sampled from the 0-15 cm and 15-30 cm in the experimental area were analyzed, revealing the following characteristics: pH values ranged from 7.65 to 7.80, total salt content ranged from 0.30% to 0.40%, nitrogen content ranged from 0.05% to 0.08%, organic

carbon content ranged from 0.34% to 0.55%, phosphorus content ranged from 0.39 to 0.50 mg kg⁻¹, and lime content ranged from 44.5% to 47.2%. The sand, silt, and clay proportions were 28-30%, 26-27%, and 44-45%, respectively. Based on these values, the soil structure has been determined to be clayey (C) (Anonymous, 2022b).

Table 1. Some climate data for the trial year and long-term averages *

Yıl	Months	Temperature values (°C)			Relative humidity (%)	Total precipitation (kg m ⁻²)
		Average	Maximum	Minimum		
2022	June	26.7	41.0	19.9	42.70	1.20
	Long years average**	28.1	34.7	20.5	33.20	1.37
	July	28.9	40.7	26.8	42.95	0.00
	Long years average**	32.0	38.8	24.3	30.50	0.30
	August	26.9	40.4	23.3	62.45	0.00
	Long years average**	31.6	38.4	24.0	33.30	0.23
	September	22.7	37.0	21.7	60.44	0.00
	Long years average**	27.2	34.0	20.0	66.44	0.79
	October	17.3	28.1	8.8	57.68	0.90
	Long years average**	20.6	27.1	14.6	34.30	25.90

*: GAPTAEM, (2022). Talat Demiroren Research Station (TARBIL). **: MGM, (1929-2022).

As shown in Table 1, during the growing season of the experiment, the lowest average temperature was recorded at 17.3 °C in October, while the highest average temperature was 28.9 °C in July (Anonymous, 2022a). In long-term average temperature values, the lowest average temperature was 20.6 °C in October, and the highest average temperature was 32.0 °C in July (Anonymous, 2022c). Considering the average relative humidity values, the highest relative humidity was observed at 62.45% in August, and the lowest was 42.7% in June. The amount of precipitation recorded during the experimental period was negligible. This experiment was conducted in the second week of June 2022 at the Talat Demirören experimental field of the GAP Agricultural Research Institute and Training Center in Şanlıurfa. The geographical coordinates of the experimental area are 36° 54' 10" N latitude and 38° 55' 23" E longitude, with an elevation of 410 meters above sea level (Anonymous, 2016). The field experiment

were carried out from June to October following the wheat harvest. The research was designed as a randomized block experiment with three replications. In the study, the populations were planted in four rows with 70 cm row spacing and 25 cm plant spacing, with the sowing carried out by hand on June 15, 2022. Each plot was separated by 50 cm, and there was a 1.5-meter distance between replications. Based on soil analyses, 5 kg of pure nitrogen and 8 kg of P₂O₅ were applied per decare in the form of a 20:20:0 compound fertilizer. During the first week of August (when the plants reached tillering stage), 5 kg da⁻¹ of pure N in urea form was applied by hand between rows (Mesquita and Pinto, 1998; Cicek and Yucel, 2022). Sowing was done in tilled soil, and irrigation was provided as needed throughout the growing period after plant emergence. Weed control was carried out manually during the initial growth stages and by hand hoeing when the plants reached 40-50 cm in height. The total experimental area was

planned to be 22.6 m x 17 m = 384.2 m². Harvesting (for forage) was performed on October 12, 2022, by hand when the seeds in the spike were in the dough stage. In addition to sprinkler irrigation for germination, four flood irrigations were carried out. Weed control was done mechanically until the application of top-dressing, and manually thereafter. For harvesting, five plants were sampled from each population and replication to determine the forage yield, and the average yield per replication was calculated. In the study, the dry matter yield (kg da⁻¹) of the plants in each population was determined following the methods outlined by Upadhyaya et al. (2008) and Upadhyaya and Gowda (2009). In addition to dry matter yield, forage quality characteristics were also assessed. Approximately 500 g of fresh samples from each replication were dried first in the air and then in a drying oven at 65 °C, ground, and sieved through a 1 mm mesh. Crue protein (CP) ratios were calculated, and neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) were determined using the ANKOM fiber analyzer (Van Soest et al., 1991; Ankom, 1997). Additionally, digestible dry matter (DDM), dry matter intake (DMI), and relative feed value (RFV) were calculated using the following equations: Digestible Dry Matter (DDM) = 88.9 - (0.779 × %ADF), Dry Matter Intake (DMI) = 120 / %NDF, and Relative Feed Value (RFV) = (%DDM × %DMI) / 1.29 (Schroeder, 1994; Anonymous, 2018).

The data obtained from the research were analyzed using variance analysis in JMP 10 software, and statistically significant means were grouped according to the LSD (5%) multiple comparison test (Yurtsever, 2011).

3. Results and Discussion

3.1. Dry matter yield

As presented in Table 2, the average dry matter yield among the examined genotypes ranged from 2.32 to 3.47 t ha⁻¹, with this variation being statistically significant. In the study, the populations 5455, 9198, and the control variety Yellow produced the highest dry matter yields, while populations 9645 and

9449 yielded lower compared to the others. In studies conducted in different ecological settings with various applications and genotypes, Kollet et al. (2006) reported 3.25 to 4.36 t ha⁻¹ in Brazil, El-Lattief (2011) reported forage yields ranging from 3.675 to 5.915 t ha⁻¹ in Benin, Al-Suhaibani (2011) reported 49.97 to 58.32 t ha⁻¹ in Saudi Arabia, Dagtekin (2019) observed 498.8 to 2869.9 g plant⁻¹ under Çukurova conditions, Dagtekin et al., (2020) reported 84.6 to 164.4 g plant⁻¹ also under Çukurova conditions, Saygıdar (2021) found yields of 1.84 to 3.66 t ha⁻¹ under GAP conditions, Nwajei (2023) reported yields ranging from 2.49 to 5.80 t ha⁻¹ under conditions in Edo State, Nigeria and Donmez and Hatipoglu (2024) obtained 7.9 to 20.3 t ha⁻¹ of dry matter yield in Kahramanmaraş. However, since some of these reported yields are per plant (g per plant), a direct comparison with our results is not feasible. The significant variation in dry matter yield can be attributed to differences in the materials used, as well as variations in growing conditions and sowing norms.

3.2. Crude protein content

Although the average crude protein content values in the examined pearl millet populations were statistically insignificant, the highest numerical value was measured at 9.25% for the 9198-coded population, while the population average was determined to be 7.62% (Table 2). The importance of roughages is vital for both agriculture and livestock farming. While high yield per unit area of forage crops is certainly crucial, forage quality is equally important. The most prominent indicator of the nutritional value of roughages is the crude protein content. According to Senel (1986), the crude protein content of forage crops must be at least 6% for them to be used in animal rations. In various studies conducted in different ecologies, applications, and genotypes, the crude protein content has been reported as follows: Rasnake et al. (2005) found 9.3% in Kentucky, Chacón-Hernández and Vargas-Rodríguez (2009) reported that in the Cartago province of Costa Rica, the prevalence ranged from 8.42% to 9.56%, El-Lattief (2011) reported 6.38% to

10.65% in Benin, showing some similarity to our findings. Hassan et al. (2014) observed 6.73% to 10.35% in Pakistan, Heuzé et al. (2015) reported a prevalence range of 6.6% to 17.0% in India, Babiker et al. (2015) found 8.8% to 16.2% in Sudan, Dagtekin (2019) reported 4.3% to 14.4% in Çukurova, Cicek and Yucel (2022) observed 8.49% to 12.93% in Akçakale/Şanlıurfa, Bahsis (2023) reported

7.81-12.68% in Akçakale/Şanlıurfa, Cerempei et al. (2023) found 8.08–16.20% in Moldova, Guanquiza et al. (2023) reported 9.07% to 14.20% in Ecuador, Inal et al. (2023) reported 5.59-11.94% in Adana, and Yucel et al. (2023) found 6.45% to 14.75% in Şanlıurfa. These varying results can be attributed to differences in ecological conditions and cultural practices applied.

Table 2. Assessment of different pearl millet populations for dry matter yield and key forage quality traits

Population code	Dry grass yield (t ha ⁻¹)	Crude protein (%)	ADF (%)	NDF (%)	Relative feed value (RFV)
Yellow (control)	3.16 a ¹	7.99	33.89	47.47	124.07
9198	3.28 a	9.25	31.11	44.49	136.04
8022	2.74 ab	7.41	34.85	49.49	116.70
4903	2.85 ab	7.56	35.63	51.31	110.92
9645	2.32 b	6.87	35.06	49.52	116.00
9449	2.36 b	6.88	34.39	49.89	115.87
5455	3.47 a	7.41	36.69	52.09	108.83
Means	2.88	7.62	34.52	49.18	118.35
C.V. (%)	14.94	16.95	6.89	8.31	11.68
LSD (%5)	767.07	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

¹Means denoted by the same letter within the same column are not statistically different at the 5% significance level according to the LSD test. n.s.; Not significant.

3.3 ADF content

Although the values for ADF (Acid Detergent Fiber) in different pearl millet populations though statistically insignificant, the highest numerical value was achieved of 36.69% was observed in the 5455 coded population, with an average value of 34.52% for this trait (Table 2). Acid detergent fiber (ADF) is a parameter used to measure fibrous substances such as cellulose and lignin in forages. These fibrous substances can hinder digestion and reduce nutrient absorption in animals. The ADF content in rations should not exceed 16-20%, as higher ADF levels can complicate digestion and lead to inadequate energy intake by the animal (Gursoy and Macit, 2014). It is preferable for forages to have low levels of such fibrous substances (Yucel et al., 2012). Populations with high crude protein (CP) content typically have lower ADF values, indicating that forages with high protein content also tend to have lower acid detergent fiber levels. Moreover, significant positive relationships between CP

content and ADF values have been reported by Yucel et al. (2023). Similar findings have been observed in studies conducted in various geographic conditions: Buso et al. (2014) reported 31.03% ADF in Brazil, Saygıdar (2021) found 35.28% to 39.71% ADF under GAP conditions, and Guanquiza et al. (2023) reported 34.67% to 39.15% ADF in Ecuador. In contrast, Rasnake et al. (2005) observed 37.8% in Kentucky, Heuzé et al. (2015) reported 30.7% to 45.1% in India, Dagtekin (2019) found 42.6% to 51.5% under Çukurova conditions, Cicek and Yucel (2022) reported 37.84% to 45.75% in Akçakale/Şanlıurfa, Bahsis (2023) observed 37.86% to 44.98% in Akçakale/Şanlıurfa, and Inal et al. (2023) found 33.43% to 45.73% in Adana. These differences can be attributed to variations in ecological conditions, population differences, and especially differences in harvest periods affecting ADF content.

3.4. NDF content (%)

Neutral Detergent Fiber (NDF) characterizes the presence of components such as hemicellulose, cellulose, lignin, cutin, and silica in forages, which can negatively affect digestion processes. High levels of these indigestible substances can reduce the nutritional efficiency of animal feed. Although the average NDF values among different pearl millet populations were not statistically significant, the highest numerical value of 52.09% was observed in the 5455 coded population, with an average value of 49.18% for this trait (Table 2). As noted in the study, populations with low ADF values also tend to have low NDF values. Research has shown that populations with high crude protein (CP) content have low NDF values, and significant positive relationships between CP and NDF content have been reported by Yucel et al., (2023). Additionally, while delayed harvesting may lead to increased yields, it may also result in decreased quality. The rapid growth and physiological maturation of warm-climate cereals like pearl millet lead to a rapid decline in CP content and digestibility. In studies conducted in different ecologies and genotypes, NDF values have been found to be somewhat consistent with Heuzé et al. (2015) reporting 46.1% to 64.8% in India and Guanquiza et al., (2023) finding 56.29% to 61.68% in Ecuador. However, values reported by Barreto et al. (2001) in Brazil were 56.53% to 61.94%, Rasnake et al. (2005) in Kentucky reported 67.3%, Buso et al. (2014) in Brazil reported 56.33% to 60.11%, Dagtekin (2019) in Çukurova conditions reported 78.3% to 87.5%, Saygıdar (2021) in Southeastern Anatolia reported 63.98% to 74.24%, Cicek and Yucel (2022) in Akçakale/Şanlıurfa reported 52.04% to 65.65%, Bahsis (2023) in Akçakale/Şanlıurfa reported 52.42% to 62.29%, Inal et al. (2023) in Adana reported 46.85% to 65.96%, and Yucel et al. (2023) in Şanlıurfa reported 47.19% to 66.85% are lower. The differences in findings may be attributed to differences in ecological conditions and cultivation methods, harvest timing, and methods used for determining NDF content.

3.5. Relative feed value (RFV)

Various quality indices are used to determine the quality of forages, with Relative Feed Value (RFV), Acid Detergent Fiber (ADF), and Neutral Detergent Fiber (NDF) contents being prominent among these indices. RFV is used to estimate the potential intake of the forage by animals and the energy value it provides. RFV plays a significant role in determining the quality of the forage and assessing its commercial value. Therefore, RFV calculations are considered an important criterion in the marketing of forages (Gursoy and Macit, 2017). Although the average RFV values were not significantly different among populations, the numerically highest value was recorded for the 9198 population at 136.04, with an overall average of 118.35 (Table 2). RFV, calculated based on the 100% flowering stage of alfalfa, is one of the important characteristics that determine forage quality. A high RFV is desirable. RFV is a forage quality indicator calculated from the digestible dry matter percentage and dry matter intake, and it is primarily based on NDF and ADF values. Lower NDF and ADF values result in higher RFV values. The findings of this study show higher RFV values compared to those reported by Saygıdar (2021) under GAP conditions (73.13-90.29) and by Cicek and Yucel (2022) under GAP conditions (70.71-104.90).

4. Conclusion

As per the study's findings, taking into consideration both dry matter yield and quality traits for Şanlıurfa province and similar ecological environments, the 9198 population seems to be a favorable genetic resource for future breeding programs aimed at developing new lines and varieties. It is also suggested that this population could serve as an alternative to maize and other crops. Moreover, it is recommended as a promising option to quickly address the roughage deficit observed in the region.

Declaration of Author Contributions

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

declare that they have seen/read and approved the final version of the article ready for publication.

Declaration of Conflicts of Interest

All authors declare that there is no conflict of interest related to this article.

Funding

This study produced from the project numbered 22190, supported by HÜBAP.

Acknowledgment

This study was produced from the first author's master's thesis.

References

- Al-Suhaibani, N.A., 2011. Better forage and grain yield quality of pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.) under different irrigation water supplies and plant densities. *World Applied Sciences Journal*, 15(8): 1136-1143.
- Andrews, D.J., Rajewski, J.F., Kumar, K.A., 1993. Pearl millet: New feed grain crop. p.198-208. In: New crops. Wiley, J. Janick and J.E. Simon (eds.), New York.
- Ankom Technology Corporation., 1997. Operator's manual. Ankom 200/220 Fiber Analyzer. Ankom Thec. Corp.
- Anonymous., 2018. SGS Agrifood laboratories. feed/ forages calculations. http://www.agtest.com/articles/feed%20and%20forages%20calculations_new.pdf. (Accessed: 26.12.2018).
- Anonymous, 1996. National Research Council. (1996). Lost Crops of Africa: Volume I: Grains. National Academies Press.
- Anonymous, 2022a. GAP Introduction and Activity Brochure of the Agricultural Research Institute (<https://arastirma.tarimorman.gov.tr/gaptaem>) (Accessed: 20.08.2022)
- Anonymous, 2022b. GAP Agricultural Research Directorate. Talat Demirören Research Station (<https://arastirma.tarimorman.gov.tr/gaptaem>) (Accessed: 20.08.2022).
- Babiker, S.A., Khair, M.A., Tahir, I.S., Elhag, F., 2015. Forage quality variations among some Sudan pearl millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br] collection. *Annual Research & Review in Biology*, 5(4): 293-298.
- Bahsis, V., 2023. Agromorphological characterization of some Pearl Mail (*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br.) populations under gap conditions. Master Thesis, Institute of Science, Şırnak University, Şırnak.
- Baltensperger, D.D., 2002. Progress with proso, pearl and other millets. *Trends in New Crops and New Uses*, 100-103.
- Barreto, G.P., Lira, M.D.A., Santos, M.V.F.D., Dubeux Júnior, J.C.B., 2001. Evaluation of elephant grass clones (*Pennisetum purpureum* Schum.) and an elephant grass X pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) hybrid submitted to water stress. 2. Nutritive value. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30: 7-11.
- Bhattacharya, S., Kumar, S., Mishra, V. Verma., 2021. Pearl millet: a review of its potential for sustainable food and industrial applications. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5: 717867.
- Buso, W.H.D., França, A.F.S., Miyagi, E.S., 2014. bromatological composition and dry matter digestibility of millet cultivars subjected to nitrogen doses. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 66(3): 887-893.
- Cerempei, V., Țiței, V., Vlăduț, V., Moiceanu, G., 2023. A Comparative Study on the characteristics of seeds and phytomass of new high-potential fodder and energy crops. *Agriculture*, 13(6): 1112.

- Cicek, M., Yucel, C., 2022. Determination of Forage Yield and Quality of Some Pearl Millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) Populations in GAP Conditions. *MAS Journal of Applied Sciences*, 7(Special Issue): 1143-1159.
- Chacón-Hernández, P.A., Vargas-Rodríguez, C.F., 2009. Digestibilidad calidad del *Pennisetum purpureum* cv. King grass a tres edades de rebrote. *Agronomía mesoamericana*, 399-408.
- Dagtekin, Z., 2019. A Research on the performances of some annual warm season forage grass species under Cukurova Conditions. Master Thesis, Institute of Science, *Cukurova University*, Adana.
- Dagtekin, Z., Hatipoglu, R., Yucel, C., 2020. Agro-Morphological and hay quality characteristics of some foxtail millet (*Seteria italica* (L.) P. Beauv) genotypes under cukurova conditions. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 4(3): 422-434.
- De Morais Cardoso, L., Pinheiro, S.S., Martino, H.S.D., Pinheiro-Sant'Ana, H.M., 2017. Sorghum (*Sorghum bicolor* L.): nutrients, bioactive compounds, and potential impact on human health. *Critical reviews in food science and nutrition*, 57(2): 372-390.
- Donmez, H.B., Hatipoglu, R., 2024. A research on the forage yield and agromorphological characteristics of some pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) cultivars under second crop conditions in the Cukurova region. *Kahramanmaras Sutcu Imam University Journal of Agriculture and Nature*, 27(4): 910-919.
- El-Lattief, E.A., 2011. Growth and fodder yield of forage pearl millet in newly cultivated land as affected by date of planting and integrated use of mineral and organiz fertilizers. *Asian Journal of Crop Science* 3(1):35-42.
- FAO., 2011. Grassland Index. A searchable catalogue of grass and forage legumes. FAO, Rome, Italy. <https://www.sciepub.com/reference/390982> (Accessed: 26.12.2018).
- Guanuquiza, G.M., Jimenez-Yanez, S., Novillo, S.A., Arias, P.E., Reyes-Silva, F., 2023. Nutritional composition of Cuba Om-22 hybrid grass (*Pennisetum purpureum* Schumacher x *Pennisetum glaucum* L.) at three cutting ages. *Journal of Namibian Studies: History Politics Culture*, 33(2): 3574-3584.
- Gursoy, E., Macit, M., 2014. Determination of in vitro gas production parameters of some grass forages grown as naturally in the pastures of Erzurum. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*, 24(3), 218-227.
- Gursoy, E., Macit, M., 2017. Determination of relative feed values of different legume forages grown as naturally in pastures of Erzurum Province. *Anadolu Journal of Agricultural Sciences*, 32(3): 407-412.
- Hassan, Ul M., A-Ul-Ahmad H., Zamir S.I., Haq I., Khalid F., Rasool T., Hussain A., 2014. Growth, yield and quality performance of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.) varieties under faisalabad conditions, Pakistan. *American Journal of Plant Sciences*, 5:15-25.
- House, R.L., 1985. A guide to Sorghum Breeding. ICRISAT. 245 P.India. (<http://oar.icrisat.org/2736/1/53726.pdf>) (Accessed: 10.10.2023)
- Heuzé, V., Tran, G., Baumont, R., 2015. Wheat forage feedipedia, a programme by INRA, CIRAD, AFZ and FAO. (<https://www.feedipedia.org/node/447Last>) (Accessed: 11.05.2015).

- Inal, I., Cakir, B., Yucel, C., Yucel, D., Oluk, C.A., Cil, A., Ergul, A., 2023. Determination of the relations between forage yield and some agricultural characteristics in pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br) populations by correlation and path analysis. *IV-International Conference on Global Practice of Multidisciplinary Scientific Studies*, April, 28-30, Cyprus/Girne, pp.73-74.
- Kollet, J.L., Diogo, J.M.D.S., Leite, G.G., 2006. Forage yield and chemical composition of pearl millet varieties (*Pennisetum glaucum* (L.) R. BR.). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35: 1308-1315.
- Mawouma, S., Condurache, N.N., Turturică, M., Constantin, O.E., Croitoru, C., Rapeanu, G., 2022. Chemical composition and antioxidant profile of sorghum (*sorghum bicolor* (L.) moench) and pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) grains cultivated in the far-North region of Cameroon. *Foods*, 11(14): 2026.
- Mesquita, E.E., Pinto, J.C., 1998. Effect of nitrogen fertilize rates and sowing methods on yields of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.). *Rvista-Brasileria-de-Zootecnia*, 29: 971-977.
- MGM, 2022. General Directorate of Meteorology, (1991-2022) Long-term Climate Data. Ankara. (<https://www.mgm.gov.tr/>) (Accessed: 11.11.2022).
- Nwajei, S.E., 2023. Effects of planting dates on the crude protein and nutrient uptake of two varieties of millet (*Pennisetum typhoides* (Burm. f.)) Stapf & Hubbard in a forest-savanna transition zone of Edo state. *Sustainability, Agri, Food and Environmental Research*, 11: 1-11.
- Rai, K.N., Gowda, C.L.L., Reddy, B.V.S., Sehgal, S., 2008. Adaptation and potential uses of sorghum and pearl millet in alternative and health foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 7(4): 320-396.
- Rasnake, M., Lacefield, G., Miksch, D., Bitzer, M., 2005. Producing summer annual grasses for emergency or supplemental forage. University of Kentucky, Cooperative Extension Service, College of Agriculture, AGR-88.
- Saygıdar, M.N., 2021. Determination of Biomass Yield and Foragequality of Different Pearl Millet Varieties Under Gap Condition. Şırnak University, Institute of Graduate Field Crops Department. Şırnak, 49 s.
- Schroeder. J.W. 1994. Interpreting forage analysis. Extention Dairy Specialist (NDSU). AS-1080, North Dakota State University.
- Senel, S., 1986. Animal nutrition. Istanbul University Faculty of Veterinary Medicine Publications, Istanbul, No: 3210.
- Ullah, A., Ahmad, A., Khaliq, T., Akhtar, J., 2017. Recognizing production options for pearl millet in Pakistan under changing climate scenarios. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(4): 762–773.
- Upadhyaya H.D., Reddy, K.N., Sastry, D.V.S.S.R., 2008. Regeneration guidelines: pearl millet. In: Dulloo ME, Thormann I, Jorge MA and Hanson J, editors. Crop specific regeneration guidelines. *CGIAR System-wide Genetic Resource Programme*, Rome, Italy. 9 p.
- Upadhyaya, H. D., Gowda, C.L., 2009. Managing and enhancing the use of germplasm–strategies and methodologies. *International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics*.
- Van Soest, P.V., Robertson, J.B., Lewis, B.A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10): 3583-3597.

- Yucel, C., Sayar, M., Yucel, H., 2012. Determination of the some properties related to forage quality of common vetch (*Vicia sativa* L.) genotypes under the diyarbakır conditions. *Harran Journal of Agricultural and Food Science*, 16(2): 45-54.
- Yucel, C., Deniz, C., Yucel, D., Cetiner, İ.H., Oluk, C.A. Hatipoglu., R., 2023. Determination of forage quality and its related characteristics of some pearl millet populations under GAP conditions. *IV-International Conference on Global Practice of Multidiciplinary Scientific Studies*, April 28-30, Cyprus.
- Yurtsever, N., 2011. Experimental statistical methods. ministry of agriculture and rural affairs, general directorate of agricultural research, soil fertilizer and water resources central research institute publications, General Publication No: 121, Technical Publication No 56, 823p.

To Cite: Özer, M.İ., Okant, M., 2025. Agro-Morphological and Forage Quality Traits of Some Pearl Millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) Populations Grown Under Şanlıurfa Conditions. *MAS Journal of Applied Sciences*, 10(1): 12-21.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15075690>.

The Effect of Low Temperature Applied During Carpophore Formation on The Development and Nutritional Content of Oyster Mushrooms (*Pleurotus ostreatus* (Jacq. ex Fr.) P. Kumm (1871) and *P. citrinopileatus* Singer)

Turgay KABAY^{1*}, Aynur SADAK TURHAN², Suat SENSOY¹, Ruhan İknur GAZIOĞLU SENSOY¹

¹ Van Yuzuncu Yil University, Faculty of Agriculture, Department of Horticulture, Van

² Dicle University, Diyarbakir Technical Sciences Vocational School, Diyarbakir

*Corresponding author: tkabay@yyu.edu.tr

Received: 16.11.2024

Accepted: 30.12.2024

Abstract

Consumption of oyster mushrooms, which is a rich food source, has increased in every region of the world. Especially in recent years, there has been an increase in the production and consumption of foods with high nutritional value such as oyster mushrooms. However, the importance of climatic values is very important in mushroom production. In the present study, the growth and nutrient content of two oyster mushrooms [*Pleurotus ostreatus* (Jacq. ex Fr.) P. Kumm (1871) (gray oyster mushroom), *P. citrinopileatus* Singer (yellow oyster mushroom)] were investigated under two different temperatures (22 °C and 10 °C after carpophore formation) to see how mushroom would be affected under low temperature conditions. The study, which was established with 2-liter ready-made mushroom production kits, was designed according to the completely randomized experimental plot design with three replications each consisting four kits. Carpophore area and thickness, potassium (K), calcium (Ca) and magnesium (Mg) contents, and the changes in catalase (CAT) and Ascorbate peroxidase (APX) enzyme activities were investigated in both oyster mushroom species under two temperatures. There were various effects of low temperature and mushroom species on the studied traits. The oyster mushrooms exposed to low temperature had a significant effect on the carpophore area and thickness. Moreover, there was a significant difference between the carpophore areas of two oyster mushroom species at low temperature and between the carpophore thicknesses of two oyster mushroom species at control temperature. The effect of low temperature on the change in K content was found to be significant in both oyster mushrooms. Gray oyster mushroom had significantly higher (17.54%) K content than the yellow oyster mushroom at control temperature, while yellow oyster mushroom had significantly lower (17.49%) Mg content at low temperature compared to control temperature. In low temperature environment condition, the CAT activity increased by 5.7 times in gray oyster mushroom and 5.0 in yellow oyster mushroom. Moreover, The APX activities of mushrooms at low temperature increased by 8.1 times in gray oyster mushroom and 7.5 times in yellow oyster mushroom. Moreover, the yellow oyster mushroom had significantly ($p<0.01$) higher CAT and APX contents (0.57 and 1.43 times, respectively) than the gray oyster mushroom at low temperature.

Keywords: Low temperature, nutrient elements, *Pleurotus ostreatus*, *P. cornucopiae* var. *citrinopileatus*

1. Introduction

There are many types of mushrooms in nature. As a food for humans, mushrooms are a great source of protein and vitamins. However, since many of these mushrooms are poisonous, the number of people poisoned every year is increasing. Cultivated mushrooms are more preferred by people because they are non-toxic. Especially since oyster mushrooms grow in many environments such as bark, plant waste and bran, there is no trouble in preparing compost. It is cultivated in many regions due to its easy production and rich nutrient content. *Pleurotus* genus are commercially important edible mushrooms and are widely cultivated in both Türkiye and worldwide (İnci et al., 2022). After *Agaricus bisporus*, *Pleurotus ostreatus* (Jacq. ex Fr.) P. Kumm. (1871), also known as the oyster mushroom, is the edible fungus that is most widely cultivated globally. *Pleurotus* is a diverse category with a rising economic importance.

Environmental and growing media differences could have substantial effect on mushroom production. Regions with different climates can create abiotic stress on mushroom production. It is reported that abiotic stress negatively affects crop production (Yildirim et al., 2022). Studies conducted in regions with different climatic conditions provide important information about mushroom yield and quality. Among the mushroom samples belonging to *Lactarius pyragalus*, *L. controversus* and *L. semisanguifluus* species collected from the humid and cool Central Black Sea Region of Türkiye, *L. pyragalus* mushroom species is richer in terms of dry matter, ash, protein, N, Fe, Mg, Mn and K content (Pekşen et al., 2007). Four oyster mushroom species, *Pleurotus ostreatus* (gray), *P. ostreatus* (white), *P. cornucopiae* var. *citrinopileatus* (bright yellow) and *P. salmoneostramineus* (pink) were studied in three media (100% wheat straw, 70% wheat straw, 20% white sawdust and 10% palm fiber, 50% wheat straw, 50% white sawdust) in a study examining the effects of , Co, Pb, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd and Mn contents, and it was stated

that there is no statistical difference in terms of mineral elements in all three environments (Owaid et al., 2015). In another study investigating the nutritional content of cultivated mushrooms; It was stated that the contents of N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn and Mn showed great significant differences due to the fact that they were purchased from different commercial enterprises and had different chemical compositions (Sönmez et al., 2016).

In the literature, there are several other studies reporting environmental, production and species differences among the mushrooms for the yield and nutritional aspects (Sher et al., 2010; Das et al., 2016; Garo and Girma, 2016; Wang et al., 2017; Bellettini et al., 2019; Krah et al., 2019; Kumar et al., 2020; Naim et al., 2020; Stojek et al., 2022; Cetin et al., 2023; Sheng et al., 2023). To make it easier to cultivate oyster mushrooms year-round, it is necessary to determine which *Pleurotus* species are suitable for the local climate conditions. Therefore, the present study was carried out in order to determine how low temperature applied during carpophore formation would affect growth and content of *Pleurotus ostreatus* (Jacq. ex Fr.) P. Kumm (1871) (gray oyster mushroom), *P. citrinopileatus* Singer (yellow oyster mushroom). The aim of this study was to investigate the effects of low temperatures on carpophore area and thickness, potassium (K), calcium (Ca), and magnesium (Mg) contents, and the changes in catalase (CAT) and ascorbate peroxidase (APX) enzyme activities in these *Pleurotus* oyster mushroom species.

2. Materials and Methods

In the present study to determine the physiological development of produced in cool regions, two oyster mushrooms were employed: *Pleurotus ostreatus* (gray), *P. cornucopiae* var. *citrinopileatus* (yellow). The experiment was established with 2-liter ready-made mushroom production kits (90% oak shavings + 10% wheat bran) provided by Agroma company in Denizli province of Türkiye. The experiment was designed

according to the completely randomized experimental plot design with three replications each consisting four kits.

Mushroom kits are produced in the climate room having 55.67 luxury light intensity with a constant temperature at 22 °C. When the carpophore is fully formed, the half of the production kits were transferred another controlled production area with 10 °C and 54.33 luxury light intensity for low temperature application for 13-day development. Production kits at the control (22 °C) are also continued to produce without any changes in the climate room for 13-day development. At the end of the experiment, the samples from low temperature and control groups were examined for the analysis and measurements, carpophore area and thickness, potassium (K), calcium (Ca) and magnesium (Mg) content, catalase (CAT) and ascorbate peroxidase (APX) amounts.

2.1. Measurements and analyzes

2.1.1. Carpophore area

The carpophores of oyster mushroom samples were drawn on paper and their area were measured in cm² with a digital planimeter.

2.1.2. Carpophore thickness

The carpophore thickness of the oyster mushrooms was measured in mm with the caliper of the leafy part of the carpophore.

2.1.3. Mineral element analysis

Oyster mushroom samples taken from the kits in each mushroom environment were dried in 65 °C for 48 hours. Dried samples were burned until the ash in 550 the ash oven. The obtained ash samples were filtered on a blue-band filter paper in HCL, then K, Ca and Mg readings were made on the atomic absorption device (AAS, Thermo Scientific, Model: iCE-3000 series) at the scientific research and application center of the Yüzüncü Yıl University. (Kabay, 2019; Kacar ve ark., 2006; Kuşvuran, 2010).

2.1.4. Catalase (CAT) activity

Catalase (CAT) activity was determined through monitoring the inhibition of H₂O₂ at 240 nm. As the reaction solution, 0.05 M phosphate buffer (KH₂PO₄) and 1.5 mM H₂O₂ mixture was used (pH: 7.0). About 2.5 ml reaction solution was mixed with 0.2 ml plant extract. Readings were performed in a spectrophotometer (Thermo Scientific, Model: GENESYS 10S UV-VIS) at 0th and 60th seconds. Reaction was initiated with the addition of 0.1 ml enzyme extract. Assessments were made by taking the change in absorbance within a minute into consideration (Jebara et al., 2005; Güneri Bağcı, 2010).

2.1.5. Ascorbate peroxidase (APX) activity

Ascorbate peroxidase (APX) activity was measured through ascorbic acid-induced inhibition of H₂O₂ at 290 nm. As the reaction solution, 50 mM phosphate buffer (KH₂PO₄), 0.5 mM ascorbic acid, 0.1 mM EDTA and 1.5 mM H₂O₂ mixture was used (pH: 7.0). About 3 ml reaction solution was mixed with 0.1 ml plant extract. Readings were performed in a spectrophotometer (Thermo Scientific, Model: GENESYS 10S UV-VIS) at 290 nm in 0th and 60th seconds. Reaction was initiated with 0.1 ml enzyme addition. Assessments were made by taking the changes in absorbance within a minute into consideration (Sairam et al., 2005).

2.1.6. Statistical analysis

The experiment was designed in a randomized plot design with two oyster mushrooms at two temperatures with four replications and 2-liter mushroom production kits in each replicate. Experimental results were evaluated statistically using the Independent sample t-test (Yesilova and Denizhan, 2016).

3. Results and Discussion

Oyster mushrooms (*Pleurotus* spp.) are widely cultivable and adaptable to a range of temperatures and various intrinsic and extrinsic factors affect their production (Bellettini et al., 2019). stated that due to its extraordinary ligninolytic characteristics, the *Pleurotus* genus is one of the white-rot fungus that has been studied the most; it is a mushroom that can be eaten, and because it contains significant bioactive compounds; it also has a number of biological effects; many common fermentation parameters, including medium composition, the carbon to nitrogen ratio, pH, temperature, air composition, etc., have an impact on the lignocellulolytic enzymes in basidiomycete fungus. Increase or decrease in temperature in mushroom production could affect yield and quality in oyster mushrooms. In particular, the determination of the effects of low temperature on yield and quality has been the subject of many studies. In the studies, it is emphasized that the yield and quality of the same varieties in cold and warm regions vary (Sher et al., 2010; Bellettini et al., 2019). Because the quality and yield values of mushrooms are suitable for market demand, which positively

affects production. For this reason, in the present study, nutrient content, carpophore measurements and enzyme activities in oyster mushrooms at low temperature were examined.

In the present study, it was found that oyster mushrooms exposed to low temperature had a significant ($p<0.01$) effect on the carpophore area and thickness. While there was a 16.16% decrease in the carpophore area of gray oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) in the low temperature application, a 19.41% decrease was observed in the yellow oyster mushroom (*P. cornucopiae* var. *citrinopileatus*) (Table 1). On the other hand, carpophore thickness of the gray oyster mushroom decreased by 11.07% at low temperature and there was a decrease of 9.88% in yellow oyster mushroom (Table 1). Moreover, there was a significant ($p<0.05$) difference between the carpophore areas of two oyster mushroom species at low temperature and there was a significant difference ($p<0.05$) between the carpophore thickness of two oyster mushroom species at control temperature. Gray oyster mushroom had slightly larger and thicker carpophore compared to yellow oyster mushroom at low and control temperatures, respectively.

Table 1. Effects temperature on carpophore area and carpophore thickness in two oyster mushroom species

Oyster mushrooms	Carpophore area (cm ²) at 22 °C (control temperature)	Carpophore area (cm ²) at 10 °C (low temperature)	Change (%)	Carpophore thickness (mm) at 22 °C (control temperature)	Carpophore thickness at 10 °C (low temperature)	Change (%)
<i>Pleurotus ostreatus</i> (gray)	70.65 A a**	59.23 A* b	-16.16	2.62 A* a**	2.33 A b	-11.07
<i>P. cornucopiae</i> var. <i>citrinopileatus</i> (yellow)	69.97 A a**	56.39 B b	-19.41	2.53 B a**	2.28 A b	-9.88

*: There are significant differences ($p<0.05$) between the uppercase letters in the columns for two oyster mushroom species in control or low-temperature based on the independent sample t-test;

** : There are significant differences ($p<0.01$) between the vertical lowercase letters for the traits in control or low-temperature grown each oyster mushroom species based on the independent sample t-test.

The effect of low temperature on the change in K content was found to be significant ($p<0.01$) in both oyster mushrooms. At low temperature, K content decreased by 54.25% in gray oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) and by 52.68% in yellow oyster mushroom (*P. cornucopiae* var. *citrinopileatus*) (Table 2).

Moreover, gray oyster mushroom had significantly ($p<0.05$) higher (17.54%) K content than the yellow oyster mushroom at control temperature (Table 2). Although the Ca content in the low temperature environment decreased by 15.45% in the gray mushroom, the Ca content in the yellow mushroom

decreased by 20.00%, the effect of low temperature on the change in Ca content was found to be insignificant in both oyster mushrooms (Table 2). Moreover, yellow

oyster mushroom had significantly ($p<0.05$) lower (17.49%) Mg content at low temperature compared to control temperature (Table 2).

Table 2. Effects of temperature on potassium (K), calcium (Ca), and magnesium (Mg) contents in two oyster mushroom species

Oyster mushrooms	K content (%) at 22 °C (control temperature)	K content (%) at 10 °C (low temperature)	Change (%)	Ca content (%) at 22 °C (control temperature)	Ca content (%) at 10 °C (low temperature)	Change (%)	Mg content (%) at 22 °C (control temperature)	Mg content (%) at 10 °C (low temperature)	Change (%)
<i>Pleurotus ostreatus</i> (gray)	0.787 A* a**	0.360 A b	54.25	0.110 A a	0.093 A a	15.45	0.360 A a	0.307 A a	14.72
<i>P. cornucopiae</i> var. <i>citrinopileatus</i> (yellow)	0.670 B a**	0.317 A b	52.68	0.100 A a	0.080 A a	20.00	0.343 A a*	0.283 A b	17.49

*: There are significant differences ($p<0.01$ or $p<0.05$, respectively) between the uppercase letters in the columns for two oyster mushroom species in control or low-temperature based on the independent sample t-test;

**, *: There are significant differences ($p<0.01$ or $p<0.05$, respectively) between the vertical lowercase letters for the traits in control or low-temperature grown each oyster mushroom species based on the independent sample t-test.

The change of catalase (CAT) and ascorbate peroxidase (APX) activities in both oyster mushroom species in low temperature environment was significant ($p<0.01$) compared to control temperature. In low temperature environment condition, the CAT activity increased by 5.7 times in gray mushrooms and 5.0 in yellow mushrooms

(Table 3). Moreover, The APX activities of mushrooms at low temperature increased by 8.1 times in gray mushrooms and 7.5 times in yellow mushrooms (Table 3). Moreover, the yellow oyster mushroom had significantly ($p<0.01$) higher CAT and APX contents (0.57 and 1.43 times, respectively) than the gray oyster mushroom at low temperature (Table 2).

Table 3. Effects of temperature in CAT and APX activities in two oyster mushroom species

Oyster mushrooms	CAT content (mmol g ⁻¹ FW) at 22 °C (control temperature)	CAT content (mmol g ⁻¹ FW) at 10 °C (low temperature)	Change (%)	APX content (mmol g ⁻¹ FW) at 22 °C (control temperature)	APX content (mmol g ⁻¹ FW) at 10 °C (low temperature)	Change (%)
<i>Pleurotus ostreatus</i> (gray)	8.755 A b**	56.698 B** a	570.45	3.144 A b**	28.762 B** a	814.21
<i>P. cornucopiae</i> var. <i>citrinopileatus</i> (yellow)	14.792 A b**	89.146 A a	502.66	8.186 A b**	69.900 A a	753.89

** : There are significant differences ($p<0.01$) between the uppercase letters in the columns for two oyster mushroom species in control or low-temperature based on the independent sample t-test;

**, *: There are significant differences ($p<0.01$) between the vertical lowercase letters for the traits in control or low-temperature grown each oyster mushroom species based on the independent sample t-test.

Mushroom cultivation is an important aspect of agriculture, and the *Pleurotus* oyster mushroom species is widely cultivated due to its nutritional and medicinal values. Low temperatures have been reported to affect the yield and quality of mushrooms, and various studies have investigated the effects of environmental factors on the growth and yield of different mushroom species, including *Pleurotus* spp. In the literature, there are

several studies reporting environmental and species differences among the mushrooms for the yield and nutritional aspects. Owaid et al. (2015) reported that there was no statistical difference in the C, N, Co, Pb, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd and Mn contents of their carpophores of the oyster mushroom species, *Pleurotus ostreatus* (grey), *P. ostreatus* (white), *P. cornucopiae* var. *citrinopileatus* (bright yellow) and *P. salmoneostramineus* (pink). Sönmez et al.

(2016) stated that the N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn and Mn contents showed statistically large differences in the cultured mushrooms taken in enterprises where production place and temperatures are different. Pekşen et al. (2007) studied the mushroom samples belonging to *Lactarius pyragalus*, *L. controversus* and *L. semisanguifluus* species collected from the humid and cool Central Black Sea Region of Türkiye, *L. pyragalus* mushroom species in terms of dry matter, ash, protein, N, Fe, Mg, Mn and K content of other mushrooms and they stated that they had richer contents than the other species. Mycelial growth was observed in the medium consisting of a mixture of straw, sawdust and bran (45% straw + 45% sawdust + 10% bran) of four different *Pleurotus ostreatus* isolates (PO-141, PO-142, PO-143 and PO-144) obtained from different locations of Bolu province, and it was stated that the highest yield was obtained from PO-143 isolate in the study observing also first harvest time, mushroom weight, yield, cap length, cap width, stem length, stem diameter, color characteristics of the mushroom, pH, ash, dry matter, TSS and protein contents (Kibar, 2019).

Stojek et al. (2022) monitored mushroom production in the temperate mixed deciduous forest of Białowieża Primitive Forest in eastern Poland over two harvest seasons; Their research plots were established under similar environmental conditions (topography, geology, and soil type) but differed in tree species composition and tree species richness. At the end of their study, it was stated that higher precipitation in 2021 resulted in higher mushroom production compared to 2020, while lower precipitation levels in 2020 resulted in a stronger effect of ambient temperature (Stojek et al. 2022). In a study examining the properties contributing to yield and yield of oyster mushroom in Gamo Gofa in Ethiopia's low altitude Arba Minch (1278 m altitude) and high altitude Chench (2741 m altitude) towns, it was reported that the yield was better in Chench (Garo and Girma, 2016). In another study on the mushroom colors of the hot temperatures, it is stated that the mushrooms are darker at low temperatures

(Krah et al., 2019). Eight oyster mushrooms (*Pleurotus ostreatus*, *P. florida*, *P. sajorcaju*, *P. eryngii*, *P. pulmonarius*, *P. citrinopileatus*, *P. flabellatus* and *P. fossulatus*) were grown at 18 °C and 25 °C, and it was stated that while *P. florida* had the highest yield value at 18 °C, *P. pulmonarius* had the highest yield at higher temperature, while other species gave good yield at medium temperature (Das et al., 2016). Kumar et al. (2020) evaluated three oyster mushroom species (*Pleurotus florida*, *P. eous*, and *Hypsizyguis ulmarius*) for the biological efficiency and net returns invested in two different seasons [late kharif (the monsoon) and rabi (the winter) seasons] in India. These researchers reported that biological efficiency and net returns invested of *P. florida* and *H. ulmarius* were on par and significantly superior to *P. eous* in both the seasons. Their study provided corroboration for the suitability of *P. florida* and *H. ulmarius* cultivation in the late kharif and rabi seasons, whereas *P. eous* cultivation in the summer and early kharif seasons; Thus, the season-specific selection of oyster mushroom species promotes the concept of year-round mushroom cultivation. Lower temperatures and dry condition could reduce stalk height and cap size of oyster mushroom. Sher et al. (2010) reported that in comparison to those growing in the Swat region in Pakistan, Peshawar region mushrooms had higher stalk height, stalk diameter, cap size, and fresh weight; In contrast, the Swat region had longer spawn running times, more fruiting bodies, and more productions of the studied mushroom than the Peshawar region did; The region of Peshawar's mild winters and Swat's cool summers were discovered to be ideal for *Pleurotus ostreatus* growth and production. In terms of the effects of low temperatures on carpophore area and thickness, Wang et al. (2017) investigated the differential expression patterns of *Pleurotus ostreatus* catalase genes during developmental stages and under heat stress. The authors reported that catalase genes were upregulated under heat stress, which indicated the importance of catalase in protecting the mushroom from environmental stressors. These researchers stated that catalases (CAT) are common enzymes that

detoxify hydrogen peroxide; they aid in the growth and development of fungi, including mycelial growth and cellular differentiation, as well as the defense of fungi against oxidative damage under stressful situations, and their results indicated that studied two CAT genes may play different roles during development and under heat stress. Moreover, Gurgen et al. (2020) stated that cultivated *P. citrinopileatus* mushroom had a lower oxidative stress status and had antioxidant potential and this potential varied based on the substrate used.

Bellettini et al. (2019) studied the factors affecting *Pleurotus* spp. and reported that temperature, light, humidity, and substrate composition are important factors that affect the growth and yield of mushrooms. Cetin et al. (2023) investigated the effect of different production environments on yield and quality in mushroom (*Pleurotus ostreatus*) production and reported that temperature and humidity were the most important factors affecting mushroom yield and quality. Regarding the effects of low temperatures on mineral contents, Naim et al. (2020) investigated the variation of *Pleurotus ostreatus* performance subjected to different doses and timings of nano-urea. The authors reported that nano-urea treatment significantly increased the K, Ca, and Mg contents of the mushroom, which indicates the potential of nano-urea as a supplement for mushroom cultivation.

Finally, in terms of the effects of low temperatures on enzyme activities, Sheng et al. (2023) investigated the relationship between antioxidant enzymes and sclerotial formation of *Pleurotus tuber-regium* under abiotic stress. The authors reported that CAT and APX activities were positively correlated with sclerotial formation, indicating the importance of these enzymes in protecting the mushroom from stressors. Sheng et al., (2023) studied relationship between antioxidant enzymes [ascorbate peroxidase (APX), superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD), and catalase (CAT)] and sclerotial formation of *Pleurotus tuber-regium* under abiotic stress and discovered that these antioxidant enzyme genes played an important role in the sclerotial

formation under low temperature stress, and it is strongly suggested that antioxidant enzymes and abiotic stresses are closely related to sclerotial formation in *P. tuber-regium*.

4. Conclusion

The consumption of mushrooms, which are rich in nutrients and vitamins, has increased with the rise of epidemic diseases. In the present study, it was investigated how the yield and quality of mushroom production were affected, especially in places where cool and low temperatures prevail. Different mushroom species and low temperatures have an impact on the traits that were being researched. The area and thickness of the carpophore were significantly altered in oyster mushrooms when they were subjected to low temperatures. In addition, there was a substantial difference between the thicknesses and areas of the carpophores of two different oyster mushroom species at control and low temperatures. In both oyster mushrooms, it was discovered that low temperature had a substantial impact on the change in K content. At control temperature, the K content of gray oyster mushrooms was significantly greater (17.54%) than that of yellow oyster mushrooms, whereas the Mg content of yellow oyster mushrooms was significantly lower (17.49%) at low temperature than at control temperature. The CAT activity rose 5.7 times in gray mushrooms and 5.0 times in yellow mushrooms in low temperature environments. Moreover, the APX activities of mushrooms increased by 7.5 and 8.1 times, respectively, at low temperatures in both gray and yellow mushrooms. Moreover, the yellow oyster mushroom had considerably larger CAT and APX concentrations than the gray oyster mushroom at low temperature (0.57 and 1.43 times, respectively). The yield and quality at low temperatures do not affect considerably the market value in a way that will decrease. When the study and literature information are examined, we think that production can be made in particularly low temperatures, in regions where the average temperature does not fall below 5 °C or in controlled atmosphere conditions. The result of the study could

benefit scientific studies such as studies on oyster mushrooms. Low temperature conditions can have some significant effect on the growth and development of *Pleurotus* oyster mushrooms, as well as their nutritional and enzymatic properties. Specifically, lower temperatures can lead to smaller carpophores with thinner caps and lower K, Ca, and Mg contents. On the other hand, low temperature conditions can upregulate the activities of antioxidant enzymes such as CAT and APX, which may contribute to the mushrooms' increased antioxidant capacity. The increased expression of genes related to nutrient uptake and metabolism, as well as antioxidant defense, may play a role in the response of *Pleurotus* oyster mushrooms to low temperature conditions. In conclusion, the studied *Pleurotus* oyster mushroom species is somehow affected by low temperatures, which can lead to changes in carpophore area and thickness, mineral contents, and enzyme activities. Environmental factors, such as temperature, humidity, and substrate composition, play important roles in mushroom cultivation and yield. Further research is needed to fully understand the mechanisms underlying the effects of low temperatures on mushroom growth and yield, and to develop effective strategies for optimizing mushroom cultivation under different environmental conditions.

Declaration of Author Contributions

The authors declare that they have contributed equally to the article. All authors declare that they have seen/read and approved the final version of the article ready for publication.

Declaration of Conflicts of Interest

All authors declare that there is no conflict of interest related to this article.

References

- Belletini, M.B., Fiorda, F.A., Maievas, H.A., Teixeira, G.L., Ávila, S., Hornung, P.S., Ribani, R.H., 2019. Factors affecting mushroom *Pleurotus* spp. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(4): 633-646.
- Cetin, M., Kabay, T., Şensoy, S., 2023. The effect of different production environments on yield and quality in mushroom (*Pleurotus ostreatus*) production. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 11(1): 29-34.
- Das, N., Mishra, S., Chowdhury, P., Roy, T., Alam, S., 2016. Comparative study of fruiting body production of some oyster mushroom in two different temperatures. *Vegetos*, 29(1): 16-21.
- Garo, G., Girma, G., 2016. Responses of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) as influenced by substrate difference in Gamo Gofa zone, Southern Ethiopia. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 9(4): 63-8.
- Güneri Bağcı, E.G., 2010. Identification of drought induced oxidative stress in chickpea with physiological and biochemical parameters. Doctoral Thesis, Ankara University Faculty of Science, Ankara.
- Gurgen, A., Sevindik, M., Yildiz, S., Akgul, H., 2020. Determination of antioxidant and oxidant potentials of pleurotus citrinopileatus mushroom cultivated on various substrates. *Kahramanmaraş Sutcu Imam University Agriculture and Nature Journal*, 23(3): 586-591.
- İnci, Ş., Kırbağ, S., Akyüz, M., 2022. Growth period, yield, and nutrient contents of *Pleurotus citrinopileatus* Singer grown on some local agricultural wastes in Turkey. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13(16): 15029-15038.
- Jebara, S., Jebara, M., Liman, F., Aouani, E., 2005. Changes in ascorbate peroxidase, catalase, guaiacol peroxidase and superoxide dismutase activities in common bean nodules under salt stress. *Journal of Plant Physiology*, 162(8): 929-936.
- Kabay, T., 2019. Effects of different potassium doses on development of high temperature-sensitive bean plants. *Fresenius Environmental Bulletin*, 28(1): 320-325.

- Kacar, B., Katkat, B., Öztürk, Ş., 2006. Plant Physiology (2. Oppression). Nobel Publication Distribution, No:563, Ankara.
- Kibar, B., 2019. Determination of yield and some quality traits of different pleurotus ostreatus (*Oyster Mushroom*) isolates. *International Journal of Agricultural and Wildlife Sciences*, 5(2): 223-230.
- Krah, F.S., Büntgen, U., Schaefer, H., Müller, J., Andrew, C., Boddy, L., Bäessler, C., 2019. European mushroom assemblages are darker in cold climates. *Nature Communications*, 10(1): 1-11.
- Kumar, N.K., Viswanath, K., Sangeetha, C., Krishnamoorthy, A.S., 2020. Suitability of oyster mushroom species for cultivation in the southern zone of andhra pradesh. *International Research Journal of Pure and Applied Chemistry*, 21(20): 48-52.
- Kuşvuran, Ş., 2010 Relationships between physiological mechanisms for drought and salinity tolerance of melons. Doctoral Thesis, Çukurova University Institute of Natural and Applied Sciences, Adana.
- Naim, L., Alsanad, M.A., El Sebaaly, Z., Shaban, N., Abou Fayssal, S., Sassine, Y.N., 2020. Variation of Pleurotus ostreatus (Jacq. Ex Fr.) P. Kumm. (1871) performance subjected to different doses and timings of nano-urea. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(6): 1573-1579.
- Owaid, M.N., Al-Saeedi, S.S.S., Abed, I.A., 2015. Mineral matter content of white, gray, yellow and pink oyster mushrooms (high mushrooms). *Food*, 40(6): 319-326.
- Pekşen, A., Kibar, B., Yakupoğlu, G., 2007. Determination of morphological characteristics, protein and mineral contents of some edible lactarius species. *Anatolian Journal of Agricultural Sciences*, 22(3): 301-305.
- Sairam, R.K., Srivastava, G.C., Agarwal, S., Meena, R.C., 2005. Differences in antioxidant activity in response to salinity stress in tolerant and susceptible wheat genotypes. *Biologia Plantarum*, 49: 85-91.
- Sheng, L., Sun, X., Mo, C., Hao, M., Wei, X., Ma, A., 2023. Relationship between antioxidant enzymes and sclerotial formation of Pleurotus tuber-regium under abiotic stress. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 1-14.
- Sher, H., Al-Yemeni, M., Bahkali, A.H., Sher, H., 2010. Effect of environmental factors on the yield of selected mushroom species growing in two different agro ecological zones of Pakistan. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 17(4): 321-326.
- Sönmez, S., Üras, D.S., Demir, E., Nil, Ö., Kılıç, E., 2016. Determination of nutritional status of cultivated mushrooms (*Agaricus bisporus*) produced in Antalya-Korkuteli region. *Çukurova Journal of Agricultural and Food Sciences*, 31(3): 215-219.
- Stojek, K., Gillerot, L., Jaroszewicz, B., 2022. Predictors of mushroom production in the European temperate mixed deciduous forest. *Forest Ecology and Management*, 522: 120451.
- Wang, L., Wu, X., Gao, W., Zhao, M., Zhang, J., Huang, C., 2017. Differential expression patterns of Pleurotus ostreatus catalase genes during developmental stages and under heat stress. *Genes*, 8(11): 335.
- Yesilova, A., Denizhan, E., 2016. Modelling mite counts using Poisson and negative binomial. *Fresenius Environmental Bulletin*, 25: 5062-5066.
- Yildirim, E., Ekinci, M., Turan, M., Açar, G., Ors, S., Dursun, A., Akgül, G., 2022. Physiological and biochemical changes of pepper cultivars under combined salt and drought stress. *Gesunde Pflanzen*, 74(3): 675-683.

To Cite: Kabay, T., Sadak Turhan, A., Sensoy, S., Gazioglu Sensoy, R.I., 2025. The Effect of Low Temperature Applied During Carpophore Formation on The Development and Nutritional Content of Oyster Mushrooms (*Pleurotus ostreatus* (Jacq. ex Fr.) P. Kumm (1871) and *P. citrinopileatus* Singer). *MAS Journal of Applied Sciences*, 10(1): 22-31.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15081271>.

Farklı Dönemlerde Uygulanan Kuraklığın Domateste Bitki Morfolojik ve Fizyolojik Özellikleri Üzerine Etkisi

Muhammed Sait YANARDAĞ¹, Turgay KABAY^{1*}

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Van

*Sorumlu yazar (Corresponding author): tkabay@yyu.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 16.11.2024

Kabul Tarihi (Accepted): 30.12.2024

Özet

Domates üretim döneminde yaşanan kuraklıkların domateste bitki gelişimi ile verim ve kalitenin etkilenme oranını belirlemek amacıyla yapılan çalışmada Babacan F1 hibrit domates fidesi kullanılmıştır. Babacan F1 hibrit domates fidelerinde kontrol, 1. dönem kuraklık uygulaması ve 2. dönem kuraklık uygulanmıştır. Birinci grup kuraklık uygulamasında, araziye dikilen domates fideleri, dikimden 10 gün sonra 30 günlük kuraklığa maruz bırakılmıştır. 30 günün sonunda kuraklık sonlandırılıp normal sulamaya geçilmiştir. Aynı şekilde ikinci grup kuraklık uygulamasında ise fide dikiminden 40 gün sonra başlanıp 30 gün boyunca hiç sulama yapılmamıştır. 30 günün sonunda tekrar normal sulamaya geçilmiştir. Kontrol grubundaki bitkilerde ise normal bir şekilde sulamaya devam edilmiştir. Çalışma, üç tekrarlı ve her tekrarda altı bitki olacak şekilde tesadüf blokları faktöriyel deneme desenine göre dizayn edilmiştir. Çalışma sonunda membran zararlanma indeksinin arttığı, yaprak oransal içeriği, bitki boy, kök boğazı çapı, meyve eni, meyve boyu, meyve eti sertliği, meyve ağırlığı ve bitki başına verimin azaldığı görülmektedir. Van iklim şartlarında domateste üretim dönemi başlangıcında 30 günlük kuraklıklarda bitkilerin dayandığı ve kuraklığa tabi tutulan 30 gün sonunda sulanmasıyla kontrol değerlerine yakın verilerin elde edildiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Domates, kuraklık, stres

Effect of Drought Applied in Different Periods on Plant Morphological and Physiological Characteristics in Tomato

Abstract

Babacan F1 hybrid tomato seedlings were used in the study conducted to determine the rate of effects of droughts experienced during the tomato production period on plant development, yield and quality in tomatoes. Babacan F1 hybrid tomato seedlings were subjected to control, 1st period drought treatment and 2nd period drought. In the first group drought treatment, tomato seedlings planted in the field were exposed to 30 days of drought 10 days after planting. At the end of 30 days, drought was terminated and regular irrigation was started. Similarly, in the second group drought treatment, no irrigation was applied for 30 days after seedling planting, starting 40 days after planting. At the end of 30 days, regular irrigation was started again. Regular irrigation was continued in the control group plants. The study was designed according to the randomized block factorial experimental design with three replications and six plants in each replication. At the end of the study, it was observed that the membrane injury index increased, leaf ratio water content, plant height, root collar diameter, fruit width, fruit length, fruit flesh hardness, fruit weight and yield per plant decreased. It has been observed that in the climatic conditions of Van, during the early tomato production period, the plant withstood 30 days of drought and that data close to control values were obtained when the plants were watered at the end of the 30-day drought.

Keywords: Tomato, drought, stress

1. Giriş

Domates üretimi döneminde yaşanan kuraklıklar, bitki gelişiminde gerilemeye, verim ve kalitenin düşmesine neden olmaktadır. Yaşanan kuraklığın uzaması ise bitki ölümlerine neden olmaktadır. Domateste kurak stresine tolerant ve hassas genotiplerin tespiti amacıyla yapılan bir çalışmada, bitki boyu, yaprak sayısı, gövde çapı ve büyüme oranlarına bakıldığında kuraklık stresine dayanıklı genotiplerin değerleri strese hassas genotiplerin değerlerinden daha iyi çıktığı tespit edilmiştir (Alp ve Kabay, 2017).

Domateslerde kuraklık stresinin etkilerinin incelendiği bir çalışmada, verim ve klorofil içeriğinin kuraklık stresine karşı zayıf olan genotiplerde, kuraklık stresine dayanıklı olanlara göre daha fazla düştüğü belirtilmiştir (Sivakumar ve Srividhya, 2016). Domateste uygulanan su stresi bitkilerde, çeşitli parametreler üzerindeki etkilerinin incelendiği bir çalışmada, uygulanan su stresinin, kuraklığa hassas çeşitlerde meyve tutumunda azalmalar olurken, dayanıklı çeşitlerde YOSİ (Yaprak oransal su içeriği)'nin kontrol grubuna yakın çıktığı; fakat antioksidan içeriğinin ise hassas genotiplerde fazla çıktığı bildirilmiştir (Sanchez-Rodriguez, 2010).

Kuraklık stresi altında yetiştirilen domates bitkilerinde meyve ağırlığının normal koşullarda yetiştirilen domates bitkilerine oranla daha düşük olduğu belirtilmektedir (Khan ve ark., 2015). Domates fidelerine %100, %75 ve %50 tarla kapasitesinde uygulanan kuraklığın, domates fidelerinin büyüme ve fizyolojik özelliklerini azalttığı ve bu azalmanın en fazla %50 tarla kapasitesinde olduğu belirtilmektedir (Ors ve ark., 2021). Domates bitkilerinin 37 gün boyunca su kıtlığı çalışmasında, bitki boyu ve yaprak sayısının azaldığı belirtilmektedir (Rosa ve ark., 2023). Domates fidelerinin kuraklık stresi sonucunda, domates fidelerinde büyümenin ve biyokütle üretiminin azaltıldığını, fotosentezi engellediğini, kök morfolojisini olumsuz etkilediğini belirtmektedir (Altaf ve ark., 2022). Bamyı genotiplerinin kuraklık stersine dayanıklılığının tespitiyle ilgili çalışmada, bitkinin büyüme parametrelerinin olumsuz

etkilendiği vurgulanmıştır (Kuşvuran ve ark., 2008). Biber fidelerinde, kısıtlı sulama sırasında kök sayısı, kök çapı, kök kuru ağırlığı ve yaprak büyümesinin azaldığı belirlenmiştir (Leskovar ve Cantliffe, 1992). Patlıcanda 5 farklı sulama oranının uygulandığı bir çalışmada, %20 ve %40 sulama oranında, meyve ağırlığı, toplam verim, yaprak su potansiyeli ve yaprak alanının azaldığı ancak % 80 ve %100 sulama seviyelerinde ise daha iyi sonuçların çıktığı tespit edilmiştir (Mohawesh, 2016). Fasulye genotiplerinin kuraklık stresine tepkilerinin incelendiği bir çalışmada kuraklığa tolerant genotiplerdeki yaprak alanı, yaprak sayısı, bitki ağırlığı, gövde boyu ve çapı, yaprakta membran zararlanması, hassas genotiplere nazaran daha iyi çıktığı belirtilmektedir (Kabay ve Şensoy, 2016).

Yapılan çalışmada, domates üretiminin herhangi bir döneminde yaşanan kuraklıkta domates bitkisinin etkilenme durumu incelenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

Çalışmada Babacan F1 hibrit domates fidesi kullanılmıştır. Domates üretiminde farklı dönemlerde yaşanan kuraklığın bitki gelişimi üzerine ne gibi bir etki göstereceğini belirlemek amacıyla; Babacan F1 hibrit domates fidelerinde kontrol, 1. dönem kuraklık uygulaması ve 2. dönem kuraklık uygulaması gerçekleştirilmiştir. Birinci grup kuraklık uygulamasında, araziye dikilen domates fideleri, dikimden 10 gün sonra 30 günlük kuraklığa maruz bırakılmıştır. 30 günün sonunda kuraklık sonlandırılıp normal sulamaya geçilmiştir. Aynı şekilde ikinci grup kuraklık uygulamasında ise fide dikiminden 40 gün sonra başlanıp 30 gün boyunca hiç sulama yapılmamıştır. 30 günün sonunda tekrar normal sulamaya geçilmiştir. Kontrol grubundaki bitkilerde ise normal bir şekilde sulamaya devam edilmiştir. Haziran ayı gündüz sıcaklık ortalaması 24.46 °C, gece sıcaklık ortalaması 11.36 °C olarak ölçülmüştür. Temmuz ayı gündüz sıcaklık ortalaması 27.54 °C iken gece sıcaklık ortalaması 14.70 °C olarak ölçülmüştür.

Ağustos ayı gündüz sıcaklık ortalaması 30.56 °C iken gece sıcaklık ortalaması 15. 12 °C olarak ölçülmüştür. Çalışma, üç tekrarlı ve her tekrarda altı bitki olacak şekilde tesadüf blokları faktöriyel deneme desenine göre dizayn edilmiştir. Çalışma sonunda analiz ve ölçümler aşağıdaki yöntemlerle yapılmıştır.

2.1. Membran zararlanma indeksi

Domates yapraklarında membran zararlanma indeksi (MZİ) hücreden dışarıya verilen elektrolitin ölçülmesi ile hesaplanmıştır. Stres ve kontrol bitkilerinin alttan 3. yapraklarından 17 mm çapında alınan diskler saf su içerisinde 5 saat bekletildikten sonra EC değeri ölçülmüştür, aynı diskler 100 °C’de 10 dakika bekletildikten sonra çözeltinin EC değeri tekrar ölçülmüştür. Elde edilen değerden aşağıdaki formül yardımıyla yaprak hücrelerinde membran zararlanması yüzde olarak hesaplanmıştır (Güneri Bağcı, 2010; Kuşvuran, 2010; Kabay, 2014).

$$MZİ = (Lt-Lc/1-Lc) \times 100$$

Lt: Kuraklık stresindeki yaprağın otoklav edilmeden önceki EC/Otoklav edildikten sonraki EC

Lc: Kontrol yaprağının otoklav edilmeden önceki EC/Otoklav edildikten sonraki EC.

2.2. Yaprak oransal su içeriğinin belirlenmesi

Yaprak oransal su içeriği (YOSİ) Kuşvuran (2010)’a göre yapılmıştır. Kontrol grubu ile kuraklık uygulamalarından denemeyi temsil edecek bitkilerin alttan 3. yapraklarından örnekler alınmış ve yaprak oransal su içeriklerinin hesaplanması için yaprak taze ağırlıkları hassas terazide tartıldıktan sonra dört saat saf su içinde bekletilerek turgor ağırlıkları belirlenmiştir. Daha sonra bu yaprak örnekleri 65 °C etüvde 48 saat bekletilip hassas terazide tartılmıştır. Gram cinsinden hassas terazide tartılan yaprak sonuçları aşağıdaki formüle göre hesaplanarak yaprak oransal su içerikleri yüzde cinsinden belirlenmiştir (Kuşvuran, 2010; Kabay, 2014).

$$YOSİ = (TA-KA) / (TuA-KA) \times 100$$

TA: Taze Ağırlık KA: Kuru Ağırlık TuA : Turgor Ağırlığı

2.3. Kök boğazı çapı

Her kuraklık dönemi sonunda denemeyi temsil edecek örnekler kök boğazından dijital göstergeli kumpas yardımı ile mm (± 0.1) cinsinden ölçülmüştür (Kuşvuran, 2010; Kabay, 2014).

2.4. Bitki boyu

Domates bitkileri, kök boğazından büyüme ucuna kadar olan bölge, cm cinsinden bir cetvel ile ölçülmüştür.

2.5. Meyve en ve boy ölçümleri

Hasat edilen meyvelerin en ve boyu dijital kumpas ile mm cinsinden ölçülüp ortalamaları alınmıştır.

2.6. Bitki başına verim

İlk hasattan son hasata kadar toplanan meyvelerin toplam ağırlığı gr cinsinden hesaplanmıştır.

2.7. Meyve ağırlığı

Deneme grubundaki her bitkiden hasat edilen meyveler gram cinsinden tartılıp meyve sayısına bölünerek hesaplanmıştır.

2.8. Meyve eti sertliği

Meyve eti sertliğinde meydana gelen değişimler, 7 mm uca sahip el penetrometresi kullanılarak domates meyvelerinin ekvatorial bölgelerinden 3’er ölçüm yapılarak elde edilmiştir. Sonuçlar kg/cm^2 olarak ifade edilmiştir.

2.9. Verilerin değerlendirilmesi

Çalışma sonlandırıldıktan sonra elde edilen parametrelerin değerlendirilmesi aşamasında, kuraklık dönemlerinin parametrelere olan etkilerine tek yönlü varyans analizi ile belirlenmiştir. Varyans analizi sonucundan parametrelere kuraklık stresinin etkisi istatistiksel olarak önemli bulunduğu, birbirinden farklı olduğunu saptamak için Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi kullanılmıştır. Verilerin analizi SAS 9.1.4. istatistik yazılım programında yapılmıştır. Membran zararlanma indeksi, yaprak oransal su içeriği, kök boğazı çapı ve bitki boyu verilerinde bağımsız t-testi kullanılmıştır. (Yeşilova ve Denizhan, 2016).

3. Bulgular ve Tartışma

Domates üretimi esnasında yaşanan kuraklıkların bitki ve meyvede zararlanmalara, verim ve kalite kayıplarına neden olmaktadır. Domates yapraklarında, birinci kuraklık

dönemi sonucunda kuraklık uygulanan bitkilerin membran zararlanma indeksi 9.33 ± 0.699 , ikinci kuraklık dönemi sonucunda membran zararlanma indeksi 9.66 ± 0.255 olarak bulunmuştur (Tablo 1).

Tablo 1. Domates bitkilerindeki membran zararlanma indeksi (%)

Kuraklık dönemi	Membran zararlanma indeksi (%)
1	9.33 ± 0.699
2	9.66 ± 0.255

Domates yapraklarının, birinci kuraklık uygulaması sonucunda yaprak oransal su içeriği 90.656 ± 2.472 ve ikinci kuraklık

uygulaması sonucunda, yaprak oransal su içeriği 92.250 ± 3.453 olarak hesaplanmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. Domates bitkilerindeki yaprak oransal su içeriği değişimi (%)

Kuraklık dönemi	Yaprak oransal su içeriği (%)	
	Kuraklık	Kontrol
1	90.656 ± 2.472	97.493 ± 2.106
2	92.250 ± 3.453	96.295 ± 2.961

Uygulanan kuraklık dönemleri sonucunda bitkilerin kök boğazı birinci kuraklık dönemi sonucunda kontrol bitkilerinin kök boğazı çapı 16.23 mm ve kuraklık uygulanan bitkilerinin kök boğazı çapı 9.596 mm olarak ölçülmüştür (Tablo 3). İkinci kuraklık dönemi sonucunda ise kontrol grubunun kök boğazı çapı 19.98 mm ve kuraklık dönemi bitkilerinin kök boğazı çapı 14.893 mm olarak ölçülmüştür

(Tablo 3). Domates bitkilerinde birinci kuraklık dönemi sonucunda kontrol grubuna ait bitki boyu istatistiksel olarak 56.18 mm ve birinci kuraklık döneminde bitki boyu 49.773 mm olarak ölçülmüştür (Tablo 3). İkinci kuraklık dönemi sonucunda kontrol grubunun bitki boyu 70.96 mm ve ikinci kuraklık dönemi bitkilerinin bitki boyu 58.67 mm olarak ölçülmüştür (Tablo 3).

Tablo 3. Kök boğazı çapı (mm) ve bitki boyu çapı değişimi

Kuraklık Dönemi	Kök boğazı çapı (mm)		Bitki boyu (cm)
1. Dönem	Kontrol	16.23 ± 0.959	56.180 ± 0.721
	1. Kuraklık	9.596 ± 0.160	49.773 ± 0.597
2. Dönem	Kontrol	19.980 ± 0.127	70.960 ± 0.617
	2. Kuraklık	14.893 ± 0.296	58.670 ± 0.256

Hasattan sonra her gruptan alınan meyve örneklerinin boyları ve enlerinin ölçümleri, kontrol grubu meyve boyu 56.164 mm ölçülürken meyve eni 65.677 mm ölçülmüştür. Birinci kuraklık dönemine ait meyve boyu 50.3778 mm, meyve eni 55.963 mm olarak ölçülmüştür. İkinci kuraklık döneminde ise meyve boyu 48.897 mm, meyve eni ise 60.710 mm olarak ölçülmüştür (Tablo 4). Meyve eti sertliğine ait elde edilen değerler Tablo 4'te sunulmuştur. Tablo incelendiğinde, meyve eti sertliğine ait en yüksek ortalama değer kontrol uygulamasında (3.890) görülürken, en düşük

ise birinci kuraklık uygulamasında (2.163) görülmüştür. Domates bitkilerinde, kontrol grubunun meyve ağırlığı 170.293 gr olurken birinci kuraklık döneminde meyve ağırlığı 130.903 gr ve ikinci kuraklık döneminde meyve ağırlığı 132.980 gr olarak ölçülmüştür (Tablo 4). Bitki başına verim ilk hasattan son hasata kadar toplanan meyveler tartılarak elde edilmiştir. Kontrol grubunda bitki başına verim 5.666 kg olurken birinci kuraklık döneminde bitki başına verim 4.586 kg ve ikinci kuraklık döneminde bitki başına verim 4.390 kg olarak belirlenmiştir (Tablo 4).

Tablo 4. Meyve boyu, eni, ağırlığı, meyve eti sertliği, bitki başına verim

Dönem	Meyve boyu (mm)	Meyve eni (mm)	Meyve eti sertliği (gr cm ⁻²)	Meyve Ağırlıkları (gr)	Bitki başına verim (bitki kg ⁻¹)
Kontrol	58.164 a	65.677 a	3.890 a	170.293 a	5.666 a
1. Kuraklık	50.378 b	55.963 b	2.163 c	130.903 b	4.586 b
2. Kuraklık	48.897 b	60.710 ab	2.853 b	132.980 b	4.390 b

Aynı sütundaki farklı harfler istatistik bakımından önemlidir (p<0.05).

Bulgular incelendiğinde, kuraklı stresi sonucunda, membran zararlanma indeksinin arttığı, yaprak oransu içeriği, bitki boy, kök boğazı çapı, meyve eni, meyve boyu, meyve eti sertliği, meyve ağırlığı ve bitki başına verimin azaldığı görülmektedir. Domates bitkilerinin kurak stresinde bitki boyu, yaprak sayısı, gövde çapı ve büyüme oranlarının azaldığı belirtilmiştir (Sivakumar ve Srividhya, 2016; Alp ve Kabay, 2017). Domateste uygulanan su stresi bitkilerde, YOSİ (Yaprak oransal su içeriği)'nin kontrol grubuna yakın çıktığı belirtilmiştir (Sanchez - Rodriguez, 2010). Kuraklık stresi altında yetiştirilen domates bitkilerinde meyve ağırlığının normal koşullarda yetiştirilen domates bitkilerine oranla daha düşük olduğu belirtilmektedir (Khan ve ark., 2015). Domates fidelerine %100, %75 ve %50 tarla kapasitesinde uygulanan kuraklığın, domates fidelerinin büyüme ve fizyolojik özelliklerin azaldığı belirtilmektedir (Ors ve ark., 2021). Domates bitkilerinin 37 gün boyunca su kıtlığı çalışmasında, bitki boyu ve yaprak sayısının azaldığı belirtilmektedir (Rosa ve ark., 2023). Domates fidelerinin kuraklık stresi sonucunda, domates fidelerinde büyümenin ve biyokütle üretiminin azalttığını, fotosentezi engellediğini, kök morfolojisini olumsuz etkilediğini belirtmektedir (Altaf ve ark., 2022). Bamyası genotiplerinin kuraklık stersine dayanıklılığının tespitiyle ilgili çalışmada, bitkinin büyüme parametrelerinin olumsuz etkilendiği vurgulanmıştır (Kuşvuran ve ark., 2008). Biber fidelerinde, kısıtlı sulama sırasında kök sayısı, kök çapı, kök kuru ağırlığı ve yaprak büyümesinin azaldığı belirlenmiştir (Leskovar ve Cantliffe, 1992). Patlıcanda 5 farklı sulama oranının uygulandığı bir çalışmada, %20 ve %40 sulama oranında, meyve ağırlığı, toplam verim, yaprak su potansiyeli ve yaprak alanının azaldığı ancak %80 ve %100 sulama seviyelerinde ise daha

iyi sonuçların çıktığı tespit edilmiştir (Mohawesh, 2016). Fasulye genotiplerinin kuraklık stresine tepkilerinin incelendiği bir çalışmada kuraklığa tolerant genotiplerdeki yaprak alanı, yaprak sayısı, bitki ağırlığı, gövde boyu ve çapı, yaprakta membran zararlanması, değerlerinin hassas genotiplere nazaran daha iyi çıktığı belirtilmektedir (Kabay ve Şensoy, 2016).

4. Sonuçlar

Domates üretimi döneminde belli dönemlerde uygulanan kuraklık stresinde, bitkilerin etkilenme süreçleri değerlendirilmiştir. Çalışmada domates fidelerinin dikiminden 10 gün sonra uygulanan 1. kuraklık stresinin 30 gün sonunda kuraklık stresi sonlandırılarak, sulamaya başlanmıştır. Birinci kuraklık stresi sonlandırıldığı tarihte, ikinci gruptaki bitkilere, kuraklık stresi 30 gün uygulandıktan sonra sulama başlatılmıştır. Kuraklık sonucunda, birinci ve ikinci kuraklık gruplarındaki bitkilerde belli seviyelerde gerilemeler görülmüştür. Bulgular incelendiğinde, kuraklık stresi sonucunda, membran zararlanma indeksinin arttığı, yaprak oransal su içeriği, bitki boyu, kök boğazı çapı, meyve eni, meyve boyu, meyve eti sertliği, meyve ağırlığı ve bitki başına verimin azaldığı görülmektedir. Sulama yapıldığında ise belli seviyede, bitki gelişimi ile verim ve kalitenin düzelme eğilimine girdiği görülmüştür. Yapılan çalışma sonucunda, Van iklim koşullarında domates bitkisinin üretim döneminde 30 günlük kuraklığa dayanabildiği ve bu sürenin sonunda sulama yapıldığında, kontrol grubu değerlerine yakın sonuçlar elde edildiği gözlemlenmiştir.

Yazarların Katkı Beyanı

Yazarlar makaleye eşit katkıda bulduklarını, makalenin yayına hazır son

halini gördüklerini/okuduklarını ve onayladıklarını beyan ederler.

Çıkar Çatışması Beyanı

Tüm yazarlar, bu çalışma için herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Finansman

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'nin FYL-2024-10898 proje numarası sağladığı destek için, teşekkür ederiz.

Açıklama

Bu, çalışma ilk yazarın yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

Kaynaklar

Alp, Y., Kabay, T., 2017. Kuraklık stresinin bazı yerli ve ticari domates çeşitlerinde bitki gelişimi üzerine etkileri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 27(3): 387-395.

Altaf, M.A., Shahid, R., Ren, M.X., Naz, S., Altaf, M.M., Khan, L.U., Ahmad, P., 2022. Melatonin improves drought stress tolerance of tomato by modulating plant growth, root architecture, photosynthesis, and antioxidant defense system. *Antioxidants*, 11(2): 309.

Güneri Bağcı, E., 2010. Nohut çeşitlerinde kuraklığa bağlı oksidatif stresin fizyolojik ve biyokimyasal parametrelerle belirlenmesi. Doktora tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi, Ankara.

Kabay, T., 2014. Van Gölü havzası fasulyelerinde kuraklık ve yüksek sıcaklığa toleran ve duyarlı genotiplerin belirlenmesi. Doktora tezi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.

Kabay, T., Şensoy, S., 2016. Kuraklık stresinin bazı fasulye genotiplerinde oluşturduğu enzim, klorofil ve iyon değişimleri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 26(3): 380-395.

Khan, S., Khan, A., Litaf, U., Shah, A.S., Khan M.A., 2015. Effect of drought stress on tomato cv. bombino. *Journal Food Process Technology*, 6(7): 465.

Kuşvuran, S., Yasar, F., Abak, K., Ellialtıoğlu, S., 2008. Tuz stresi altında yetiştirilen tuza toleran ve duyarlı *Cucumis sp.*'nin bazı genotiplerinde lipid peroksidasyonu, klorofil ve iyon miktarlarında meydana gelen değişimler. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 18(1): 13-20.

Kuşvuran, Ş., 2010. Kavunlarda kuraklık ve tuzluluğa toleranslı fizyolojik mekanizmaları arasındaki bağlantılar. Doktora tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Leskovar, D.I., Cantliffe, D.J., 1992. Pepper seedling growth response to drought stress and exogenous abscisic acid. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 117(3): 389-393.

Mohawesh, O., 2016. Utilizing deficit irrigation to enhance growth performance and water-use efficiency of eggplant in arid environments. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 18(1): 265-276.

Ors, S., Ekinci, M., Yildirim, E., Sahin, U., Turan, M., Dursun, A., 2021. Interactive effects of salinity and drought stress on photosynthetic characteristics and physiology of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) seedlings. *South African Journal of Botany*, 137: 335-339.

- Rosa, A.P., Barão, L., Chambel, L., Cruz, C., Santana, M.M., 2023. Early identification of plant drought stress responses: changes in leaf reflectance and plant growth promoting rhizobacteria selection-the case study of tomato plants. *Agronomy*, 13(1): 183.
- Sanchez-Rodriguez, E., Rubio-Wilhelmi, M., Cervilla, L.M., Blasco, B., Rios, J.J., Rosales, M.A., Ruiz, J.M., 2010. Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. *Plant Science*, 178(1): 30-40.
- Sivakumar, R., Srividhya, S., 2016. Impact of drought on flowering, yield and quality parameters in diverse genotypes of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Advances in Horticultural Science*, 30(1): 3-11.
- Yesilova, A., Denizhan, E., 2016. Modeling mite counts using poisson and negative binomial regressions. *Fresenius Environmental Bulletin*, 25(11): 5062-5066.

Atf Şekli: Yanardağ, M.S., Kabay, T., 2025. Farklı Dönemlerde Uygulanan Kuraklığın Domateste Bitki Morfolojik ve Fizyolojik Özellikleri Üzerine Etkisi. *MAS Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 10(1): 32-38. DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15081656>.

To Cite: Yanardağ, M.S., Kabay, T., 2025. Effect of Drought Applied in Different Periods on Plant Morphological and Physiological Characteristics in Tomato. *MAS Journal of Applied Sciences*, 10(1): 32-38. DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15081656>.



Role of Giberellic Acid (GA₃) in Seed Germination and Early Seedling Development in Some Field Crops: A Review

Nilüfer KOÇAK ŞAHİN^{1*}, Onur OKUMUŞ², Ahmet SAY³

¹ Ankara University, Faculty of Agriculture, Department of Field Crops, Ankara

² Erciyes University, Faculty of Agriculture, Department of Field Crops, Kayseri

³ Erciyes University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Biotechnology, Kayseri

*Corresponding author: nkocak@ankara.edu.tr

Received: 18.11.2024

Accepted: 30.12.2024

Abstract

Seed development and germination are of significant importance in life cycle of both monocotyledonous and dicotyledonous seeds. Germination begins with the absorption of water by a dormant seed, and a radicle emerges from the seed coat. The distribution of germination is influenced by environmental factors that regulate dormancy and germination potential, as well as the genetic characteristics of the plant. Abscisic acid (ABA) and gibberellins (GAs) are considered phyto-hormones that regulate and seed dormancy inversely. Uniformity in germination and initial growth are the functions of seeds, which are mainly affected by excessive fertilizer use of fertilizers, wrong cultural practices soil quality. Various seed coating methods, including GA, have been used to reduce salinity and drought in field crops. Many studies establish that GA₃ doses positively affect plant growth and development under various stress factors. This study is expected to summarize GA₃ studies and serve as an example for future research.

Keywords: Gibberellic acid (GA₃), field crops, dormancy, germination

1. Introduction

The survival and spread of plant species depend fundamentally on seed development and germination. The main function of the seed is the protection of embryos with the help of external signals to synchronize for the correct start of life (Bhatla and Lal, 2023). Germination commences when the dormant, desiccated seed absorbs water, culminating in the emergence of the radicle from seed (Okumuş and Kahraman, 2024). Germination is the most important stage of seedling formation plays and an important role in plant production (Kocak Sahin, 2024). The germination is dependent on the interaction between the environmental factors and genetic characteristics of the plant. Seeds produced by plants subjected to low temperatures exhibit elevated dormancy levels, whilst those provided with nitrate demonstrate reduced dormancy. Initially, it optimizes dispersion, thereby reducing competition among resources among the progeny and the parent plants (Carrera–Castaño et al., 2020). Carbohydrates, protein, lipids, and nutrients, which are accessible to the seed embryo via the action of certain enzymes and metabolic pathways must be available to seeds in the pre germination period. For instance, cystatins or phytocystatins, inhibit the activity of cysteine proteinases, and inhibit protein degradation, (Miransari and Smith, 2014). Bassel et al. (2011) have explained the distribution of genes in several sections of seed. Seed dormancy and germination are influenced by the interactive effects of several signals that may induce seed hibernation (Miransari and Smith, 2014). The seed absorbs moisture before seed germination. The process of seed germination is complete when the radicle emerges from the protective seed coverings (Huss and Gierlinger, 2021). Environmental variables govern endogenous components, influencing seed germination (Gong et al., 2022). Hormonal control is essential in this process. It modulates gene expression and signal transductions, among seed plants (Nonogaki, 2014). Moreover, all other categories of phytohormones modulate seed dormancy and germination, presumably by engaging in the

abscisic acid (ABA) or gibberellin (GA₃) mechanism (Shu et al., 2016). Uniformity in germination, along with initial growth and development, constitutes the primary factor influencing plant yield. Gibberellic acid is one of the growth hormone that has a role in seed germination. Previous research indicated that low-temperature stress adversely affected seedling emergence; however, seed treatment with GA₃ significantly enhanced seedling emergence (Chen et al., 2005; Aziz and Peşen, 2020). Gibberellins are diterpenoids that regulate plant development. They, which are frequently utilized in contemporary agriculture, were initially extracted from the metabolic byproducts of the rice pathogenic fungus, *Gibberella fujikuroi*, in 1938 (Yamaguchi, 2008; Santner et al., 2009). Germination is depend on the physiological condition (dormancy) of the seed, which is influenced by the interaction between the plant genotype and several environmental conditions, including temperature, soil moisture, light, and nutrient availability. This is primarily accomplished through the regulation of the metabolism and signaling of gibberellins (GA₃s) and abscisic acid (ABA), two phytohormones that exhibit antagonistic functions. Their spatio-temporal equilibrium is crucial in seed biology, promoting dormancy over germination when the ABA/GA₃ ratio is elevated, and vice versa when it is diminished (Holdsworth et al., 2008). Giberelic acid has been used in field crops to ameliorate the damages of many abiotic stress factors (Okumuş and Kahraman, 2024; Turan and Samur, 2024). This review reports influence of gibberellic acid to induce seed germination.

2. Materials and Methods

The researchers who examined the effects of various doses of GA₃, salts such as NaCl, pure water, and their interactions on various agricultural characteristics of field crops, which are the subject of this review, and the findings of these researchers will be examined in more detail in the following parts, which are summarized in Table 1 and discussed in detail thereafter.

Table 1. Gibberellic acid application on seed germination in some field crops

Plant material	Methods and Findings	Reference
<i>Triticosecale Wittmack</i>	Four doses (0, 100, 200, and 300 mg l ⁻¹) of GA ₃ and (3) doses of salt (NaCl) (50, 100, and 200 mM) were used. The best germination ratio was found at 300 mg l ⁻¹ gibberellic acid + 0 mM (Control) salt combination.	(Altuner et al., 2019)
<i>Cicer arietinum</i>	(5) doses (Namely, 0, 5 µM, 10 µM, 15 µM, and 20 µM GA ₃) were used. Seeds were germinated at 9 °C. Degrees for cold stress and 10 µM increasing final emergence percentage.	(Aziz and Pekşen, 2020)
<i>Sorghum bicolor</i>	Four GA ₃ doses (0, 100, 200, and 300 mg l ⁻¹) were used for 24 hours, and seeds were normally germinated at (0, 2500, 5000, 7500, and 10000 mg l ⁻¹) NaCl doses.	(Yıldırım et al., 2022)
<i>Linum usitatissimum</i>	Seeds were treated with pure water, 500 ppm, 250 ppm, and 100 ppm GA ₃ doses for 12 hours and germinated at 25 °C room temperature. As a result of the study, the best results were obtained from 250 ppm and 500 ppm GA ₃ applications compared to the control group. The results of the study show that gibberellic acid applications generally have a positive effect on germination and seedling growth in flax varieties.	(Çiçek et al., 2022)
<i>Brassica napus</i>	Four different doses (0, 25, 50, and 100 mg l ⁻¹) of GA ₃ were applied to the seeds of 3 rapeseed varieties. It was reported that all traits were increased as the doses of the applications increased, the highest values were determined at the dose of 100 mg l ⁻¹ .	(Gürsoy, 2023)
<i>Helianthus annuus</i>	Its seeds were treated with (GA ₃) and they were pretreated firstly with glycine betaine (GB) (0, 15, 30, and 45 mg l ⁻¹) as biostimulant for 12 hours, and salt and drought stress were applied (4) doses of (NaCl (0, 6, 9 and 12 dS m ⁻¹) and PEG 6000 chemical (0, -0.4, -0.8 and -1.2 Mpa), relatively. It was found that a 30 mg l ⁻¹ GA ₃ dose has an ameliorative effect on salt stress.	(Yağcı, 2023)
<i>Triticum aestivum</i>	In their study, GA ₃ was applied at concentrations of 0, 100 and 200 ppm to reduce the negative effects of salt stress. The results showed that GA ₃ decreased the germination percentage, shootlength and root length significantly increased. It was found that Demirhan cultivar showed more pronounced responses at higher salt stress. They reported that 100 ppm GA ₃ application reduced the negative responses of salt stress.	(Kahraman and Okumuş, 2024)
<i>Hordeum vulgare</i>	In their study, GA ₃ was applied at concentrations of 0, 100 and 200 ppm to reduce the negative effects of salt stress. In their study, GA ₃ was applied at concentrations of 0, 100 and 200 ppm to reduce the negative effects of salt stress. As a result of the study, they reported that 100 ppm GA ₃ dose positively affected the initial growth and development under saline conditions.	(Okumuş and Kahraman, 2024)
<i>Vicia sativa</i>	In their study, GA ₃ was applied at concentrations of 0, 100 and 200 ppm to reduce the negative effects of salt stress. In their study, GA ₃ was applied at concentrations of 0, 100 and 200 ppm to reduce the negative effects of salt stress. As a result of the study, they reported that GA ₃ applications decreased wet and dry weight but increased shoot and root length.	(Okumuş and Yaman, 2024)

3. Results and Discussion

As known, gibberellic acid (or GA₃) is one of the phytohormones that have a major and starter role in all field crops and seed germination processes. Previous research has indicated that low-temperature stress adversely affects seedling emergence (Aziz and Peşen, 2020). Gibberellins are diterpenoids that regulate plant development, and are extracted from rice pathogenic fungus, *Gibberella fujikuroi*, (Yamaguchi, 2008). Paradoxically, germination is due to change in the seed physiological conditions (e.g. dormancy), which is influenced by the interaction between the genotypes and temperature, light, and nutrient(s) soil moisture etc. (Holdsworth et al., 2008). The dormancy related and germination indicated in Arabidopsis mutants showed genes associated with gibberellin (GA) and abscisic acid (ABA) signalling, perception and production, (Carrera-Castaño et al., 2020). Therefore, gibberellic acid has been used in field crops to ameliorate the damages of many abiotic stress factors (Okumuş and Kahraman, 2024). When Table 1 is analyzed, the effects of different field crops on using gibberellic acid in the early period were examined. When the table is examined, 0, 100, 200, and 300 mg l⁻¹ GA₃ were used to reduce salt stress in *Triticosecale Wittmack*. Therefore, the 300 mg l⁻¹ GA₃. GA had a positive effect (Altuner et al., 2019). To reduce cold stress in *Cicer aritenum*, 4 different doses of control, 5 µM, 10 µM, 15 µM, and 20 µM GA₃ were used. They determined that 10 µM GA₃ reduced the negative effect of cold stress (Aziz and Pekşen, 2020). Sorghum bicolor control, 0, 100, 200, and 300 300 mg l⁻¹ GA₃. GA₃ to reduce salt stress. No significant difference was found as a result of the study (Yıldırım et al., 2022). They used 100, 250 and 500 ppm GA (12 h) in *Linum usitatissimum*. As a result of the study, they reported that 250 and 500 ppm GA positively affected plant growth and development (Çiçek et al., 2022). The researchers used GA₃ at 0, 125, 250, 250, 375, and 500 300 mg l⁻¹ GA₃ doses in *Lavandula* spp. Thereafter, they reported that 375 mg l⁻¹ GA₃. GA₃ application positively affected the germination (Cantürk, 2023). *Brassica napus*

was treated with 0, 25, 50, and 100 mg l⁻¹ GA₃. Consequently, they reported that a 100 mg l⁻¹ GA₃ dose had a positive effect (Gürsoy, 2023). *Helianthus annuus* was treated with control 0, 15, 30, and 45 mg l⁻¹ of GA₃. The study was conducted to reduce the negative effects of salt and drought stress. It was reported that a 30 mg l⁻¹ GA₃ dose reduced the negative effect of stress (Yağcı, 2023). *Triticum aestivum*, *Hordeum vulgare* and *Vicia sativa* was treated with control, and 100 and 200 mg l⁻¹ GA were used to reduce salt stress in plants. As a result of the study, they reported that 100 mg l⁻¹ GA dose significantly reduced the negative stress of salt (Okumuş and Yaman, 2024).

4. Conclusion

The study investigated the impact of different GA₃ doses on plant growth and development in field crops, highlighting the potential of GA₃ in reducing stress factors like salinity and drought, and is expected to be a pioneering scientific study.

Declaration of Author Contributions

The authors declare that they have contributed equally to the article. All authors declare that they have seen/read and approved the final version of the article ready for publication.

Declaration of Conflicts of Interest

All authors declare that there is no conflict of interest related to this article.

References

- Altuner, F., Oral, E., Tunçtürk, R., Baran, İ., 2019. Gibberellik asit ön uygulamasına tabi tutulmuş triticale (x *Triticosecale wittmack*)' de tuz (NaCl) stresinin çimlenme üzerine etkisi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 22 (Ek Sayı 2): 235–242.
- Aziz, T., Pekşen, E., 2020. Seed priming with gibberellic acid rescues chickpeas (*Cicer arietinum* L.) from chilling stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 42: 1–10.

- Bassel, G.W., Lan, H., Glaab, E., Gibbs, D.J., Gerjets, T., Krasnogor, N., Bonner, A.J., Holdsworth, M.J., Provart, N.J., 2011. Genome-wide network model capturing seed germination reveals coordinated regulation of plant cellular phase transitions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(23): 9709-9714.
- Bhatla, S.C., Lal, M.A., 2023. Seed Dormancy and Germination. Singapore: Springer Nature Singapore.
- Cantürk, A., 2023. Fotoperiyot, potasyum nitrat ve giberellik asidin lavanta (*Lavandula angustifolia*) tohumlarında dormansinin kırılması ve çimlenme üzerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu.
- Carrera-Castaño, G., Calleja-Cabrera, J., Pernas, M., Gómez, L., Oñate-Sánchez, L., 2020. An updated overview of the regulation of seed germination. *Plants*, 9(6): 703.
- Chen, D., Gunawardena, T., Naidu, B., Fukai, S., Basnayake, J., 2005. Seed treatment with gibberellic acid and glycinebetaine improves seedling emergence and seedling vigour of rice under low temperature. *Seed Science Technology*, 33: 471-479.
- Çiçek, Ş., Yalınkılıç, N.A., Başbağ, S., Bayram, A., 2022. Farklı gibberellik asit konstanstrasyonlarının bazı keten (*Linum usitatissimum* L.) çeşitlerinin çimlenme ve fide gelişimi üzerine etkileri. *Publishing Editors*, 57.
- Gong, D., He, F., Liu, J., Zhang, C., Wang, Y., Tian, S., Sun C., Zhang, X., 2022. Understanding of hormonal regulation in rice seed germination. *Life*, 12(7): 1021.
- Gürsoy, M., 2023. Kolza (*Brassica napus* L.) çeşitlerine uygulanan farklı giberellik asit dozlarının çimlenme ve fide gelişimine etkileri. *12th International Zeugma Conference on Scientific Research*, Kongre Bildiriler Kitabı, p. 264-369.
- Holdsworth, M., Bentsink, L., Soppe, W.J.J., 2008. Molecular networks regulating Arabidopsis seed maturation, after-ripening, dormancy and germination. *New Phytologist*, 179: 33-54.
- Huss, J.C., Gierlinger, N., 2021. Functional packaging of seeds. *New Phytologist*, 230(6): 2154-2163.
- Miransari, M., Smith, D.L., 2014. Plant hormones and seed germination. *Environmental and Experimental Botany*, 99: 110-121.
- Nonogaki, H., 2014. Seed dormancy and germination—Emerging mechanisms and new hypotheses. *Frontiers in Plant Science*, 5: 233.
- Okumuş, O., Kahraman, N.D., 2024. Effect of gibberellic acid on germination and seedling growth of barley under NaCl-induced salinity. *International Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 17(3): 330-337.
- Okumuş, O., Yaman, M., 2024. The effect of the gibberellic acid application on germination characteristics of common vetch (*Vicia sativa* L.) under salt stress. *Current Trends in Natural Sciences*, 13(25): 28-33.
- Şahin, N.K., 2024. Stimulatory effects of different seed priming treatments on germination and early seedling growth of Sugar beet. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 8(4): 1056-1067.
- Santner, A., Calderon-Villalobos, L., Estelle, M., 2009. Plant hormones are versatile chemical regulators of plant growth. *Nature Chemical Biology*, 5: 301-307.
- Shu, K., Liu, X. D., Xie, Q., He, Z.H., 2016. Two faces of one seed: hormonal regulation of dormancy and germination. *Molecular Plant*, 9(1): 34-45.
- Turan, F., Samur, S., 2024. Kolza (*Brassica napus* L.) tohumuna borik asit ve gibberellik asit ön uygulamalarının kuraklık stresine karşı etkisinin incelenmesi. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 8(3):756-765.

Yağcı, E., 2023. Farklı tuz konsantrasyonları ve kuraklık stresi uygulamalarının ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.)'nde çimlenme ve fide gelişimine etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Sakarya.

Yamaguchi, S., 2008. Gibberellin metabolism and its regulation. *Annual Review of Plant Biology*, 59: 225–251.

Yıldırım, C., Başak, M., Aydınoglu, B., 2022. Gibberellik asit (GA₃) uygulamalarının farklı tuz yoğunluklarında sorgum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] tohumlarının çimlenme ve fide gelişimi üzerine etkileri. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 9(3):323–333.

To Cite: Koçak Şahin, N., Okumuş, O., Say, A., 2025. Role of Gibberelic Acid (GA₃) in Seed Germination and Early Seedling Development in Some Field Crops: A Review. *MAS Journal of Applied Sciences*, 10(1): 39-44. DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15082178>.

Taze Soğan (*Allium cepa* L.) Yetiştiriciliğinde Prolin ve Salisilik Asit Uygulamalarının Verim ve Bitki Gelişimi Üzerine Etkileri

Haydar BALCI ^{1*}, Muhsin YILDIZ ¹, Murat KARA ¹

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Gevaş Meslek Yüksek Okulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Van

*Sorumlu yazar (Corresponding author): haydarbalci@yyu.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 20.11.2024

Kabul Tarihi (Accepted): 30.12.2024

Özet

Taze soğan yetiştiriciliğinde salisilik asit (SA) ve prolin (PR) uygulamalarının büyüme ve gelişim üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yapılan bu çalışma, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi'nin ısıtmasız cam serasında tesadüf blokları deneme desenine göre yürütülmüştür. Prolin (50 ppm ve 100 ppm) ile salisilik asit (0.5 mM ve 1.0 mM) ayrı ayrı ve kombinasyon halinde uygulanmıştır. Araştırmada bitki boyu, kök uzunluğu, gövde çapı, yaprak sayısı, toplam yaş ve kuru ağırlık ile SPAD değerleri incelenmiştir. En yüksek bitki boyu (27.26 cm) PR2+SA1 kombinasyonu ile elde edilmiş ve bu sonuç bireysel uygulamalardan üstün çıkmıştır. Kök uzunluğunda PR1 (16.57 cm) ve SA2 (16.03 cm), gövde çapında PR1+SA1 (5.62 mm), yaş ağırlıkta PR2+SA1 (146.67 g) ve PR1 (142.00 g), kuru ağırlıkta ise PR2+SA1 (19.84 g) uygulamaları en yüksek değerleri sağlamıştır. Klorofil içeriğini ifade eden SPAD değerinde ise en yüksek sonuç SA2 (89.73) uygulamasında elde edilmiştir. Bulgular, özellikle PR ve SA kombinasyonlarının taze soğan gelişimini pozitif yönde etkilediğini, verimi artırabileceğini ve optimum doz belirleme çalışmalarının üretici koşullarında devam ettirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Taze soğan, salisilik asit, prolin, büyüme parametreleri

The Effects of Proline and Salicylic Acid Applications on Yield and Plant Growth in Green Onion (*Allium cepa* L.) Cultivation

Abstract

This study was conducted to determine the effects of salicylic acid (SA) and proline (PR) applications on the growth and development of green onions. The experiment was carried out according to a randomized block design in an unheated glass greenhouse at Van Yuzuncu Yil University. Proline (50 ppm and 100 ppm) and salicylic acid (0.5 mM and 1.0 mM) were applied individually and in combination. Plant height, root length, stem diameter, number of leaves, total fresh and dry weight, and SPAD values were examined. The highest plant height (27.26 cm) was obtained with the PR2+SA1 combination, surpassing individual treatments. PR1 (16.57 cm) and SA2 (16.03 cm) yielded the highest root length; PR1+SA1 (5.62 mm) had the greatest stem diameter; PR2+SA1 (146.67 g) and PR1 (142.00 g) provided the highest fresh weight, whereas PR2+SA1 (19.84 g) led to the maximum dry weight. The highest SPAD value (89.73), indicating chlorophyll content, was recorded with SA2 application. The findings reveal that combinations of PR and SA positively influence green onion growth and may increase yield, suggesting further studies on optimal doses under grower conditions are warranted.

Keywords: Green onion, salicylic acid, proline, growth parameters

1. Giriş

Taze soğan (*Allium cepa* L.), dünya genelinde önemli bir sebze türü olup, zengin vitamin, mineral ve antioksidan içeriği sayesinde insan beslenmesinde stratejik bir rol oynamaktadır (Şensoy ve ark., 2001; Griffiths ve ark., 2002; Brewster, 2008). Dünya genelinde yıllık yaklaşık 100 milyon tonluk üretim gerçekleştirilirken, Türkiye 2.2 milyon tonluk üretimiyle bu alanda önemli bir konumda yer almaktadır (FAO, 2023; TÜİK, 2023). Bununla birlikte, artan nüfus, tarımsal alanların azalması ve iklim değişikliğine bağlı çevresel stresler, verimli ve sürdürülebilir üretim yöntemlerinin gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Bitkilerin stres koşullarına karşı dayanıklılığını artıran uygulamalar, soğan gibi stratejik öneme sahip bitkilerde sürdürülebilir verim elde etmek açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda biyostimülanlardan prolin, bitkilerdeki stres toleransını artıran bir amino asit olarak dikkat çekmektedir. Prolin, osmotik düzenleyici olarak görev yaparak bitki hücrelerinin su dengesini korur, serbest radikalleri azaltır ve hücre membranlarını stabilize eder (Ashraf ve Foolad, 2007). Özellikle abiyotik stres koşullarında prolin uygulamalarının bitki büyümesi, verim ve kalite üzerinde olumlu etkileri kanıtlanmıştır (Hayat ve ark., 2012; Szabados ve Savouré, 2010).

Benzer şekilde, salisilik asit (SA) de bitki stres yönetiminde önemli bir role sahiptir. SA, bitkilerin biyotik ve abiyotik streslere karşı savunma mekanizmalarını aktive eden bir sinyal molekülü olarak işlev görür (Khan ve ark., 2015). Çeşitli çalışmalarda, SA uygulamalarının bitki büyümesini ve verimini artırdığı, aynı zamanda stres toleransını geliştirdiği gösterilmiştir (Shah, 2003).

Bu çalışma, salisilik asit ve prolin uygulamalarının taze soğan bitkisinin büyüme ve gelişim parametreleri üzerindeki etkilerini incelemeyi amaçlamaktadır. Farklı doz ve kombinasyonların değerlendirilmesiyle, bu bileşiklerin sinerjik ya da antagonistik etkileşimlerinin belirlenmesi ve tarımsal

üretimdeki potansiyel katkılarının ortaya konması hedeflenmektedir.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışma Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi ısıtmasız cam seralarında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada materyal olarak arpacık soğanı (*Allium cepa* L.) kullanılmıştır. Arpacık soğanları 15 gözlü viyoller içerisine 1/2 oranında perlit/torf yetiştirme ortamlarına ekimleri gerçekleştirildikten sonra Prolin, Salisilik asit ve bunların farklı oranlardaki kombinasyonları aşağıda belirtildiği dozlarda uygulaması gerçekleştirilmiştir. Uygulamalar yapıldıktan sonra arpacık soğanları, standart yetiştirme yöntemleri çerçevesinde büyütülmüştür. Sulama, bitkilerin ihtiyacına göre düzenli olarak gerçekleştirilmiştir.

2.1. Uygulama Grupları

Kontrol grubu

- **K:** Hiçbir uygulama yapılmamış kontrol grubu.

Prolin uygulamaları

- **P1:** 50 ppm Prolin
- **P2:** 100 ppm Prolin

Salisilik asit uygulamaları

- **SA1:** 0.5 mM Salisilik Asit
- **SA2:** 1.0 mM Salisilik Asit

Kombine uygulama

- **P1 + SA1:** 50 ppm Prolin + 0.5 mM Salisilik Asit
- **P1 + SA2:** 50 ppm Prolin + 1.0 mM Salisilik Asit
- **P2 + SA1:** 100 ppm Prolin + 0.5 mM Salisilik Asit
- **P2 + SA2:** 100 ppm Prolin + 1.0 mM Salisilik Asit

Prolin, Salisilik Asit ve bunların kombine uygulamaları arpacık soğanı ekimlerinden sonra yetiştirme ortamlarına sulama suyu ile birlikte uygulaması yapılmıştır. Ayrıca, yetiştirme sürecinde seradaki maksimum sıcaklık 32.8 °C, minimum sıcaklık -7.5 °C, maksimum nem oranı % 84 ve minimum nem oranı ise % 10 olarak kaydedilmiştir.

2.2. Bitki gelişim parametrelerinin ölçümü

Bitkiler, yaklaşık 90 günlük büyüme sürecinin ardından hasat olgunluğuna

ulaştığında, viyoldeki tüm bitkiler değerlendirmeye alınarak bitki boyu (cm), kök uzunluğu (cm), gövde çapı (mm) ve toplam yaş ağırlık (g) ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Yaprak klorofil miktarı ise portatif klorofil metre (SPAD 502; Konica Minolta) kullanılarak belirlenmiş ve her bir tekerrürden rastgele seçilen 5 bitkinin yaprak ölçümlerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

2.3. Deneme tasarımı ve istatistiksel analiz

Deneme, tesadüf blokları deneme desenine göre düzenlenmiş olup, kontrol grubu da dahil olmak üzere toplam 9 farklı uygulama ve 3 tekerrür ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma, 27 viyol ve 405 bitki kullanılarak yürütülmüştür. Elde edilen veriler, STATGRAPHICS 15.1 paket programı ile varyans analizine (ANOVA) tabi tutulmuştur. Uygulamalar arasındaki farklılıkları belirlemek amacıyla tek yönlü varyans analizi (One-way ANOVA) uygulanmış ve istatistiksel anlamlılık, Duncan çoklu karşılaştırma testi ile % 5 önem seviyesinde ($p < 0.05$) değerlendirilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Denemede bitki boyu, kök uzunluğu, gövde çapı, yaprak sayısı, toplam yaş ve kuru ağırlık ile SPAD değeri gibi temel büyüme parametreleri incelenmiş ve farklı uygulamalar arasındaki istatistiksel farklılıklar

değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, salisilik asit ve prolin uygulamalarının taze soğan (*Allium cepa* L.) bitkisinin büyüme ve gelişim parametreleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında bitki boyu, kök uzunluğu, gövde çapı, yaprak sayısı, toplam yaş ve kuru ağırlık ile SPAD değeri gibi temel büyüme kriterleri incelenmiş ve farklı uygulamalar arasındaki istatistiksel farklar belirlenmiştir.

3.1. Bitki boyu

Deneme sonucunda, PR2 + SA1 uygulaması (27.26 cm) en yüksek bitki boyunu vermiş olup (Şekil 2), kontrol grubuna (19.28 cm) kıyasla istatistiki olarak ($p < 0.001$) oldukça önemli bir artış sağlamıştır. Prolin ve salisilik asitin hem bireysel hem de kombinasyon halinde uygulanması, bitki büyümesini teşvik edici bir etki göstermiştir. Prolinin, hücresel ozmotik dengeyi sağlayarak su kaybını minimize ettiği ve hücre bölünmesini destekleyerek bitki boyunu arttırdığı rapor edilmiştir (Ashraf ve Foolad, 2007; Ali ve ark., 2007; Khedr ve ark., 2003). Salisilik asitin ise fotosentezi teşvik ederek büyüme hormonlarının etkinliğini artırdığı rapor edilmiştir (Khan ve ark., 2003). Bu bağlamda, çalışmada elde edilen bulgular, bu iki bileşiğin bitki boyu üzerindeki olumlu etkilerini desteklemektedir.

Tablo 1. Bitki boyu, kök uzunluğu, gövde çapı ve yaprak sayısı ile ilgili veri tablosu.

Table 1. Data table on plant height, root length, stem diameter, and leaf number.

Uygulama grupları	Bitki boyu (cm)	Kök uzunluğu (cm)	Gövde çapı (mm)	Yaprak sayısı (ad)
Kontrol	19.28 ± 0.66 e	14.75 ± 0.65 bcd	5.07 ± 0.16 c	3.38 ± 0.11 b
PR1	23.50 ± 0.63 bc	16.57 ± 0.54 a	5.34 ± 0.13 abc	3.77 ± 0.14 ab
PR2	22.73 ± 0.92 cd	15.66 ± 0.71 abc	5.55 ± 0.15 ab	3.88 ± 0.15 a
SA1	23.76 ± 0.76 bc	14.19 ± 0.60 cd	5.49 ± 0.10 ab	4.16 ± 0.17 a
SA2	25.18 ± 0.78 ab	16.03 ± 0.56 ab	5.51 ± 0.12 ab	3.89 ± 0.12 a
PR1+SA1	20.75 ± 0.88 de	14.98 ± 0.65 abcd	5.62 ± 0.11 a	3.80 ± 0.12 a
PR1+SA2	24.10 ± 0.74 bc	14.88 ± 0.50 bcd	5.21 ± 0.11 bc	3.86 ± 0.15 a
PR2+SA1	27.26 ± 0.76 a	15.07 ± 0.54 abcd	5.28 ± 0.18 abc	3.95 ± 0.13 a
PR2+SA2	24.07 ± 0.73 bc	13.98 ± 0.50 d	5.09 ± 0.14 c	4.02 ± 0.20 a
Toplam	23.44 ± 0.28	15.13 ± 0.20	5.35 ± 0.05	3.86 ± 0.05
P değeri	0.000***	0.0401*	0.0272*	0.0367*

Sütunlardaki harfler $p < 0.05$ anlamlılık düzeyinde Duncan'ın çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermektedir.

3.2. Kök uzunluğu

Denemenin kök uzunluğu sonuçları incelendiğinde (Tablo 1; Şekil 2), PR1 (16.57 cm) ve SA2 (16.03 cm) uygulamalarının en yüksek kök gelişimini sağladığı görülmüştür ($p = 0.0401$). Kök gelişiminin, prolin uygulamalarıyla doğrudan ilişkili olduğu önceki çalışmalarla da bildirilmiştir. Prolin, hücre membranlarını stabilize ederek kuraklık ve tuz gibi stres koşullarında kök gelişimini desteklemektedir (Szabados ve Saviouré, 2010). Salisilik asit ise oksidatif stresin azalmasına katkı sağladığı için kök bölgesinde hücre farklılaşmasını artırarak daha uzun ve daha güçlü kök gelişimini teşvik edebilir (Shah, 2003). Bu doğrultuda, elde edilen bulgular, mevcut literatürle uyum göstermektedir. Ancak PR2 + SA2 grubu (13.98 ± 0.50 cm) en düşük değeri gösterdiği göz önüne alındığında düşük doz prolin uygulamalarının kök gelişimini desteklediğini, ancak yüksek doz kombinasyonlarının baskılayıcı etki yapabileceğini düşündürmektedir.

3.3. Gövde çapı

Gövde çapı bakımından en yüksek değer, PR1 + SA1 (5.62 mm) kombinasyonu ile elde edilmiştir ($p = 0.0272$). Prolin ve salisilik asit, hücre duvarı genişlemesini teşvik ederek gövde çapındaki artışa katkı sağlamaktadır

(Sharma ve ark., 2013). Ancak, bazı uygulamaların gövde çapı üzerindeki etkilerinin kontrol grubuna kıyasla düşük kaldığı görülmektedir. Bu durum, yüksek doz uygulamalarında bazı antagonistik etkileşimlerin ortaya çıkabileceğini göstermektedir (Jayakumar ve ark., 2014).

3.4. Yaprak sayısı

Uygulamalar arasında yaprak sayısı bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gözlenmiştir ($p = 0.0367$). Tabloya göre yaprak sayısı açısından en düşük değer 3.38 ± 0.11 ile kontrol grubunda elde edilmiştir. Diğer tüm uygulamalar, kontrol grubuna kıyasla daha yüksek yaprak sayısı verirken en yüksek yaprak sayısı ise SA1 (4.16 ± 0.17) uygulamasından elde edilmiştir. PR1 uygulaması (3.77 ± 0.14) istatistiksel olarak ab grubunda yer alırken, diğer tüm uygulamalar a grubunda sınıflandırılmıştır. Bu sonuçlar, PR1 dışındaki uygulamaların yaprak sayısını artırmada daha belirgin bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Salisilik asit ve prolin uygulamalarının, yaprak gelişimini teşvik ettiği daha önce yapılan çalışmalarda da belirtilmiştir (Khan ve ark., 2003). Özellikle salisilik asit uygulamalarının, yaprak gelişiminde etkili olduğu görülmektedir. Bu bulgular, salisilik asitin hücre genişlemesi ve yaprak oluşumunu teşvik ettiği yönündeki literatürle uyumludur (Noreen ve ark., 2019).

Tablo 2. Toplam yaş ağırlık, Toplam kuru ağırlık ve SPAD değeri ile ilgili veri tablosu

Table 2. Data table on total fresh weight, total dry weight, and SPAD value

Uygulama Grupları	Toplam yaş ağırlık (gr)	Toplam kuru ağırlık (gr)	SPAD değeri
Kontrol	112.00 ± 18.15	17.85 ± 1.15	82.80 ± 3.53 ab
PR1	142.00 ± 5.29	18.51 ± 1.14	75.20 ± 5.34 bcd
PR2	137.33 ± 1.33	18.66 ± 0.44	66.20 ± 4.16 d
SA1	122.67 ± 3.71	16.67 ± 0.81	72.67 ± 4.66 bcd
SA2	133.33 ± 16.22	17.04 ± 1.44	89.73 ± 3.98 a
PR1+SA1	117.33 ± 16.83	15.77 ± 0.62	78.87 ± 2.52 bc
PR1+SA2	136.00 ± 10.58	18.93 ± 0.21	74.57 ± 0.56 bcd
PR2+SA1	146.67 ± 8.67	19.84 ± 0.52	69.73 ± 2.66 cd
PR2+SA2	143.33 ± 2.91	18.99 ± 0.83	65.53 ± 2.08 d
Toplam	132.30 ± 3.82	18.03 ± 0.34	75.03 ± 1.76
P değeri	0.3514	0.0777	0.0025**

Sütunlardaki harfler $p < 0.05$ anlamlılık düzeyinde Duncan'ın çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermektedir.

3.5. Toplam yaş ağırlık

Deneme sonucunda, PR2 + SA1 (146.67 g) ve PR1 (142.00 g) uygulamaları en yüksek yaş ağırlık değerlerini sağlamıştır. Kontrol grubu (112.00 ± 18.15 gr) ise en düşük değere sahip olmakla birlikte en yüksek grup ile kontrol grubu arasındaki fark %30.9 olarak hesaplanmıştır. Prolin ve salisilik asit uygulamalarının biyokütle artışı üzerindeki olumlu etkileri literatürde de desteklenmektedir (Ashraf ve Foolad, 2007; Noren ve ark., 2019; Hadid ve ark., 2023). Ancak, yaş ağırlık değerleri arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülmektedir (p = 0.3514).

3.6. Toplam kuru ağırlık

En yüksek kuru ağırlık, PR2 + SA1 uygulamasında (19.84 g) elde edilmiştir. Prolinin hücrel metabolizmayı ve karbon asimilasyonunu destekleyerek kuru madde birikimini artırdığı bilinmektedir (Barros ve ark., 2019; Szabados ve Savouré, 2010). Ancak, bazı kombinasyonlarda kuru ağırlığın istatistiksel olarak önemsiz olmasına karşın beklenenin altında kalması, yüksek dozda uygulanan bileşiklerin belirli antagonistik etkileşimler gösterebileceğini düşündürmektedir.

3.7. SPAD değeri (Klorofil İçeriği)

En yüksek SPAD değeri (89.73) SA2 uygulamasında ölçülürken (p = 0.0025) en

düşük SPAD değeri PR2 + SA2 uygulamasından elde edilmiş ve uygulama grupları arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (p = 0,002). Salisilik asit, klorofil sentezini teşvik ederek fotosentez etkinliğini artırmaktadır (Sharma ve ark., 2013). Prolin uygulamalarında ise SPAD değerlerinde nispeten düşüş gözlemlenmiştir, bu durum bazı çalışmalarda aşırı prolin birikiminin klorofil bozulmasına neden olabileceği yönündeki bulgularla uyum göstermektedir (Shah, 2003). Genel olarak ele alacak olursak çalışma sonuçları, prolin ve salisilik asitin taze soğan yetiştiriciliğinde büyümeyi teşvik edebileceğini ve verimi artırabileceğini göstermektedir. Bitki boyu ve kök uzunluğu açısından, prolinin bireysel uygulanması veya salisilik asit ile kombinasyonu olumlu etkilere sahiptir. SPAD değeri açısından, salisilik asit uygulamalarının fotosentezi artırdığı belirlenmiştir. Biyokütle ve kuru madde birikimi bakımından, prolin ve salisilik asit kombinasyonları en iyi sonuçları vermiştir. Ancak, bazı kombinasyonlarda antagonistik etkileşimler gözlenmiş olup, optimum dozların belirlenmesi gerekmektedir. Sonuç olarak, prolin ve salisilik asit uygulamalarının taze soğanın gelişimi üzerindeki etkileri umut verici olmakla birlikte, uygulama dozlarının optimize edilmesi ve farklı yetiştirme koşullarında uzun vadeli denemeler yapılması önerilmektedir.

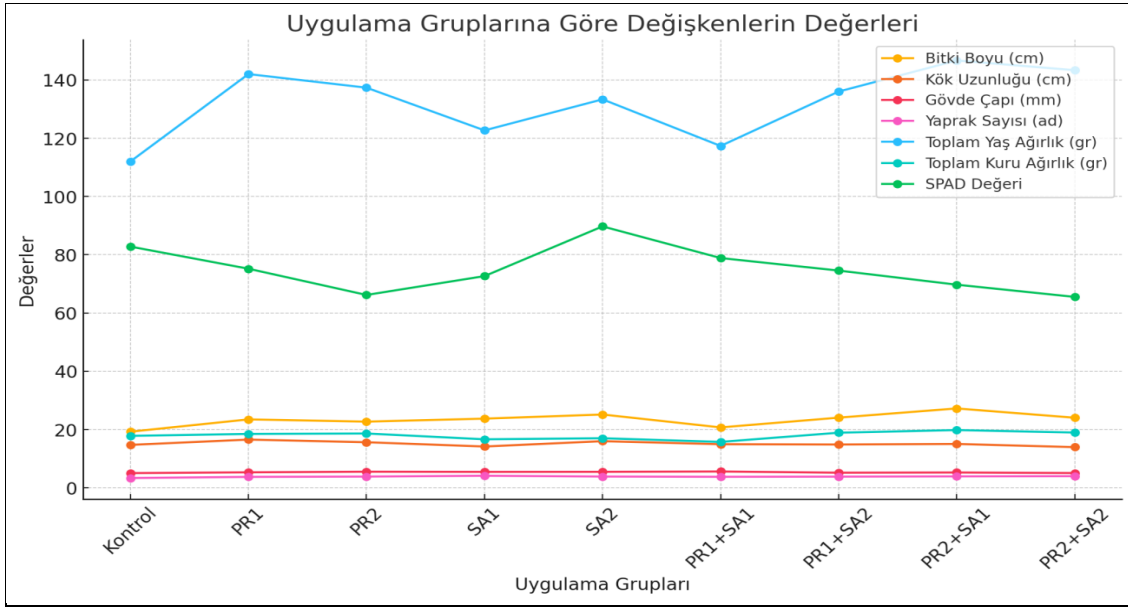
Uygulamalar	Bitki Boyu(cm)	Kök Uzunluğu (cm)	Gövde Çapı (mm)	Yaprak Sayısı (ad)	Toplam Yaş Ağırlık (gr)	Toplam Kuru Ağırlık (gr)	SPAD Değeri
Bitki boyu	1						
Kök uzunluğu	0.12	1					
Gövde çapı	0.03	0.37	1				
Yaprak sayısı	0.68	-0.26	0.35	1			
Toplam yaş ağırlık	0.81	0.27	-0.15	0.48	1		
Toplam kuru ağırlık	0.51	0.04	-0.61	0.03	0.76	1	
SPAD değeri	-0.26	0.36	0.16	-0.48	-0.53	-0.56	1

Şekil 1. İncelenen parametreler arasındaki korelasyon matris tablosu

Figure 2. Correlation matrix of the examined parameters

Korelasyon matrisi analiz tablosu, farklı bitki gelişim parametreleri arasındaki ilişkileri ortaya koymaktadır (Şekil 1). Korelasyon katsayısı (-1 ile 1 arasında değişen değerler), değişkenler arasındaki ilişkinin yönünü ve gücünü göstermektedir. Pozitif korelasyon katsayısı (+1'e yakın) iki değişkenin birlikte artma eğiliminde olduğunu, negatif korelasyon katsayısı (-1'e yakın) ise bir değişken artarken diğerinin azaldığını ifade etmektedir. Parametreler arasındaki korelasyon analizi tablosu incelendiğinde (Şekil 1), bitki boyu ile toplam yaş ağırlık ($r = 0.81$) arasında güçlü ve pozitif yönlü bir korelasyonun olduğu görülmektedir. Bu yüksek pozitif korelasyon, daha uzun bitkilerin genellikle daha fazla biyokütle ürettiğini göstermektedir. Bu durum, bitki büyüklüğünün fotosentez kapasitesini ve dolayısıyla biyokütle arttırması ile

açıklanabilir. Sonuç olarak, bitki boyunu artıran uygulamaların toplam yaş ağırlığı üzerinde de olumlu etkisi olabileceği söylenebilir. Yaprak sayısı ile bitki boyu arasında orta düzeyde pozitif bir korelasyon bulunmaktadır ($r = 0.68$). Bu ilişki, yaprak sayısının artmasının bitkinin genel büyümesini desteklediğini gösterebilir. Daha fazla yaprak, daha yüksek fotosentez kapasitesi anlamına gelebileceği düşünüldüğünde, yaprak sayısını artıran uygulamalar dolaylı olarak bitki boyu büyümesini de destekleyebileceği sonucu çıkarılabilir. Yaprak sayısındaki artışın toplam biyokütleye olumlu katkı sağladığını göstermektedir ($r = 0.48$). Daha fazla yaprak, daha fazla besin üretimi ve büyüme demektir. Yaprak sayısını arttırmaya yönelik uygulamalar, yaş ağırlık kazancına da katkıda bulunabilir.



Şekil 2. Uygulama grupları arasındaki değişkenlerin çizgi grafik olarak gösterilmesi

Figure 2. Line graph representation of variables among treatment groups

Kök büyümesi ile sürgün büyümesi arasındaki düşük korelasyon değeri ($r = 0.12$) güçlü bir bağlantı olmadığını göstermektedir. Kök büyümesini etkileyen faktörler (örneğin su ve besin alımı), bitki boyunu belirleyen faktörlerden farklı olabileceği gibi kök gelişimini artıran uygulamalarda bitki boyunu arttırmayabilir. Gövde çapı ile bitki boyu arasında çok zayıf bir korelasyon bulunduğu görülmektedir ($r = 0.03$). Gövde kalınlaşması ve boy uzaması farklı fizyolojik

mekanizmalara dayanabilir. Boy uzamasına yönelik uygulamalar her zaman gövde çapında artış sağlamayabileceği sonucuna varılabilir. Gövde çapı ile toplam yaş ağırlık negatif yönlü ve çok zayıf bir korelasyonun olduğunu göstermektedir ($r = -0.15$). Daha kalın gövdeye sahip bitkilerin daha düşük yaş ağırlığa sahip olabileceği gibi daha ince bir gövdeye sahip bitkilerinde daha ağır bir biyokütleye sahip olabileceğini düşünebilir. Korelasyon matrisi tablosu genel olarak incelendiğinde bitki boyu,

yaprak sayısı ve toplam yaş ağırlık arasında güçlü pozitif ilişkiler bulunmuştur. Bu, bitki boyunu artıran uygulamaların aynı zamanda yaprak gelişimini ve toplam biyokütleyi de desteklediğini göstermektedir. Kök uzunluğu ile bitki boyu arasındaki ilişki zayıftır, bu da bu iki büyüme faktörünün farklı dinamiklere sahip olabileceğini düşündürmektedir. Gövde çapı ile yaş ağırlık arasında negatif bir ilişki olması, büyümenin biyokütle veya yapısal destek yönünde şekillenebileceğini göstermektedir. Bu bulgular, bitki gelişimini artırmak amacıyla uygulanan farklı stratejilerin (örneğin gübreleme, biyostimülanlar veya stres azaltıcı bileşikler) etkisini değerlendirirken dikkate alınmalıdır. Korelasyon sonuçları doğrultusunda, bitkilerin optimum gelişimini sağlamak için farklı büyüme parametreleri arasındaki ilişkilerin daha ayrıntılı bir şekilde analiz edilmesi önerilmektedir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, prolin (PR) ve salisilik asit (SA) uygulamalarının taze soğan (*Allium cepa* L.) yetiştiriciliğinde büyüme ve verim parametreleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Elde edilen bulgular, farklı dozlarda uygulanan PR ve SA'nın, bitki gelişimi ve verimi üzerinde önemli değişikliklere yol açtığını göstermiştir. Bitki boyu açısından, PR2 + SA1 uygulaması (27.26 cm) ile en yüksek değer elde edilmiştir. Bu kombinasyon, kontrol grubuna kıyasla belirgin bir büyüme sağlamış ve PR ile SA'nın sinerjik etkisini göstermiştir. Kök uzunluğu bakımından PR1 (16.57 cm) ve SA2 (16.03 cm) uygulamaları en iyi sonuçları vermiştir. Bu durum, prolinin kök gelişimini destekleyen ozmotik düzenleyici rolünü ve salisilik asitin hücre bölünmesini teşvik edici etkisini ortaya koymaktadır. Gövde çapında en yüksek değer PR1 + SA1 (5.62 mm) kombinasyonu ile elde edilmiş, yaprak sayısı açısından ise SA1 uygulaması öne çıkmıştır. Verim parametreleri değerlendirildiğinde, toplam yaş ağırlık bakımından PR2 + SA1 (146.67 g) ve PR1 (142.00 g) uygulamaları en yüksek biyokütle artışını sağlamıştır. Ancak yaş ağırlık değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

Kuru ağırlık açısından en yüksek değer PR2 + SA1 (19.84 g) uygulaması ile elde edilmiştir, bu da bu kombinasyonun karbon asimilasyonunu ve kuru madde birikimini teşvik ettiğini göstermektedir. SPAD değeri (klorofil içeriği) bakımından en yüksek değer SA2 (89.73) uygulamasında ölçülmüş, bu durum salisilik asitin fotosentez etkinliğini artırıcı potansiyelini ortaya koymaktadır. Ancak bazı kombinasyon uygulamalarında (örneğin PR2 + SA2), SPAD değerinde düşüş gözlenmiş, bu da bileşikler arasındaki olası antagonistik etkileşimlere işaret etmektedir. Genel olarak, bu araştırma sonuçları prolin ve salisilik asit uygulamalarının taze soğan yetiştiriciliğinde büyüme ve verim üzerine olumlu etkiler sağladığını göstermektedir. Bununla birlikte, bazı kombinasyon gruplarında büyüme parametreleri üzerinde baskılayıcı etkiler de gözlemlenmiştir. Bu durum, uygulama dozlarının optimize edilmesi gerektiğini ve her iki bileşiğin farklı yetiştirme koşulları altında sinerjik veya antagonistik etkileşim gösterebileceğini düşündürmektedir. Araştırma bulgularına dayanarak, prolin ve salisilik asit kombinasyonlarının optimum dozlarının belirlenmesi ve uygulamaların bitki gelişimini en verimli şekilde destekleyecek şekilde yeniden düzenlenmesi önerilmektedir. Ayrıca, uzun vadeli etkilerin belirlenebilmesi için açık saha koşullarında ek denemeler yapılması önem arz etmektedir. Gelecekteki çalışmalarda, bu bileşiklerin fotosentez performansı, su kullanma verimliliği ve antioksidan sistemler üzerindeki etkilerinin detaylı olarak incelenmesi, taze soğan yetiştiriciliğinde daha etkili yönetim stratejileri geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

Yazarların Katkı Beyanı

Yazarlar makaleye eşit katkıda bulduklarını, makalenin yayına hazır son halini gördüklerini/okuduklarını ve onayladıklarını beyan ederler.

Çıkar Çatışması Beyanı

Tüm yazarlar, bu çalışma için herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Kaynaklar

- Ali, Q., Ashraf, M., Shahbaz, M., 2007. Amelioration of salt stress in maize (*Zea mays* L.) by exogenous proline application: Growth and photosynthesis. *Pakistan Journal of Botany*, 39(3), 577–587.
- Ashraf, M., Foolad, M.R., 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59(2): 206-216.
- Barros, J., Silva, A., Fernandes, L., 2019. Effects of salicylic acid and silicon applications on water use efficiency in cotton plants. *Journal of Plant Physiology*, 234: 14–22.
- Brewster, J. L., 2008. Onions and Other Vegetable Alliums. CABI.
- FAO, 2023. Food and Agriculture Organization Statistical Database. (<http://www.fao.org>) (Accessed: 10.09.2024).
- Griffiths, G., Trueman, L., Crowther, T., Thomas, B., Smith, B., 2002. Onions a global benefit to health. *Phytotherapy Research*, 16(7): 603-615.
- Hadid, M.L., Ramadan, K.M., El-Beltagi, H. S., Ramadan, A.A., El-Metwally, I.M., Shalaby, T.A., Saudy, H.S., 2023. Modulating the antioxidant defense systems and nutrients content by proline for higher yielding of wheat under water deficit. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 51(3): 13291.
- Hayat, S., Hayat, Q., Alyemini, M.N., Wani, A.S., Pichtel, J., Ahmad, A., 2012. Role of proline under changing environments: A review. *Plant Signaling & Behavior*, 7(11): 1456-1466.
- Jayakumar, K., Jaleel, C.A., Azooz, M.M., Panneerselvam, R., 2014. Impact of salicylic acid on plant growth and development. *Environmental and Experimental Botany*, 90: 20–25.
- Khan, M.I.R., Fatma, M., Per, T.S., Anjum, N.A., Khan, N.A., 2015. Salicylic acid-induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants. *Frontiers in Plant Science*, 6: 462.
- Khan, W., Prithiviraj, B., Smith, D. L., 2003. Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. *Journal of Plant Physiology*, 160(5): 485–492.
- Khedr, A.H.A., Abbas, M.A., Wahid, A.A.A., Quick, W.P., Abogadallah, G.M., 2003. Proline induces the expression of salt stress responsive proteins and may improve the adaptation of *Pancreaticum maritimum* L. to salt stress. *Journal of Experimental Botany*, 54(392): 2553–2562.
- Noreen, S., Faiz, S., Akhter, M. S., Shah, K. H., 2019. Influence of osmoprotectants to ameliorate salt stress in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Sarhad Journal of Agriculture*, 35(4): 1316–1325.
- Shah, J., 2003. The salicylic acid loop in plant defense. *Current Opinion in Plant Biology*, 6(4): 365-371.
- Sharma, P., Jha, A.B., Dubey, R.S., Pessarakli, M., 2012. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *Journal of Botany*, 1-26.
- Szabados, L., Savouré, A., 2010. Proline: a multifunctional amino acid. *Trends in Plant Science*, 15(2): 89-97.
- Şensoy, S., Türkmen, Ö., Kabay, T., 2001. Değişik arpacık iriliği dikim sıklığı ve derinliklerinin Van koşullarında ısıtmasız cam serada yetiştirilen yeşil soğan verimi üzerine etkileri. 6. *Ulusal Seracılık Sempozyumu*, Muğla, Turkey, s.155-159.
- TÜİK, 2023. Türkiye İstatistik Kurumu Tarım Verileri (<https://www.tuik.gov.tr>) (Erişim tarihi: 10.09.2024)

Atıf Şekli: Balcı, H., Yıldız, M., Kara, M., 2025. Taze Soğan (*Allium cepa* L.) Yetiştiriciliğinde Prolin ve Salisilik Asit Uygulamalarının Verim ve Bitki Gelişimi Üzerine Etkileri. *MAS Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 10(1): 45-53. DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15082920>.

To Cite: Balcı, H., Yıldız, M., Kara, M., 2025. The Effects of Proline and Salicylic Acid Applications on Yield and Plant Growth in Green Onion (*Allium cepa* L.) Cultivation. *MAS Journal of Applied Sciences*, 10(1): 45-53. DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15082920>.

Moringa oleifera ve *Moringa stenopetala*'nın Mısır (*Zea mays* L.) ile Farklı Oranlarda Karışımlarında Silaj Kalite Özellikleri

Hager Gamal Maher MOHAMED ^{1*}, Gülcan DEMİROĞLU TOPÇU ²

¹ Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, İzmir

² Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, İzmir

*Sorumlu yazar (Corresponding author): hager51825037@gmail.com

Geliş Tarihi (Received): 02.01.2025

Kabul Tarihi (Accepted): 25.02.2025

Özet

Araştırma iki farklı *Moringa* türü (*Moringa oleifera* ve *Moringa stenopetala*) ile Mısır (*Zea mays* L.)'in farklı oranlarda karıştırılarak bazı silaj özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yürütülmüştür. Araştırmada, *Moringa* türleri ile mısır %100-0, %75-25, %50-50, %25-75 ve %0-100 oranlarında karıştırılmış silolama dönemi sonunda (60. gün) açılan silajların silaj fiziksel özellikleri (renk, koku, strüktür ve DLG puanı), kuru madde oranı (%), ADF (%), NDF (%) ve pH değerleri belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre; *Moringa oleifera* ve *Moringa stenopetala*'nın saf ve mısır ile farklı oranlarda silolanması sonucu elde edilen silajların bazı silaj fiziksel özellikleri ile silaj kalitesi ve beslenme değeri açısından yeterli olduğu görülmektedir. Ele alınan *Moringa* türleri incelendiğinde %100 *Moringa* ve %25 *Moringa* + %75 Mısır karışımlarının silaj kalitesinin arttığı, yeterli bir silaj olarak ensile edilebileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Moringa*, mısır, silaj, karışım, kalite

Silage Quality Characteristics in Mixtures of *Moringa oleifera* and *Moringa stenopetala* with Maize (*Zea mays* L.) at Different Ratios

Abstract

In this study, the aim was to determine some silage characteristics by mixing two different *Moringa* species (*Moringa oleifera* and *Moringa stenopetala*) with maize (*Zea mays* L.) in different ratios. In the study, the *Moringa* species were mixed with maize in the ratios of 100-0%, 75-25%, 50-50%, 25-75%, and 0-100% and ensiled with 4 replications. At the end of the ensiling period (60 days), the silages were opened, and their physical characteristics (color, smell, structure, and DLG score), dry matter content (%), ADF (%), NDF (%) and pH. According to the results of the study, it was observed that the silages obtained by ensiling *Moringa oleifera* and *Moringa stenopetala*, either alone or in different ratios with maize, were sufficient in terms of some silage physical characteristics, silage quality, and nutritional value. When the *Moringa* species were examined, it was determined that the silage quality of 100% *Moringa* and 25% *Moringa* + 75% Maize mixtures increased and could be ensiled as a sufficient silage.

Keywords: *Moringa*, maize, silage, mixture, quality

1. Giriş

Moringa bitkisi (*Moringa oleifera* L.) söz konusu yeni yem kaynaklarından biridir. Bu ağaç bitkisi hem tropikal hem de subtropikal iklimlerde yetişmekte olup Güney Amerika, Asya ve Afrika'nın farklı iklim bölgelerinde yaygınlık göstermiştir. Bitkinin özellikle kuraklığa dayanıklı olması, her çeşit toprakta yetişebilmesi ve polifenolik bileşiklerce zengin yapısı nedeniyle Türkiye'nin Akdeniz iklim kuşağındaki bölgelerinde yetiştiriciliği son yıllarda yaygınlaşmaya başlamış ve İzmir Bornova deneme tarlalarında yetiştiriciliği yapılmaya başlanmış ve farklı deneme faktörleri ile ilgili çalışmalar yapılarak ümitvar sonuçlar elde edilmiştir. Ancak Türkiye'de, dünyanın birçok ülkesinde yaygın olarak bitkinin özellikle hayvancılıkta yem olarak kullanılmasına ilişkin yem değerini belirleyen sınırlı çalışmalar bulunmakta olup özellikle Moringa bitkisinin silolanabilirliğini belirleyen sınırlı çalışmaya rastlanılmıştır. Moringaceae familyası, gıda, kozmetik yağ, su arıtma ve çiftlik hayvanları için yem olarak kullanılan dikotiledon tropikal ve subtropikal çiçekli ağaçlardır (Berushka ve Himansu, 2012). Ağacın çeşitli parçaları, birçok terapötik kullanımı, farmakolojik aktiviteleri ve aktif tıbbi bileşenleri içerir. Moringaceae familyasında yaklaşık 33 tür vardır, ancak sadece on üç tür bu 33 türden eski dünya tropiklerindedir (Mabberley, 1987). Moringaceae familyasının on üç türü dikotiledon tropikal ve subtropikal çiçekli ağaçlardır.

Moringa ağaçlarının boyu 5-15 metre arasındadır ve çoğunlukla tropikal ve subtropikal alanlarda yaprak dökme görülmemektedir. Kullanımı ve yapısı antik çağlardan sonra bilinmektedir (Fuglie, 1999). Moringa türlerinin, tohumları, yaprakları, boyu, bakla şekli ve boyutu, içerdiği bileşikler ve kullanım şekilleri bakımından farklılık göstermektedir (Habtemariam, 2019). *Moringa oleifera*, yoğun yağ içeren küçük tohumlara sahip ve özellikle Asya'da kozmetikte yaygın olarak kullanılır (Mahmood ve ark., 2010). *Moringa stenopetala*, *Moringa oleifera*'dan farklı olarak önemli ölçüde daha

büyük tohumlara sahiptir ve çoğunlukla Afrika kıtasında su arıtma için kullanılır (Boukandoul ve ark., 2018). Etiyopya'da geleneksel bir tür olan *Moringa stenopetala* ile ilgili *Moringa oleifera*'nın aksine bilimsel olarak araştırmaların daha sınırlı olduğu bilinmektedir.

Moringa oleifera yaprağının kuru madde bazında ham protein içeriği %23.0 ile %30.3 arasında, toplam ham lif içeriği %5.9 kadar düşüktür, ham kül içeriği %12.0'ye kadar çıkabilir ve yaklaşık %7.09 lipid içerir (Wu ve ark., 2013). *Moringa oleifera* yaprağı, hayvanların büyümesi ve gelişimi için gerekli olan çinko, kalsiyum, demir, potasyum, fosfor ve diğer mineral elementlerden zengindir (Teixeira ve ark., 2014). Ayrıca, *Moringa oleifera* beş temel amino asit içerir (Saint Sauveur ve Broin, 2010). Özellikle, *Moringa oleifera* yaprağında yağ asitlerinin yarısından fazlası (%57) doymamış yağ asitleridir ve bu yağ asitlerinin en yüksek içeriği α -linolenik asittir (Moyo ve ark., 2011). *Moringa oleifera* yaprakları, protein ve mineral metabolizmasını etkileyen tanenler, fenoller, nitratlar, oksalatlar, saponinler ve fitatlar içerir (Makkar ve Becker, 1997; Moreki ve Gabanakgosi, 2014). Ayrıca, monogastriklerde şişkinlik oluşturan rafinoz ve stakioz gibi şekerler de bulunur (Makkar ve Becker, 1997). Silaj yapımında yemdeki ham protein oranını yükseltmenin farklı yöntemleri bulunmaktadır. Bunlardan biri buğdaygil ve baklagil yem bitkileri aynı tarlada birlikte yetiştirerek silaj yapmak, diğeri de bu bitkileri farklı tarlalarda yetiştirip silaj yapımı esnasında silo yerinde birbirleriyle karıştırmaktır (Durul, 2016; Güre, 2016). Asaolu ve ark. (2015), *Moringa (Moringa oleifera)*, Guinea otu (*Panicum maximum*) ve buğday kepeğini farklı oranlarda karıştırdıkları çalışmada (%100 *Moringa oleifera*, %50 *Moringa oleifera* + %50 buğday kepeği, %50 *Moringa oleifera* + %50 *Panicum maximum*, %50 *Moringa oleifera* + %40 *Panicum maximum* + %10 buğday kepeği, %50 *Moringa oleifera* + %30 *Panicum maximum* + %20 buğday kepeği, %50 *Moringa oleifera* + %20 *Panicum maximum* + %30 buğday kepeği, %50 *Moringa oleifera* + %20 *Panicum maximum* + %30 buğday

kepeği) silolanmıştır. Fermantasyondan sonra açılan silajlarda en yüksek pH değeri (6.40) ile %100 *Moringa oleifera*'da elde edilmiştir. Karışımlarda *Panicum maximum* oranı arttıça pH değerinde düşüş gözlenmiştir. Araştırıcılar, yüksek protein oranına sahip *Moringa oleifera*'nın %50 *Moringa oleifera* + %10-30 *Panicum maximum* ve %20-40 buğday kepeğinden oluşan silaj karışımlarının büyük potansiyel gösterdiği ortaya çıkmıştır.

Çalışmada *Moringa oleifera* ve *Moringa stenopetala*'nın mısır ile farklı oranlarda karışım silajlarının fiziksel ve bazı yem kalite değerlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Araştırma, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü deneme alanı ve Tarla Bitkileri Bölümü ayır Mera ve Yem Bitkileri Bilim Dalı Laboratuvarlarında 2023-2024 yetiştirme döneminde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, bitkisel materyal olarak *Moringa oleifera* L. PKM1 eşidi ve *Moringa stenopetala* ile bölgede yetiştiriciliği yaygın olarak yapılan Mısır bitkisi materyal olarak kullanılmıştır. Denemede *Moringa oleifera* ve *Moringa stenopetala* bitkilerinin tohumu Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bornova deneme alanına 7 Haziran 2023 tarihinde ekilmiştir. Deneme alanının toprak özelliklerini belirlemek amacıyla, açılan profilin (Kacar, 1986) 0-20 cm ile 20-40 cm derinliklerinden alınan toprak örnekleri incelenmiştir. Tarla 20-25 santimetre derinliğinde pullukla sürülmüş ve freze çekilerek ekime hazır hale getirilmiştir. Yapılan imlendirme testlerinin sonuçlarına göre denemede kullanılacak tohum miktarı belirlenerek 40 cm sıra arası *Moringa oleifera* ve *Moringa stenopetala* markr ile açılan sıralara sıcaklık ve toprak koşullarının uygun olduğu 7 Haziran 2023 tarihinde ekim işlemi elle yapılmıştır. Ekimden hemen sonra tohumların üstü toprakla kapatılmış ve sulama işlemi yapılmıştır.

Ekimle birlikte her parselde eşit olmak üzere Triple Süper Fosfat (%43 P₂O₅) gübresinden dekara saf olarak 5 kg hesap edilerek uygulanmıştır (Kuşvuran ve Tansı, 2005). *Moringa oleifera* ve *Moringa stenopetala* bitkileri yaklaşık 1.5 metreye ulaştığında bitkiler topraktan 10 cm yükseklikten bağ makası kullanılarak el ile hasat yapılmıştır. Tarlada ekimi yapılmış olan Mısır ise silaj hamur olum döneminde tüm deneme materyali bitkileri 14 Eylül 2023 tarihinde hasat edilmişlerdir. Mısır, *Moringa oleifera* ve *Moringa stenopetala* silaj karışımlarının hazırlanmasında bitkiler hasat edildikten sonra laboratuvar tipi silaj parçalama makinesinde 1.5-2.0 cm boyutlarında parçalama işlemi yapılmıştır. Tüm bitkiler %100, %75:25, %50:50 ve %25:75 oranlarında karıştırılarak silolanmıştır. Her bir silaj için belirlenen oranlarda tartılan taze materyaller geniş bir plastik kaba konularak elle homojen bir şekilde karıştırılıp ardından 0.1 mPa vakum seviyesinde ve 50 sn vakum emiş sresinde 1 kg'lık polietilen plastik torbalara silolama yapılmıştır. Silajlar 60 gün boyunca karanlık ve 24 C'lik ortamda tutulmuştur. Silajların fiziksel bazı yem kalite analizlerine 60. günde açılan silajlarda örneklemelere başlanılmıştır.

2.1. Silaj fiziksel zellikleri

Silaj rnekleri 25x25 cm boyutlarında 6-7 cm derinliğinde kaplara konularak 11 hakem tarafından silaj renk, koku, strüktür ve DLG değerlendirilmiştir. Açılan silajlardan alınan 25 gram silaj örneğinin üzerine 200 ml saf su ilave edilip, 10 dakika çalkalanmış ve daha sonra filtre kağıtlardan szlp cam bardaklara alınıp szkteki sıvının pH'sı pH-metre yardımı ile ölçülmüştür (Anonim, 1993). Kuru madde oranı (%):silajı yapılan *Moringa* ve mısır yalın ve karışımlarına ait örneklerinin 105 C'de 24 saat süreyle etüvde kurutulması ile oranlanarak kuru madde oranı hesaplanmıştır (Bulgurlu ve Ergl, 1978). Nötral Deterjan Lif (NDF) Oranı (%) ve Asit Deterjan Lif (ADF) Oranı (%) Van Soest ve ark., (1991)' göre bulunmuştur.

Tablo 1. Silaj karışım oranları**Table 1.** Silage mixing ratios

Silaj örnekleri	Karışım oranları
1	%100 <i>Moringa oleifera</i>
2	%100 <i>Moringa stenopetala</i>
3	%100 Mısır
4	%75 <i>Moringa oleifera</i> + %25 Mısır
5	%50 <i>Moringa oleifera</i> + %50 Mısır
6	%25 <i>Moringa oleifera</i> + %75 Mısır
7	%75 <i>Moringa stenopetala</i> + %25 Mısır
8	%50 <i>Moringa stenopetala</i> + %50 Mısır
9	%25 <i>Moringa stenopetala</i> + %75 Mısır

2.2. Verilerin istatistiki değerlendirilmesi

Denemeden elde edilen sonuçlar TARİST istatistik değerlendirme programı kullanılarak Tesadüf parselleri deneme desenine göre analiz edilmiş, ortalamalar Tukey çoklu karşılaştırma testi ile karşılaştırılmıştır (Açıkgöz ve ark., 2004).

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Silajların fiziksel özellikleri

3.1.1. Renk, koku, strüktür ve DLG puanı

Moringa türlerine farklı oranlarda ilave edilen Mısırın silajın fiziksel özelliklerine etkisine ait değerler Tablo 2’de verilmiştir. Nitelik sınıfı derecelendirmesine göre silajın renk, koku ve strüktür puan değerleri ve DLG puanı sınıflandırılması yapılmıştır (DLG, 1987).

Tablo 2. *Moringa* türlerine farklı oranlarda ilave edilen mısırın silaj fiziksel özelliklerine etkisi**Table 2.** Effect of corn added to *Moringa* species at different rates on silage physical properties

Silaj Karışımı	Renk	Koku	Strüktür	DLG puanı	Kalite Sınıfı
%100 Mo	1.5	14.0	4.0	19.5	Pekiyi
%100 Mısır	2.0	14.0	4.0	20	Pekiyi
%75 Mo+%25 Mısır	2.0	14.0	4.0	20	Pekiyi
%50 Mo+%50 Mısır	2.0	14.0	4.0	20	Pekiyi
%25 Mo+%75 Mısır	2.0	14.0	4.0	20	Pekiyi
Ortalama	2.0	14.0	4.0	20	Pekiyi
%100 Ms	1.5	14.0	4.0	19.5	Pekiyi
%100 Mısır	2.0	14.0	4.0	20	Pekiyi
%75 Ms+%25 Mısır	2.0	14.0	4.0	20	Pekiyi
%50 Ms+%50 Mısır	2.0	14.0	4.0	20	Pekiyi
%25 Ms+%75 Mısır	2.0	14.0	4.0	20	Pekiyi
Ortalama	2.0	14.0	4.0	20	Pekiyi

Mo: *Moringa oleifera*, Ms: *Moringa stenopetala*

Saf *Moringa oleifera* ve *Moringa stenopetala* türlerinin silajlarında renk değerlerinin 1.5 puan, mısır ve farklı oranlarda mısır karışımlarının silajlarının renk açısından 2.0 tam puana ulaştıkları belirlenmiştir. Koku değerlerinin en yüksek değer 14.0 puana,

strüktür değerlerinin ise 4.0 tam puan aldıkları bulunmuştur.

Moringa oleifera ve *Moringa stenopetala* türlerinin yalın ve Mısır ile farklı oranlarda karışımlarından elde edilen silaj örnekleri DLG puanı açısından değerlendirildiğinde; %100 Mo ve %100 Ms 19.5 puan ve diğer tüm

gruplarda toplam 20.0 puan aldıkları belirlenmiş ve “Pekiye” sınıfında değerlendirilmiştir. Yalın silajların karışımlara

kıyasla kalite açısından düşük bir avantaj sağladığını göstermektedir.

Tablo 3. Farklı oranlarda *Moringa oleifera*, *Moringa stenopetala* ve mısır’dan elde edilen silajların kuru madde oranı, ADF, NDF ve pH değerleri

Table 3. Dry matter ratio, ADF, NDF and pH of silages obtained from different proportions of *Moringa oleifera*, *Moringa stenopetala* and corn

Silaj Grubu	Kuru madde oranı (%)	ADF (%)	NDF (%)	pH
100 Mo	28.45b	39.80c	55.60d	4.25a
100 Mısır	30.28a	30.56e	58.00c	3.96b
75 Mo+25 Mısır	27.73b	39.03d	55.23e	4.22a
50 Mo+50 Mısır	26.30c	41.24b	60.57b	3.92b
25 Mo+75 Mısır	25.62c	42.00a	64.70a	3.99b
Ortalama	27.68	38.73	58.82	4.07
LSD (% 1)	0.783**	0.525**	0.569**	0.101**
100 Ms	27.95bc	40.22b	56.00d	4.30a
100 Mısır	30.28a	30.56d	58.00c	3.96b
75 Ms+25 Mısır	28.53b	38.96c	58.30c	4.22a
50 Ms+50 Mısır	27.57c	41.43a	60.51b	3.93b
25 Ms+75 Mısır	26.59d	41.34a	65.96a	3.86b
Ortalama	28.18	38.50	59.75	4.05
LSD (% 1)	0.701**	0.740**	0.891**	0.195**

Mo: *Moringa oleifera*, Ms: *Moringa stenopetala*

Farklı oranlarda *Moringa* ve mısırdan elde edilen silajların kuru madde oranları arasındaki farkların istatistiki olarak önemli ($P<0.01$) olduğu belirlenmiştir (Tablo 3). En yüksek kuru madde oranı kontrol (%100) mısır silajında (%30.28), en düşük kuru madde oranı %25 *Moringa oleifera* + %75 Mısır (%25.62) silajlarında belirlenmiştir. Heuze ve ark. (2017) kuru madde oranı arttıkça ham protein ve sindirilebilirlik oranlarının düştüğünü bildirmiştir. İleri ve ark. (2022) da düşük karbonhidrat koşullarında silaj fermantasyonunun geciktiğini ve kalitenin düştüğünü belirtmiştir. Panyasak ve Tumwasorn (2013), kaliteli silajın %25 ile %40 arasında kuru madde içermesi gerektiğini belirtmiştir. Silajın %40’tan fazla kuru madde içermesi, yüksek selüloz ve hemiselüloz içermesi nedeniyle yeminin lezzetini azaltır. Asaolu ve ark. (2015)’ün çalışmasında %100 *Moringa oleifera* silajının kuru madde oranını %31.89 olarak bildirmişlerdir. Odeyinka ve ark. (2021) %27.82 kuru madde oranı, Wang ve ark. (2018) %24.8, Wang ve ark. (2019)

%23.3 ve He ve ark. (2020) %100 *Moringa oleifera* silajının kuru madde oranını %25.2 olarak belirlemişlerdir. Yürütülen çalışmada da silaj kuru madde oranlarının araştırmacıların belirtmiş olduğu aralıklarda olduğu bulunmuştur. Farklı oranlarda *Moringa oleifera* ve mısırdan elde edilen silajların ADF içerikleri arasındaki farkların istatistiki olarak önemli ($P<0.01$) olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3). En yüksek ADF oranı %25 *Moringa oleifera* + %75 Mısır silajında (%42.00) en düşük ADF oranı ise %100 mısır silajında (%30.56) belirlenmiştir. Genel olarak farklı oranlarda *Moringa oleifera* ve *Moringa stenopetala*’nın karışımlara ilave edilmesi ile artan oranlara paralel olarak elde edilen silajlarda ADF değerlerinde düşüşler gözlenmiştir. Farklı oranlarda *Moringa stenopetala* ve mısırdan elde edilen silajların ADF içerikleri arasındaki farkların istatistiki olarak önemli ($P<0.01$) olduğu görülmektedir. En yüksek ADF oranı %50 *Moringa stenopetala* + 50 Mısır ve %25 *Moringa stenopetala* + %75 Mısır içeren silajlarda

(%41.43 ve %41.34), en düşük ADF oranı ise %100 Mısır silajında (%30.56) belirlenmiştir. Bu farklılıkların farklı ekolojik koşullar ve farklı silaj uygulama tekniklerinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir (Asaolu ve ark., 2015; Sanchez ve ark., 2016; Zeng ve ark., 2018; Wang ve ark., 2018-2019; Odeyinka ve ark., 2021). Farklı oranlarda *Moringa oleifera* ve mısırdan elde edilen silajların NDF içerikleri arasındaki farkların istatistiki olarak önemli ($P<0.01$) olduğu bulunmuştur (Tablo 3). En yüksek NDF oranı %25 *Moringa oleifera* + %75 Mısır içeren silajlarda (%64.70) en düşük NDF oranı ise %100 *Moringa oleifera* ve %75 *Moringa oleifera* + %25 Mısır (%55.60 ve %55.23) içeren silajlarda belirlenmiştir. Farklı oranlarda *Moringa stenopetala* ve mısırdan elde edilen silajların NDF içerikleri arasındaki farkların istatistiki olarak önemli ($P<0.01$) olduğu görülmektedir (Tablo 3). En yüksek NDF oranı %25 *Moringa stenopetala* + %75 Mısır silajında (%65.96), en düşük NDF oranı ise %100 *Moringa stenopetala* silajında (%56.00) belirlenmiştir. Yem bitkilerinde bulunan lignin ve selüloz, nötr deterjan lif (NDF) olarak bilinir. NDF, kaba yem kalitesini etkileyen önemli bir bileşendir. Rasyonda NDF oranının düşüklük seviyesinin de belirli bir oranda olması gerekir. Hayvan yemi olarak kullanılacak olan rasyonlarda, selüloz, lignin ve hemiselülozdan oluşan NDF değeri en az %20-35 olmalıdır. Bu içeriğin yaklaşık %70-75'i kaba materyalden oluşur. Denemede genel olarak farklı oranlarda *Moringa oleifera* ve *Moringa stenopetala*'nın silaj karışımlarında oranlarının artması ile silajlarda NDF değerlerinde düşüşler gözlenmiştir. Kuru madde oranı düşük materyalin silajlara katılması ile NDF oranının düşmesi beklenmektedir. Nitekim yürütülen çalışmada da ilave edilen türler ve oranlarına bağlı olarak NDF oranı artmıştır. Yapılan çalışmalarda da NDF oranları %50-60 arasında değiştiği belirtilmiştir (Sanchez ve ark., 2016; Zeng ve ark., 2018; Wang ve ark., 2018-2019; Odeyinka ve ark., 2021). Farklı oranlarda *Moringa oleifera* ve mısır karışımlarından elde edilen silajların pH'ları arasındaki farklar istatistiki olarak önemli ($P<0.01$) olduğu

(Tablo 3) tespit edilmiştir. En yüksek pH %100 *Moringa oleifera* ile %75 *Moringa oleifera* + %25 Mısır silajlarında (4.25 ve 4.22) en düşük pH ise %100 Mısır, %50 *Moringa oleifera* + %50 Mısır ve %75 *Moringa oleifera* + %25 Mısır (3.96, 3.99 ve 3.92) silajlarında belirlenmiştir. Farklı oranlarda *Moringa stenopetala* ve mısırdan elde edilen silajların pH'ları arasındaki farklar istatistiki olarak önemli ($P<0.01$) olduğu görülmektedir. Benzer pH ölçümleri *Moringa stenopetala* ile Mısır silajlarında belirlenmiştir. Silajın pH değeri, fermantasyon kalitesini ve yemlerin bozulmadan saklanabilmesini gösteren önemli bir kriterdir. Silajın pH değeri, bitkinin ekim zamanı ve hasat dönemine bağlı olarak değişebilir (İptaş ve Avcıoğlu, 1997). Kung and Shaver (2001), ideal bir silaj için gerekli olan pH'yı 4.3 ile 4.7 olarak bildirmişlerdir. Geren (2001), Silva ve ark. (2015), Heuze ve ark. (2017), Görü ve Seydoşoğlu (2021) ve İleri ve ark. (2022), %25-35 kuru madde oranına sahip silajlık mısırlar için benzer pH değerleri elde edilebileceğini bildirmişlerdir.

4. Sonuçlar

Moringa oleifera ve *Moringa stenopetala*'nın yalın ve mısır ile farklı oranlarda silolanması sonucu elde edilen silajların bazı silaj fiziksel özellikleri ile silaj kalitesi ve beslenme değeri açısından yeterli olduğu tespit edilmiştir. Araştırmada ele alınan *Moringa* türleri incelendiğinde %100 *Moringa* ve %25 *Moringa* +%75 Mısır karışımlarının silaj kalitesinin arttığı, yeterli bir silaj olarak ensile edilebileceği belirlenmiştir.

Yazarların Katkı Beyanı

Yazarlar makaleye eşit katkıda bulduklarını, makalenin yayına hazır son halini gördüklerini/okuduklarını ve onayladıklarını beyan ederler.

Çıkar Çatışması Beyanı

Tüm yazarlar, bu çalışma için herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Açıklama

Bu, çalışma ilk yazarın yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

Kaynaklar

- Acikgoz, N., Ilker, E., Gokcol. A., 2004. Assessment of biological research on the computer. Ege University Seed Technology Center, Izmir.
- Anonim, 1993. Bestimmung des pH-Wertes. In: Die chemischen Untersuchungen von Futtermitteln. Teil 18 Silage. Abschnitt 18.1 Bestimmung des Ph-Wertes. Methodenbuch Bd.III VDLUFAVerlag, Darmstadt.
- Asaolu, V., Binuomote, R., Okunlola, D., Oyelami, O., 2015. Characteristics of *Moringa oleifera* silage with mixtures of *Panicum maximum* and wheat offals. *Journal of Natural Sciences Research*, 5(18): 121-130.
- Boukandoul, S., Casal, S. and Zaidi, F., 2018, The potential of some *moringa* species for seed oil production. *Agriculture*, 10: 150.
- Bulgurlu, Ő., Ergöl, M., 1978, Yemlerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik analiz metodları. Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları, No:127, S: 58-76, İzmir.
- Durul, G., 2016, Farklı biçim zamanlarının tatlı sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench var. *saccharatum*) ve fasulye (*Phaseolus vulgaris*) silaj karışımlarında bazı kalite özelliklerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Fuglie, L.J., 1999. The Miracle Tree: *Moringa oleifera*, Natural Nutrition for the Tropics. Church World Service, New York, USA.
- Geren, H., 2001. Effect of sowing dates on silage characteristics of different maize cultivars grown as second crop under Bornova conditions. *Journal of Agriculture Faculty of Ege University*, 38: 47-54.
- Görü, N., Seydoşoğlu, S., 2021. Bazı serin iklim tahıllarının (Yulaf, Arpa, Çavdar ve Tritikale) yaygın fiğ ile farklı oranlarda karışımlarında silaj kalite özelliklerinin belirlenmesi. *Journal of the Faculty of Agriculture/Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(1): 26-33.
- Güre, E., 2016, Tatlı darı (*Sorghum bicolor* (L.) Moench var. *saccharatum*) ve börölce (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) karışımlarının silaj amacıyla kullanım olanakları üzerine bir araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Habtemariam, S., 2019. Medicinal foods as potential therapies for Type-2 diabetes and associated diseases: the chemical and pharmacological basis of their action. Academic Press, Cambridge, Massachusetts, USA.
- He, L., Zhou, W., Xing, Y., Pian, R., Chen, X. and Zhang, Q., 2020, Improving the quality of rice straw silage with *Moringa oleifera* leaves and propionic acid: Fermentation, nutrition, aerobic stability and microbial communities. *Bioresource technology*, 1 (299):122579p.
- Heuze, V., Tran, G., Edouard, N., Lebas, F., 2017. Maize silage. Feedipedia, a programme by INRAE, CIRAD, AFZ and FAO.
- İleri, O., Erkovan, S., Erkovan, H.İ., Koç, A., 2020. Silage quality of second forage pea at different plant densities and cereal mixtures. *Turkish Journal of Range and Forage Science*, 1: 35-45.
- İptaş, S., Avcıoğlu, R., 1997. Mısır, sorgum, sudanotu ve sorgum-sudanotu melezi bitkilerinde farklı hasat devrelerinin silo yemi niteliğine etkileri. *Türkiye 1. Silaj Kongresi*, Kongre Bildiriler Kitabı, 16-19 Eylül, Bursa, s. 42-51.
- Kuşvuran, A., Veyis Tansı, R.İ., 2011, Türkiye’de ve Batı karadeniz bölgesi’nde çayır-mera alanları, hayvan varlığı ve yem bitkileri tarımının bugünkü durumu. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, (2): 21-32.
- Mahmood, T.K., Mugal, T., Ul Haq, I., 2010, *Moringa oleifera*: a natural gift. A review. *Journal of Pharmaceutical Science & Research*, 2(11): 775-781.

- Mabberley, D.J., 1987. The plant-book, 706 p. Cambridge University Press, Cambridge.
- Makkar, H.P.S., Becker, K., 1997, Nutrients and antiquality factors in different morphological parts of the *Moringa oleifera* tree. *The Journal of Agricultural Science*, 128: 311-322.
- Mekonnen, Y., 2002. The multi-purpose Moringa tree: Ethiopia.
- Mendieta-Araica, B., Spörndly, E., Reyes-Sánchez, N., Norell, L., Spörndly, R., 2009. Silage quality when *Moringa oleifera* is ensiled in mixtures with Elephant grass, sugar cane and molasses. *Grass and Forage Science*, 64: 364-373.
- Moreki, J.C., Gabanakgosi, K., 2014. Potential use of *Moringa oleifera* in poultry diets. *Global Journal of Animal Scientific Research*, 2: 109-115.
- Moyo, B., Masika, P.J., Hugo, A., Muchenje, V., 2011, Nutritional characterization of *Moringa (Moringa oleifera* Lam.) leaves. *African Journal Biotechnology*, 10:12925-12933.
- Odeyinka, S.M., Abegunde, T.O., Ofoegbu, M.O., Apanisile, O.J., 2021, Silage quality, growth performance and haematology of West African dwarf goats fed *Moringa oleifera* leaves ensiled with cassava peels. *Nigerian Journal of Animal Production*, 48(2): 183-190.
- Panyasak, A., Tumwasorn, S., 2015. Effect of moisture content and storage time on sweet corn waste silage quality. *Walailak Journal of Science and Technology*, 12(3): 237-243.
- Saint Sauveur, A., Broin, M., 2010. Produire et transformer les feuilles de Moringa.
- Sanchez, A.C., Subudhi, P.K., Rosenow, D.T., Nguyen, H.T., 2002. Mapping QTLs associated with drought resistance in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench.). *Journal of Plant Molecular Biologies*, 48: 713-726.
- Seifu, E., 2015. Actual and potential applications of *Moringa stenopetala*, underutilized indigenous vegetable of Southern Ethiopia.
- Sutherland, J.P., Folkard, G.K., Grant, W.D., 1989. Natural coagulants for appropriate water treatment: A novel approach.
- Teixeira, E.M., Carvalho, M.R., Neves, V.A., Silva, M.A., Arantes-Pereira, L., 2014. Chemical characteristics and fractionation of proteins from *Moringa oleifera* Lam. Leaves. *Food Chemistry*, 147: 51-54.
- Tekce, E., Gül, M., 2014. Ruminant beslemede NDF ve ADF'nin önemi. *Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi*, 9(1): 63-73.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 3583-3597.
- Wang, Y., Wang, C., Zhou, W., Yang, F., Chen, X., Zhang, Q., 2018. Effects of wilting and lactobacillus plantarum addition on the fermentation quality and microbial community of *Moringa oleifera* leaf silage. *Frontiers in Microbiology*, 6(9): 1817.
- Wu, D., Cai, Z., Wei, Y., Zhang, C., Liang, G., Guo, Q., 2013. Research advances in moringa as a new plant protein feed. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 25(3): 503-511.
- Zeng, B., Sun, J.J., Chen, T., Sun, B.L., He, Q., Chen, X.Y., Zhang, Y.L., Xi, Q.Y., 2018, Effects of *Moringa oleifera* silage on milk yield, nutrient digestibility and serum biochemical indexes of lactating dairy cows, *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 102(1): 75-81.

Atıf Şekli: Mohamed, H.G.M., Demiroğlu Topçu, G., 2025. *Moringa oleifera* ve *Moringa stenopetala*'nın Mısır (*Zea mays* L.) ile Farklı Oranlarda Karışımlarında Silaj Kalite Özellikleri. *MAS Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 10(1): 54–62.

DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15087225>.

To Cite: Mohamed, H.G.M., Demiroğlu Topçu, G., 2025. Silage Quality Characteristics in Mixtures of *Moringa oleifera* and *Moringa stenopetala* with Maize (*Zea mays* L.) at Different Ratios. *MAS Journal of Applied Sciences*, 10(1): 54–62.

DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15087225>.



Effect of Encapsulation on the Amount of HMF in Honey

Elif Sine DÜVENÇİ ^{1*}, Pınar KARAGÜL ², Bora KARAGÜL ¹

¹ Duzce University, Scientific and Technological Research Application and Research Center, Duzce

² Duzce University, Faculty of Arts and Sciences, International Chemistry Department, Duzce

*Corresponding author: elifsineaksoy@duzce.edu.tr

Received: 06.01.2025

Accepted: 25.02.2025

Abstract

Hydroxymethylfurfural (HMF) is recognized as an undesirable component in honey and is usually formed as a result of heat treatment or prolonged storage of honey. HMF is formed as a result of chemical processes such as the Maillard reaction. Low levels of HMF are often associated with the freshness of honey. To prevent the formation of HMF in honey, it is thought that the application of the encapsulation process can increase the stability of this component and reduce its direct interaction. This method can help to extend the shelf life of honey and preserve its nutritional value. The protection provided by encapsulation may improve the overall quality of honey by reducing HMF formation depending on factors such as temperature and storage time. The aim of this study was to demonstrate that undesirable HMF formation can be prevented by encapsulating honey, which is rich in nutrients, with a biocompatible material. Accordingly, unencapsulated honey and encapsulated honey were kept in an oven at 80 °C for 2 hours and HMF formation was analyzed. In addition, the HMF content of unexposed honey, exposed honey and encapsulated honey samples were analyzed by high performance liquid chromatography (HPLC). As a result of the analysis, it was observed that the highest to the lowest amount of HMF was observed in honey exposed to temperature, encapsulated honey and honey samples not exposed to temperature, respectively. The calculated HMF amounts were 17.21 mg L⁻¹, 14.80 mg L⁻¹ and 14.70 mg L⁻¹, respectively. Furthermore, these results were supported by thermal gravimetric analysis (TGA) and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). In conclusion, this study showed that the encapsulation method was effective in reducing HMF formation. The findings suggest that encapsulation can increase the stability of honey and therefore may be an effective method to extend its shelf life.

Keywords: Honey, hydroxymethylfurfural, encapsulation

1. Introduction

1.1 Hydroxymethylfurfural (HMF)

Hydroxymethylfurfural (HMF) is recognized as an undesirable component in food products, especially honey and milk. HMF is formed as a result of thermal degradation of monosaccharides and the Maillard reaction, usually during excessive heat treatment or prolonged storage of honey (Yurt, 2020; Jaya et al., 2016). It raises significant concerns for food safety by increasing the negative effects of HMF on food quality. High concentrations of HMF can negatively affect the nutritional value and sensory properties of food products (Urgu et al., 2017).

Scientific studies, especially on the toxic effects of HMF, reveal the negative effects of this compound on human health (Fang et al., 2018; Qu et al., 2022). High levels of HMF in honey increase health risks and its harmful effects become more pronounced, especially in case of excessive consumption. HMF can promote the formation of reactive oxygen species (ROS), leading to cellular damage and potentially carcinogenic effects (Saikia et al., 2021; Alamillo et al., 2012). In addition, metabolism of HMF in the body can result in the formation of various toxic compounds, posing additional health risks (Özdemir, 2023).

The potential adverse effects of HMF on human health may be more pronounced, particularly among vulnerable groups such as children and the elderly, who are more susceptible to the effects of toxic compounds (Akkemik et al., 2024). It is imperative to maintain HMF concentrations below the permissible limits to ensure public health and safety. In this regard, the Turkish Food Codex has stipulated maximum permissible levels of HMF in honey, with the understanding that exceeding these limits can pose significant health risks (Gündüz et al., 2023). The effects of HMF on food safety extend beyond mere toxicity, also impacting the quality parameters of honey. Storage conditions of honey have been identified as a critical factor in HMF formation. Increased HMF levels have been

observed in honey stored at elevated temperatures or for extended periods (Torun & Bekar, 2024; Bilici, 2025). Consequently, it is imperative for both producers and consumers to prioritize proper storage conditions to mitigate HMF formation.

1.2 Encapsulation

Encapsulation is defined as the process of enveloping bioactive components within a protective matrix or coating. This technique has gained significant popularity in the food, pharmaceutical, and cosmetic industries due to its ability to enhance the stability of bioactive ingredients, facilitate controlled release, and mask undesirable tastes or odors (Okutan & Boran, 2023; Çeliközlü, 2023). In the food industry, it is regarded as a pivotal strategy for preserving and enhancing the effectiveness of vitamins, minerals, flavors, and other nutritional components (Gündoğdu et al., 2021).

In the food industry, encapsulation has been shown to extend shelf life by protecting bioactive components against environmental factors such as oxidation, temperature changes, and light (Okutan and Boran, 2023). For instance, the encapsulation of fish oil with emulsion systems enables the oil to retain its nutritional value without undergoing oxidation (Okutan and Boran, 2023). This method has been shown to enhance the bioavailability of bioactive components by facilitating controlled release within the digestive tract, making it a valuable technique for the development of nutritional supplements and drug formulations (Çeliközlü, 2023). The encapsulation of bioactive components in honey is a significant technology that plays a crucial role in maintaining the stability and enhancing the bioavailability of these components. This method protects the vitamins, minerals, flavors, and other bioactive components present in honey from environmental factors such as oxidation, heat, and light. Furthermore, the encapsulation process enhances the functional properties of honey by prolonging the shelf life of these components (Okutan and Boran, 2023).

2. Material and Methods

2.1 Experiment design

The objective of the present study was to investigate the effect of heat-induced 5-hydroxymethylfurfural (HMF) compound on HMF formation when added to honey by encapsulation method. To this end, honey was exposed to different temperature conditions, and the effect of encapsulation on HMF levels in this process was determined. In the experimental analysis phase, honey samples were prepared at different temperatures and times. In this process, traditional unprocessed honey samples will be compared with honey samples subjected to heat treatment under certain temperature and time conditions. In addition, honey samples under a protective coating by encapsulation method will be exposed to the same thermal conditions, and the changes in HMF formation will be observed.

Among the analytical methods employed, high performance liquid chromatography (HPLC) will be utilized to quantitatively determine the amount of HMF in the samples. HPLC analysis will allow for the determination of the HMF level in honey with high sensitivity and will allow for the comparison of the amount of HMF formed in relation to the heat exposure time of the

samples. In addition, the thermal stability and degradation behavior of the samples will be investigated by thermal gravimetric analysis (TGA). TGA will provide comprehensive information on how the encapsulation treatment affects the thermal stability by determining the mass loss trend of honey against temperature. In addition, Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) will be used to analyze the changes in the chemical structure of encapsulated and non-encapsulated samples. The utilization of FTIR analysis is expected to furnish a substantial dataset, thereby facilitating a comprehensive understanding of the impact of the encapsulation process on the functional groups of honey and enabling the identification of chemical alterations potentially associated with HMF formation.

2.2 Encapsulation process

Controlled dripping technique was used to obtain hydrogel beads through encapsulation process. 2% w v⁻¹ sodium alginate and ~80% w v⁻¹ honey solution were homogeneously mixed and dripped at a constant (1 ml min⁻¹) flow rate into a 0.2 M salt solution bath from a height of 8 cm using a syringe pump. At room temperature, the salt solution was continuously stirred at 300 rpm to obtain capsules of equal size. The capsules were allowed to mature for 30 min before washing in distilled water (Lee et al., 2013).

Table 1. Treatments applied to the samples

Description of experimental studies	
BL-80	It was kept in an oven at 80 °C for 2 hours
Enkp	Honey was encapsulated and placed in an oven at 80 °C for 2 hours
BL-1	No treatment was applied to the honey

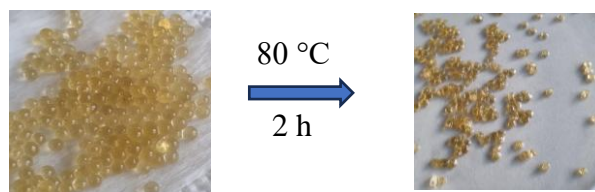


Figure 1. View of the capsules after heating

2.3 HPLC Method

Each sample was extracted with distilled water at a 1:5 ratio. The samples were filtered through a 0.45 μm membrane filter and injected into a Shimadzu LC-20A model HPLC-UV system. In the HPLC analysis, a mixture of ultrapure water and methanol (90:10) was used as the mobile phase. The stationary phase column utilized was a Svea Gold C18 (250 x 4.6 mm) column with a

particle size of 5 μm . The flow rate was set to 1.0 ml/min, and the injection volume was 20 μL of sample or standard solution. The measurements were performed at a wavelength of 285 nm (J. Jeuring and F. Koppers, 1980).

3. Results and Discussions

At 5 different points, a calibration graph was drawn with the HMF standard and the samples were read.

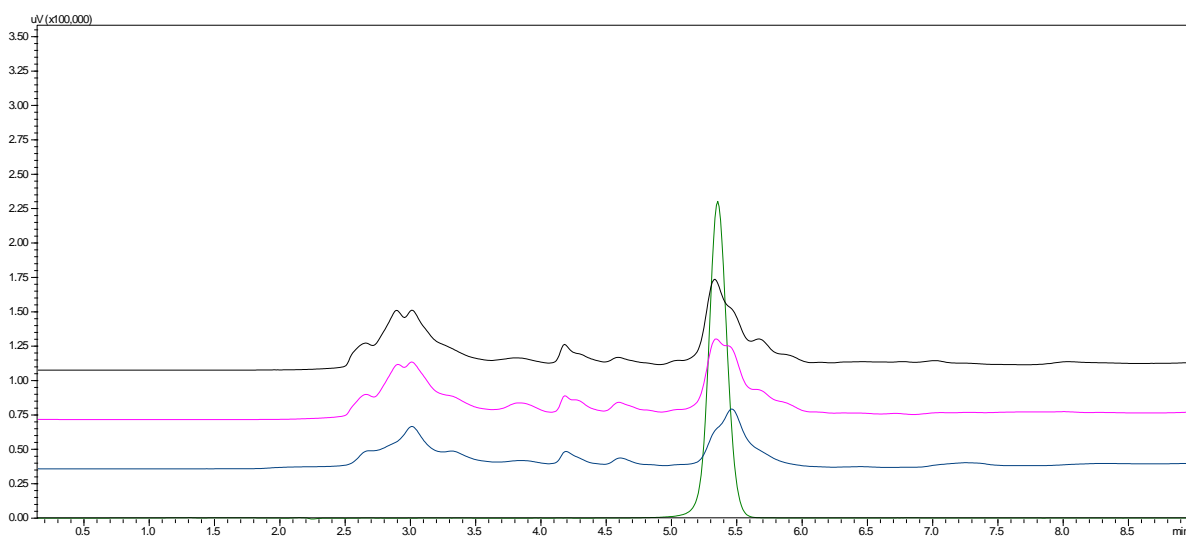


Figure 2. Chromatograms of BL-1 (black), BL-80 (pink) and ENKP (blue) samples.

Table 2. Amount of HMF

Data obtained from the device	
BL-1	14.70 mg L ⁻¹
Enkp	14.80 mg L ⁻¹
BL-80	17.21 mg L ⁻¹

The TGA (Shimadzu-DTG 60H) method was configured at a heating rate of 20 °C/min, with a temperature range of 1000 °C, and the alterations of the samples obtained with temperature were examined. BL-1 (Normal Honey): In comparison to the other samples, mass loss commenced at low temperatures (in the range of approximately 40-100°C), and

water loss and the decomposition of volatile components were observed. In contrast, BL-80 (80 °C Treated Honey) exhibited early mass loss, suggesting potential water loss at 80 °C. ENKP (Encapsulated Honey) demonstrated a protective effect, with encapsulation resulting in reduced mass loss compared to the other samples.

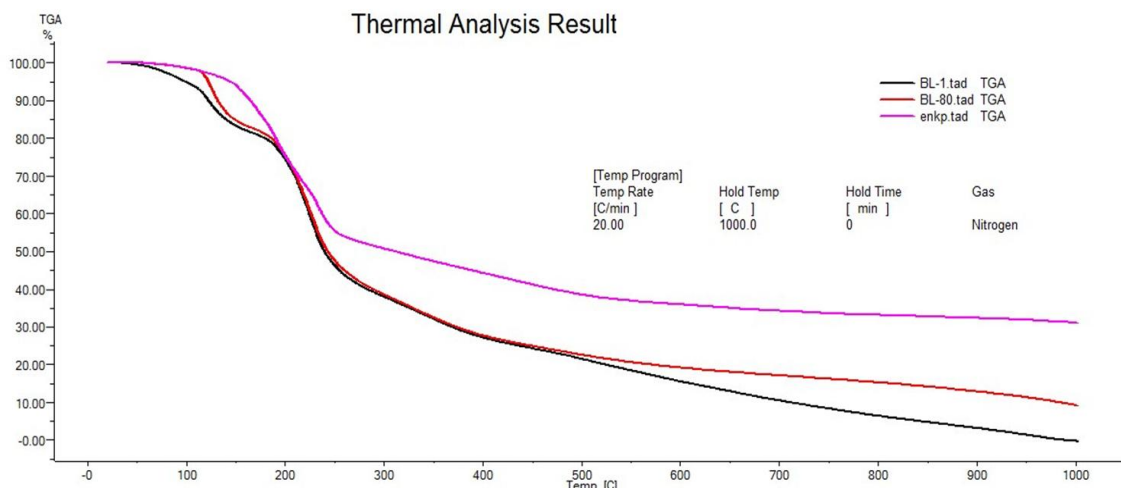


Figure 3. Multiple display of TGA data

FTIR (Shimadzu IRPrestige21) analysis was performed in the range of 4500-550 cm⁻¹ with a scan rate of 20 and a resolution of 0.4

using the Happ-Genzel method and compared for structural differences between the samples.

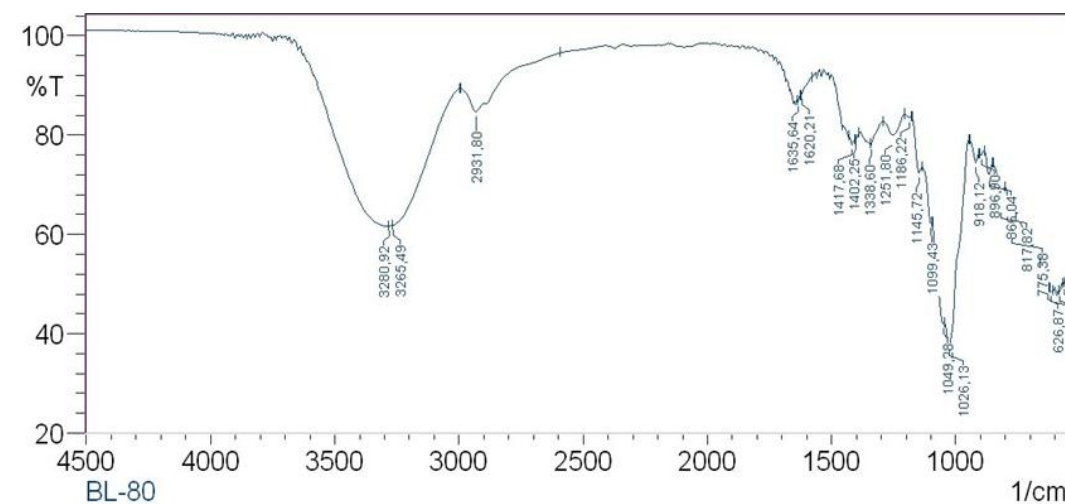


Figure 4. FTIR spectrum of BL-80

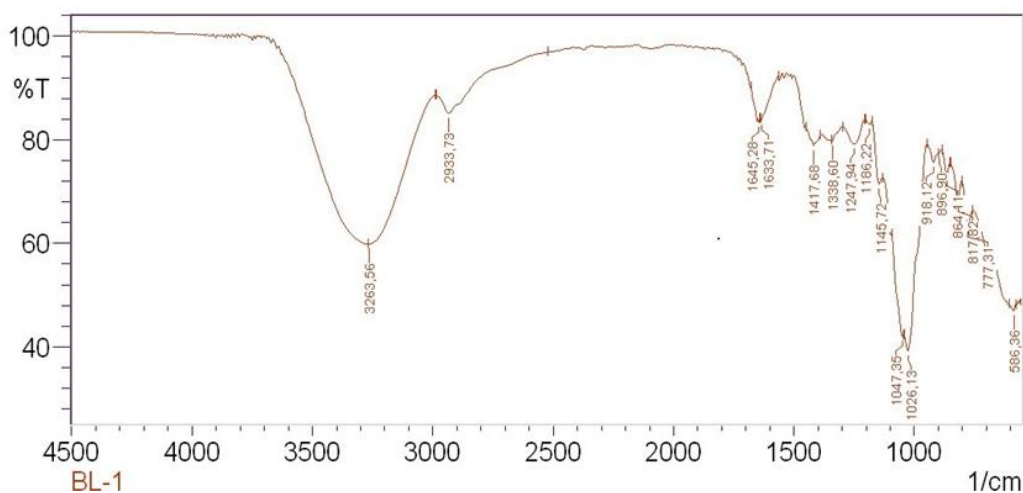


Figure 5. FTIR spectrum of BL-1

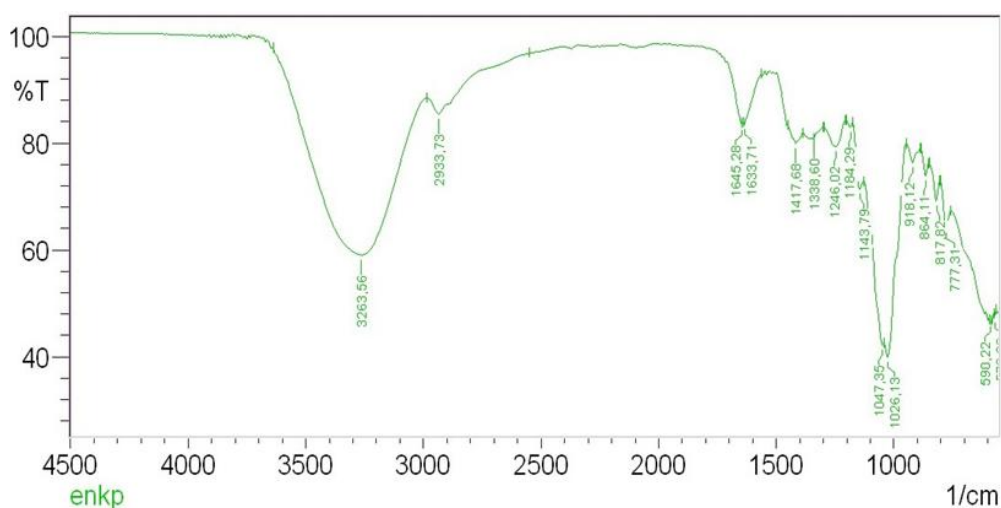


Figure 6. FTIR spectrum of enkp

Small changes were observed in the FTIR spectra, although not very pronounced. These changes occurred especially in BL-80, that is, in honey directly exposed to heat. Encapsulated honey and unexposed honey gave largely similar peaks. C-H Stress Region ($\sim 2900\text{ cm}^{-1}$): In BL-80, this peak shifted to a lower wave number than the other two samples. Carbonyl and C=C Stress Region ($\sim 1600\text{--}1650\text{ cm}^{-1}$): ENKP: 1645.28 cm^{-1} , 1633.71 cm^{-1} ; BL⁻¹: 1645.28 cm^{-1} , 1633.71 cm^{-1} ; BL-80: 1656.64 cm^{-1} , 1632.21 cm^{-1} ; the carbonyl peaks are slightly shifted in BL-80. Heating may have caused rearrangement or fragmentation of the carbonyl groups. In the other two samples, the peaks are located in exactly the same places. C-O, C-O-C and C-H Bending Regions ($1000\text{--}1500\text{ cm}^{-1}$): In BL-80,

a new peak was formed especially at 1251.86 cm^{-1} , while the $1143\text{--}1145\text{ cm}^{-1}$ region was different. This can be interpreted as heat-induced fragmentation or rearrangement of the carbohydrate structure. The findings of this study show very positive and promising results when compared with some important studies in the literature. For example, a study by Onür et al. (2018) showed that HMF formation can be reduced by using high hydrostatic pressure (HHP) and ultrasonic treatment (US) instead of conventional heat treatment. In this study, it was found that the amount of HMF increased significantly in honey heated at $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, but HHP and US treatments provided lower HMF levels (Önür et al., 2018). In our study, encapsulation showed a similar effect in suppressing HMF formation. Therefore, it can

be said that encapsulation is a worthy option among the alternative methods used to maintain quality in honey. In addition, in a study conducted by Ünübol Aypak et al. (2019), it was found that the HMF levels of honey taken directly from hives were significantly lower than market honey. While HMF levels measured in market honeys were 56.70 mg kg^{-1} , this value was found to be 26.94 mg kg^{-1} in honey from hives (Ünübol et al., 2019). This finding indicates that honey can accumulate significant levels of HMF under inappropriate storage and processing conditions. The lower level of HMF in honey encapsulated in our study suggests that this method may also have positive effects in long-term storage conditions. In a study conducted by Zappalà et al. (2005), the amount of HMF in honey was measured using different analysis methods and it was reported that exposure to high temperatures increased HMF levels. In this respect, the encapsulation method used in our study seems to help honey become more resistant to heat treatment (Zappala et al., 2005).

4. Conclusion

Thanks to the encapsulation process of honey, HMF formation was prevented when exposed to heat. This method can be applied to other foods that cause HMF formation. In addition, the encapsulation materials used are biocompatible, so there is no harm in consumption as food. This makes the method attractive for preventing heat-induced harmful substances. This study has made an important contribution to the field of food science by investigating in detail the effects of encapsulation method on the formation of hydroxymethylfurfural (HMF), an undesirable component in honey. As a result of the experimental analyses, it was shown that HMF formation can be prevented or significantly reduced when honey is exposed to heat through the encapsulation process. This indicates that the encapsulation method can be used as an effective preservative method not only in honey but also in other foods prone to HMF formation. As a result of the HPLC analyses, the lowest HMF levels were detected in

unencapsulated and non-heat-exposed honey samples, while the amount of HMF was significantly increased in honey exposed to heat but not encapsulated. In contrast, the HMF level in the encapsulated and heat-exposed honey was lower than in the sample directly exposed to heat. These findings suggest that encapsulation is an effective technology to prevent heat-induced degradation by maintaining the chemical stability of honey. TGA and FTIR analyses also supported the protective effect of encapsulation and revealed that heat-induced chemical changes occurred less in encapsulated honey samples. This proves that encapsulation method can extend the shelf life and preserve the nutritional value of honey by increasing both physical and chemical stability. The results of this study showed that the encapsulation method can be used to maintain the quality of honey and other foods. Further studies should be conducted to investigate whether the encapsulation method is effective in reducing HMF formation in other heat-treated foods besides honey. It is important to raise consumer awareness of the dangers of undesirable food components such as HMF. Educational and promotional activities should be carried out to explain the benefits of innovative methods such as encapsulation. Apart from the biocompatible encapsulation material used in this study, similar tests should be conducted using different encapsulation agents and techniques and alternative methods that may provide more effective protection should be investigated. This study demonstrated that encapsulation can play an important role in preserving the quality and nutritional value of honey and provided valuable data that can guide similar studies in the future. In this context, we would like to emphasize that our study has created a great added value in the field of food science. As our research team, we hope that this study will lead to the development of new approaches in the industry.

Declaration of Author Contributions

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

have seen/read and approved the final version of the article ready for publication.

Declaration of Conflicts of Interest

All authors declare that there is no conflict of interest related to this article.

Acknowledgements

TGA analysis in this study were carried out at Duzce University Scientific and Technological Research Application and Research Centre (DUBIT).

References

- Alamillo, R., Tucker, M., Chia, M., Pagán-Torres, Y., Dumesic, J., 2012. The selective hydrogenation of biomass-derived 5-hydroxymethylfurfural using heterogeneous catalysts. *Green Chemistry*, 14(5): 1413.
- Akkemik, E., İnal, B., Karakaş, D., Gök, M., Çalışır, Ü., Özdemir, O., Baycar, A., 2024. Siirt ve Şırnak illerinde hasat edilmiş bazı süzme balların kalite parametrelerinin belirlenmesi. *Türkiye Teknoloji ve Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 5(2):54-69.
- Bilici, F., 2025. Bal pazarlama süreçleri ve tanıtım stratejilerine yönelik öneriler. *Uluslararası Akademik Yönetim Bilimleri Dergisi*, 11(17): 16-45.
- Çeliközlü, S., 2023. Biyoaktif bileşiklerin elektrospinning yöntemi ile nanoenkapsülasyonu (Ed: A.Yiğit). *Nanotechnology and Organic Chemistry*, Gaziantep, s.119-138.
- Fang, X., Wang, Z., Yuan, B., Song, W., Li, S., Lin, W., 2018. Efficient conversion of cellulose to 5-hydroxymethylfurfural in nahso₄/zro₂/h₂o-thf biphasic system. *Chemistryselect*, 3(43): 12243-12249.
- Gündoğdu, S., Uçar, Ü., Uz, A., 2021. Resveratrolün bulunduğu kaynaklar ve tıbbi önemi. *Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Dergisi*, 45(3): 652-673.
- Gündüz, B., Akay, K., Karakuş, M., Akalan, M., Yücepe, M., Karaaslan, A., Başıyigit, B., Yılmaz, F., Karaaslan, M., 2023. Siirt Pervari yöresinden toplanan balların fizikokimyasal özelliklerinin belirlenmesi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 27(3): 405-414.
- Lee, B.B., Ravindra, P., Chan, E.S., 2013. Size and shape of calcium alginate beads produced by extrusion dripping, *Chemical Engineering Technology*, 36(10): 1627-1642.
- Jaya, F., Radiati, L., Jamilah, J., 2016. The effect of honey harvesting age in the area of calliandra plant to diastase enzyme activity, hidroximetilfurfural (hmf) and acidity. *Journal Ilmu Dan Teknologi Hasil Ternak*, 11(2): 60-63.
- Jeuring, J., Kupperts, F., 1980. High Performance Liquid Chromatography of Furfural and Hydroxymethylfurfural in Spirits and Honey. *Journal - Association of Official Analytical Chemists*, 63(6): 1215.
- Onür, İ., Misra, N.N., Barba, F.J., Putnik, P., Lorenzo, J.M., Gökmen, V., Alpas, H., 2018. Effects of ultrasound and high pressure on physicochemical properties and HMF formation in Turkish honey types. *Journal of Food Engineering*, 219: 129-136.
- Okutan, G., Boran, G., 2023. Emulsion and encapsulation applications in fish oil. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28(1): 334-344.
- Özdemir, N., 2023. Balda çoklu antibiyotik kalıntılarının LC-MS/MS ile hızlı doğrulama analizi. *Kocatepe Veterinary Journal*, 16(4): 464-471.
- Qu, D., He, S., Chen, L., Ye, Y., Ge, Q., Cong, H., Ha, Y., 2022. Paired electrocatalysis in 5-hydroxymethylfurfural valorization. *Frontiers in Chemistry*, 10.
- Saikia, K., Rathankumar, A., Kumar, P., Varjani, S., Nizar, M., Lenin, R., Vaidyanathan, V., 2021. Recent advances in biotransformation of 5-hydroxymethylfurfural: challenges and future aspects. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 97(2): 409-419.

- Torun, A., Bekar, M., 2024. The relationship between high school female students' health perceptions and their knowledge levels on protection from gynecological cancers: descriptive research. *Türkiye Klinikleri Journal of Health Sciences*, 9(1): 74-83.
- Urgu, M., Saatli, T., Türk, A., Koca, N., 2017. Isıl işlem görmüş içme sütlerinde (pastörize, uht ve laktozsuz uht süt) hidroksimetilfurfural içeriğinin belirlenmesi. *Akademik Gıda*, 249-255.
- Ünübol Aypak, S., İnci, A., Bakırcı, S., Dereli Fidan, E., Soysal, M., 2019. Comparison of the antioxidant activity and hydroxymethylfurfural (HMF) levels in honey taken from hives and markets, *The Journal of Food*, 44(1): 86-92.
- Yurt, B., 2020. Iğdır ve yöresinde üretilen balların bazı fizikokimyasal özelliklerinin belirlenmesi. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 9: 51-57.
- Zappala, M., Fallico, B., Arena, E., Verzera, A., 2005. Methods for the determination of HMF in honey: A comparison. *Food Control*, 16(3): 273-277.

To Cite: Düvenci, E.S., Karagül, P., Karagül, B., 2025. Effect of Encapsulation on the Amount of HMF in Honey. *MAS Journal of Applied Sciences*, 10(1): 63-71.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15087581>.

The Synthesis and Electrochemical Characterization of an Electron Donor-Acceptor Co-Monomer

Hacer DOLAS^{1*} 

¹ Harran University, Hilvan Vocational School, Program of Occupational Health and Safety, Şanlıurfa

*Corresponding author: hacerdolas@harran.edu.tr

Received: 06.01.2025

Accepted: 25.02.2025

Abstract

This article presents the synthesis, characterization and electrochemical polymerization conditions of 4, 5-dithiophene imidazole (Th2-Im) co-monomer with donor-acceptor character carrying thiophene and imidazole monomer synthesized using Still Cross Coupling reaction. The obtained synthesis product (Th2-Im) was characterized by FT-IR, XPS and SEM images. In the synthesis structure, the presence of S atom belonging to the Th ring was observed in the 175 eV region, and the presence of N atom belonging to the Im ring was observed in the 411 eV region. In addition, B atom, which would indicate the presence of dopant anion, was observed in the 202 eV region. It was determined by SEM images that Poly (Th2-Im) had a more distinct and regular geometric texture than Poly (Th) morphologically. It was determined that Th2-Im was oxidized at 0.6 V from electrochemical polymerization. From monomer free CV, it was determined that Poly (Th2-Im) showed 3 oxidation peaks as 0.25V, 0.75V and 1.2V and 3 reduction peaks as 0.7V, 0.4V and 0.1 V. It was determined that the synthesis polymer obtained from these data could be polymerized more easily than Th and Im and the donor-acceptor character could be clearly observed in CV graphs.

Keywords: Thiophene, imidazole, electron donor-acceptor, electropolymerization

1. Introduction

Conductive polymers are known as synthetic metals (MacDiarmid et al. 2001). It is a research area that attracts a lot of attention from researchers. Conductive polymers are important because they have practical and effective use in applications such as electrochromic devices (Invernale et al., 2010), photovoltaics (Baran et al., 2010), light emitting diodes (Beaupr'e et al., 2010) and super capacitors (Mahimai et al., 2024). Monomers such as pyrrole (Py) (Zhou et al., 2002), thiophene (Th) (Zhang et al., 2022), carbazole (Cz) (Dmitrieva et al., 2022), aniline (An) (Pournaghi-Azar et al., 2007) are frequently used monomers to obtain conductive polymers due to their superior properties. Th from these monomers is preferred for various areas of use due to its good conductivity properties, but it has a high oxidation potential. For this reason, the solution used during electropolymerization must be resistant to high oxidation. In order to overcome such negativities, Th is combined with other monomers or groups that will provide a donor-acceptor relationship, thus reducing the high oxidation potential. Imidazole monomer is a monomer used as an electron donor. In our previous study (Dolas et al., 2016), Th₃-Im monomer was synthesized with Imidazole (Im) as donor and Th monomer as the acceptor. Thus, electropolymerization of Th monomer was achieved under easier conditions. Polymerization of this monomer on different substrates and comparison of impedance data were performed. However, electrochemical examination of another synthesis product, Th₂-Im co- monomer, and comparison with Th and Im were not performed in detail. For this reason, in this study, 2 Th ring-bound imidazole monomer (Th₂-Im) was synthesized by Still Cross Coupling reaction and isolated by column chromatography using 4:1 petroleum ether: ethyl acetate solvent mixture and its electrochemical properties were investigated and compared with Th and Im. Electropolymerization was carried out in ACN-BFEE electrolyte (5 ml) using 0.01 M

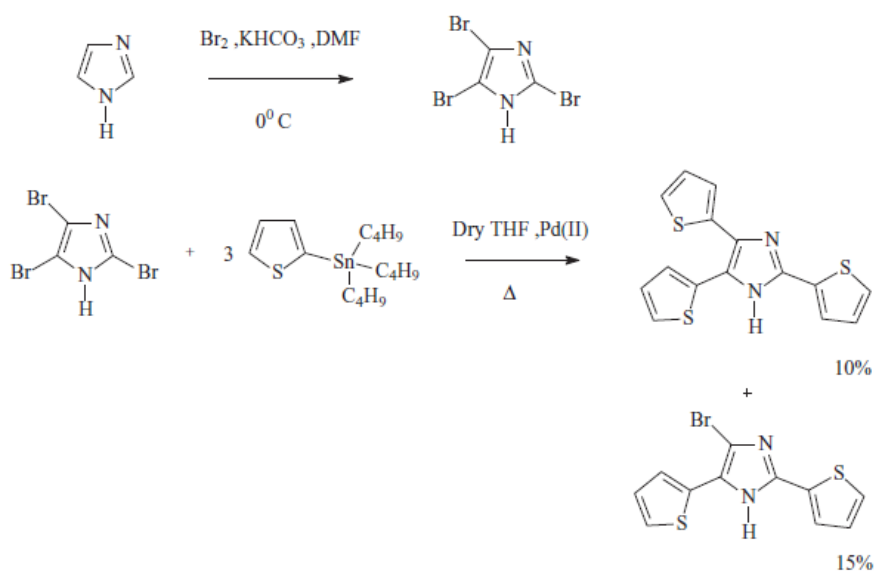
monomer in the potential range of 0-1.8 V with a scanning speed of 100 mV/s. Electropolymerization of the co-monomer synthesized under the same conditions was compared with the electropolymerization of Th monomer and Im monomer.

2. Material and Methods

Th, Im, Acetonitrile (ACN) (E Chromasolv for HPLC for far UV) were purchased from Sigma-Aldrich. Boron trifluoride diethyletherate (BFEE) were purchased from FLUKA. 4,5-dithiophene imidazole (Th₂-Im) co-monomer was synthesized as described in our previous study. Briefly; Thiophene and Imidazole rings were first prepared to be combined as described below. First, imidazole was brominated (2, 3, 4-tribromoimidazole) by Bahnous method (Bahnous et al. 2006). Then, brominated Im and Th were combined by Still Cross Coupling reaction with dry THF in the presence of Pd catalyst. As shown in Scheme 1, one of the obtained products, Th₂-Im was isolated by column chromatography and dried.

2.1. Instruments

Electrochemical polymerization was performed with a Princeton Applied Research Potentiostat model 2263 Potentiostat/Galvanostat interfaced to a PC computer and controlled PowerSuit software package in one-compartment cell by a three-electrode setup. Pt wires was used as counter and working electrodes, Ag wire was used as reference electrode. Fourier Transform Infrared-Attenuated Total Reflectance (FTIR-ATR) spectrometer (Perkin-Elmer, Spectrum One, having a universal ATR attachment with a diamond and ZnSe crystal C70951). A Perkin-Elmer spectrum software was used to carry out the FTIR-ATR measurements between 650 and 4000 cm⁻¹. UV-Visible data were obtained by using Perkin-Elmer Lambda 35 UV-Visible Spectrophotometer device. QUANTA 400F Field Emission SEM was performed to view the polymer surface images and PHI 5000 VersaProbe was used to obtain the X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) data.



Scheme 1. Reaction route. (Dolas et al., 2016)

3. Result and Discussion

The characterization of the obtained product (Th₂-Im) is given comparatively in Figure 1. Accordingly, FT-IR spectrum (Figure 1a) was obtained for the

characterization of structural bonds, XPS graph (Figure 1b) for the characterization of atomic content, and SEM image (Figure 1c) for the image of the obtained polymers. FT-IR peaks were collected in Table 1.

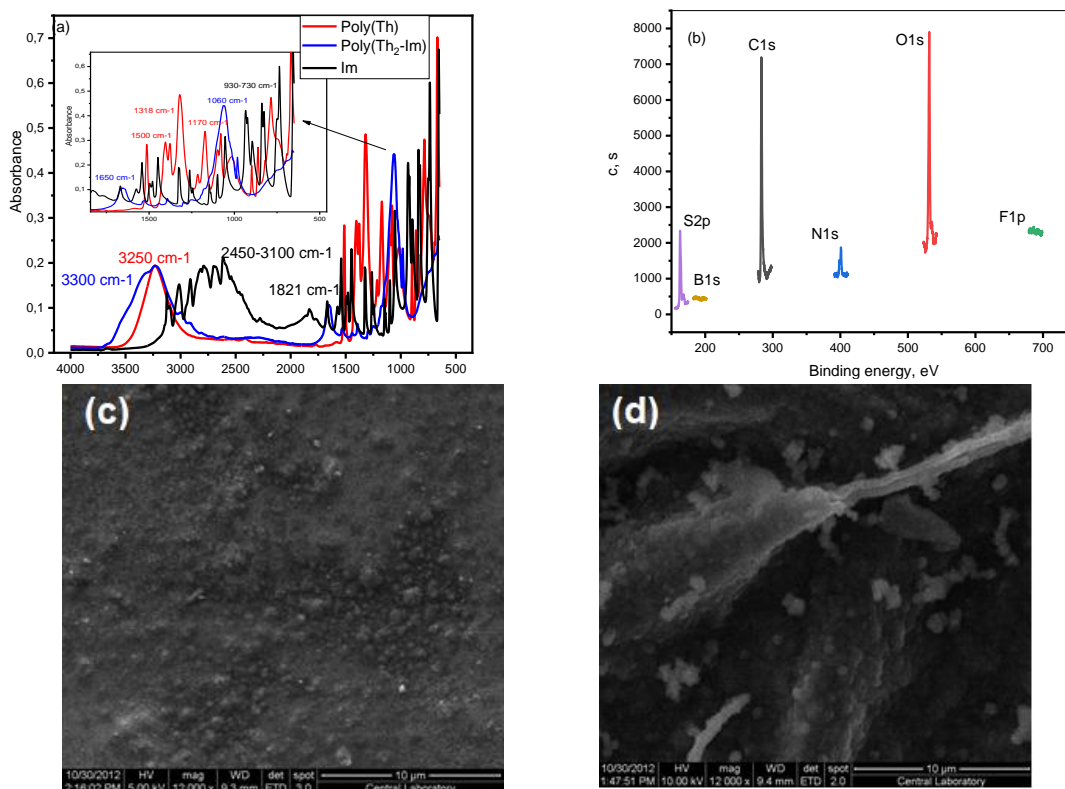


Figure 1. a) The FT-IR spectrum of Poly(Th), Im and Poly(Th₂-Im); b) XPS graph of Th₂-Im; SEM images of c) Poly(Th) and d) Poly(Th₂-Im)

As seen in the FT-IR spectrum, quite multiple sharp peaks were observed in the region (700-900 cm^{-1}) expressing aromatic ring CH bending I for Poly (Th) and Im, while broad peaks were observed in the same region in the Poly (Th2-Im) sample. In addition, C-S stretching peaks specific to the Th ring were

observed at 1170 cm^{-1} for Poly (Th), while they shifted to 1175 cm^{-1} for Poly (Th2-Im). For Poly (Th2-Im), C=C stretching peaks were observed at 1450 cm^{-1} , conjugation at 1650 cm^{-1} , aromatic =CH at 2900 cm^{-1} , and hydrogen bond stretching peaks belonging to NH were observed at 3300 cm^{-1} .

Table 1. The assignments peaks of the Im, Poly (Th) and Poly (Th2-Im)

Observed peak, cm^{-1}			
Im	Poly (Th)	Poly (Th2-Im)	Peak Assignments
400-750	400-750	730	Aromatic ring -CH bending (Socretis, 1980)
-	1170	1175	-CS stretching (Tanaka et al. 1986)
1100	1065	1060	Dopant anion (Dolas et al. 2016)
1318	1418	1450	Symmetric ring -C=C stretching (Furukawa et al. 1987)
1650, 1500	1500	1650	Conjugation
2750	-	2900	Aromatic ring =CH stretching (Sönmez and Sarac, 2002)
3100-2450	3250	3300	-NH stretching (Furukawa et al. 1987)

When the XPS graph was examined, the presence of the S atom belonging to the Th ring in the synthesis structure was observed in the 175 eV region, and the presence of the N atom belonging to the Im ring was observed in the 411 eV region. In addition, the B atom, which would indicate the presence of a small amount of dopant anion, was observed in the 202 eV region. In addition, the different texture of the SEM image of the obtained Poly(Th2-Im) from Poly(Th) was considered as evidence of a new co-monomer. It was observed that

Poly(Th2-Im) had a more distinct and regular geometric texture morphologically.

3.1. Electrochemical Polymerization:

To compare co-monomer Th2-Im with Th and Im monomer, each monomer and co-monomer were electrochemically polymerized using 100 mV s^{-1} scan rate in the potential range of 0-1.8 V. The applied conditions were: the amount of substance used was 0.01 M; BFEE:ACN (1:5 by volume) as electrolyte and 4 cycles. The obtained polymer growth (cyclic voltammetry-CV) graphs are given in Figure 2.

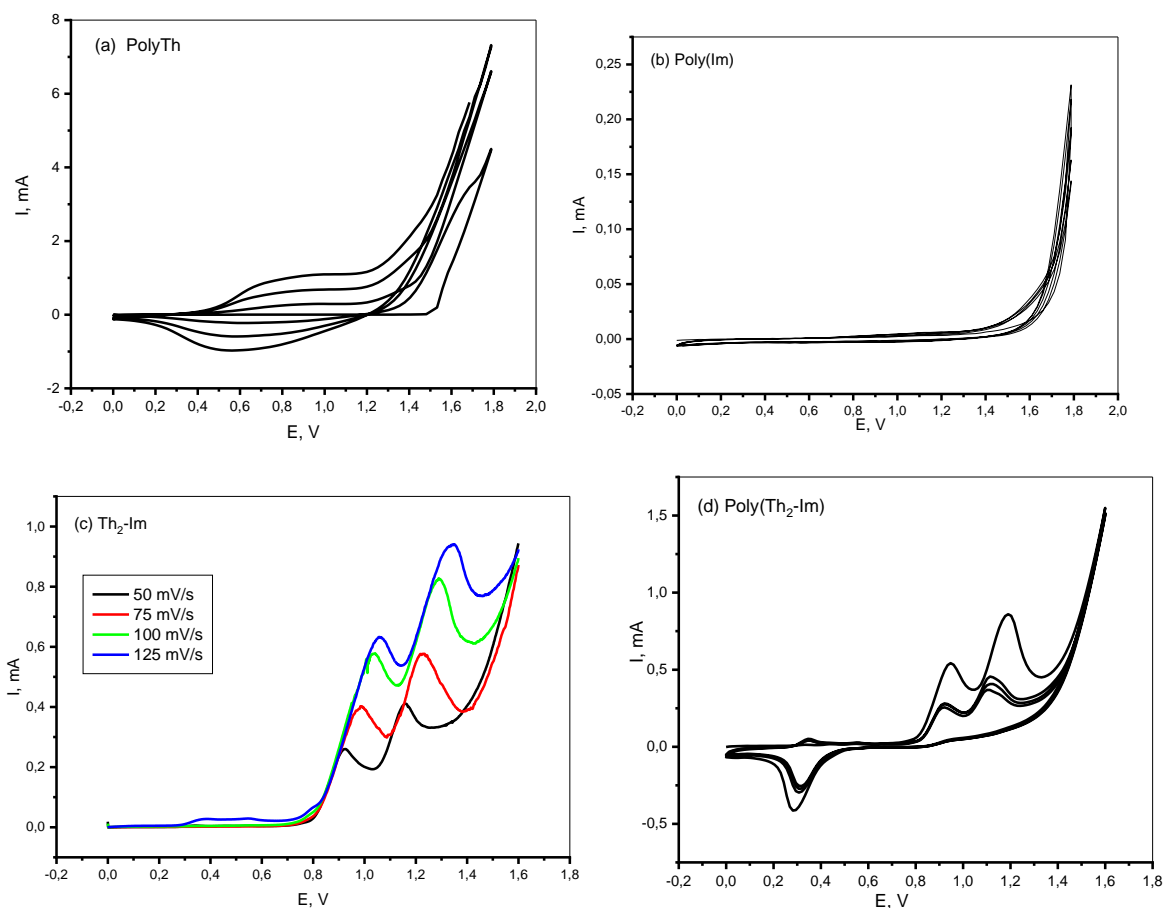


Figure 2. The CV of a) Poly (Th), b) Poly(Im), c) The LSV graph of Th₂-Im, d) The CV graph of Poly(Th₂-Im). (concentration: 0.01M; electrolyte: BFEE:ACN (1:5 as volume) Potential Range: 0-1.8V; scan rate: 100 mV s⁻¹, cycle number: 4.)

In order to perform the electropolymerization of Th and Im monomers, the potential range was selected high. In this range, Th was oxidized at 1.5 V, while Im was oxidized at 1.7 V. Th₂-Im was determined to be oxidized at 0.6 V in this range by taking linear sweep voltammetry (LSV) (Figure 2 c) at different scanning speeds.

Accordingly, it was polymerized very well on the electrode surface. In order to see the oxidation of the obtained polymers, the current changes at different scanning speeds in a monomer-free environment were examined. The data obtained in this investigation are given in Figure 3.

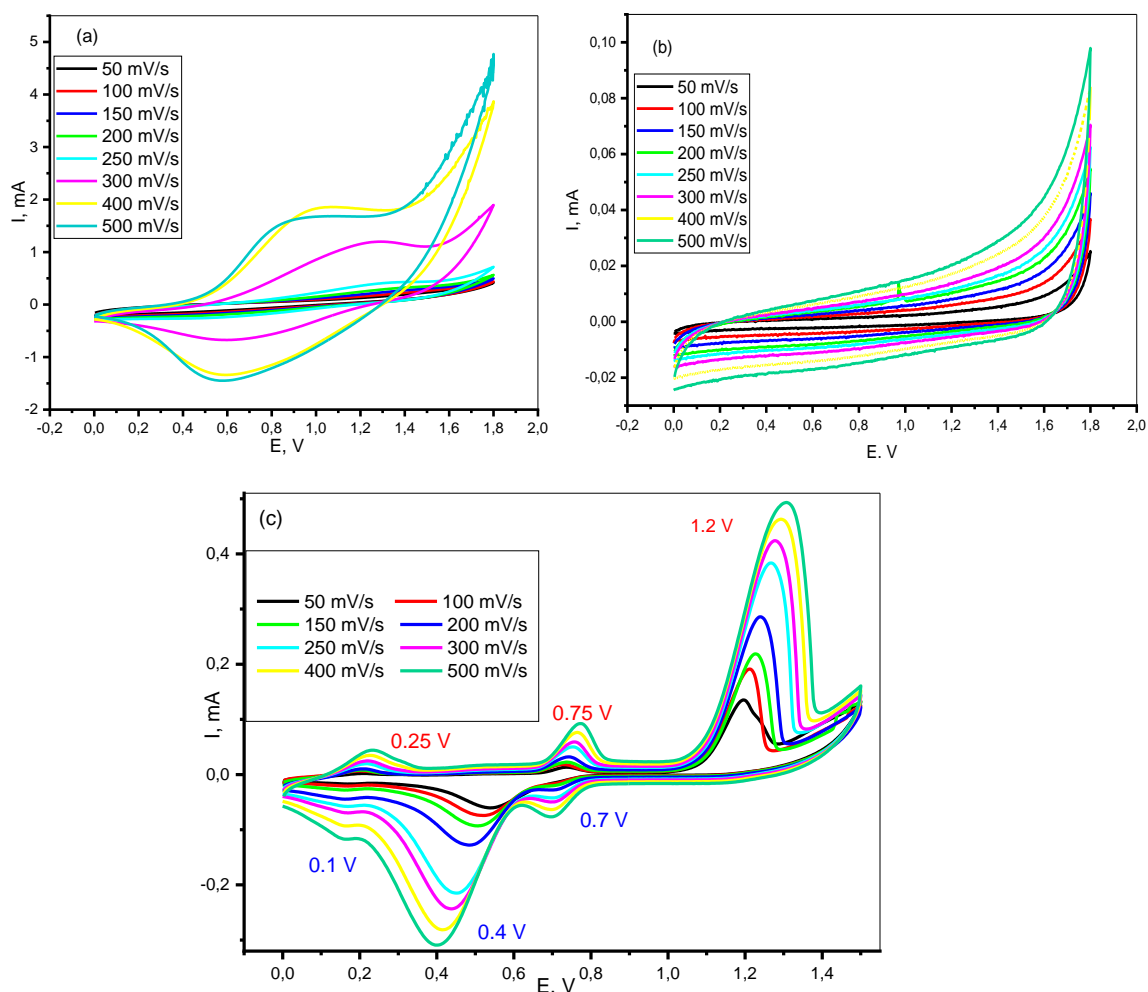


Figure 3. Monomer free graphs of a) Poly (Th), b) Poly(Im) and c) Poly(Th2-Im). (1:5 BFEE: ACN electrolyte; 0-1.5V potential range; Pt electrode)

When the obtained graphs were examined, it was seen that the polymer deposited on the electrode surface in the applied conditions of Poly (Th) (Figure 3a) was oxidized at 0.9 V, while Poly (Im) was oxidized at approximately 1.75 V. When the monomer-free environment graphs were examined at the same scanning speeds for Poly (Th2-Im), 3 oxidation peaks were clearly observed as 0.25 V, 0.75 V and 1.2 V and 3 reduction peaks as 0.7 V, 0.4 V and 0.1 V. It was determined from these data that the synthesis polymer obtained could be

polymerized more easily compared to Th and Im and that the donor-acceptor character could be clearly observed in the CV graphs. When the Th2-Im Comonomer transitioned into the polymer state, it was observed that the polymer state formed around the electrode and remained in the form of oligomer in the solution was dark green. The polymer state was also characterized by the visible region spectrum. The UV spectrum is given in Figure 4.

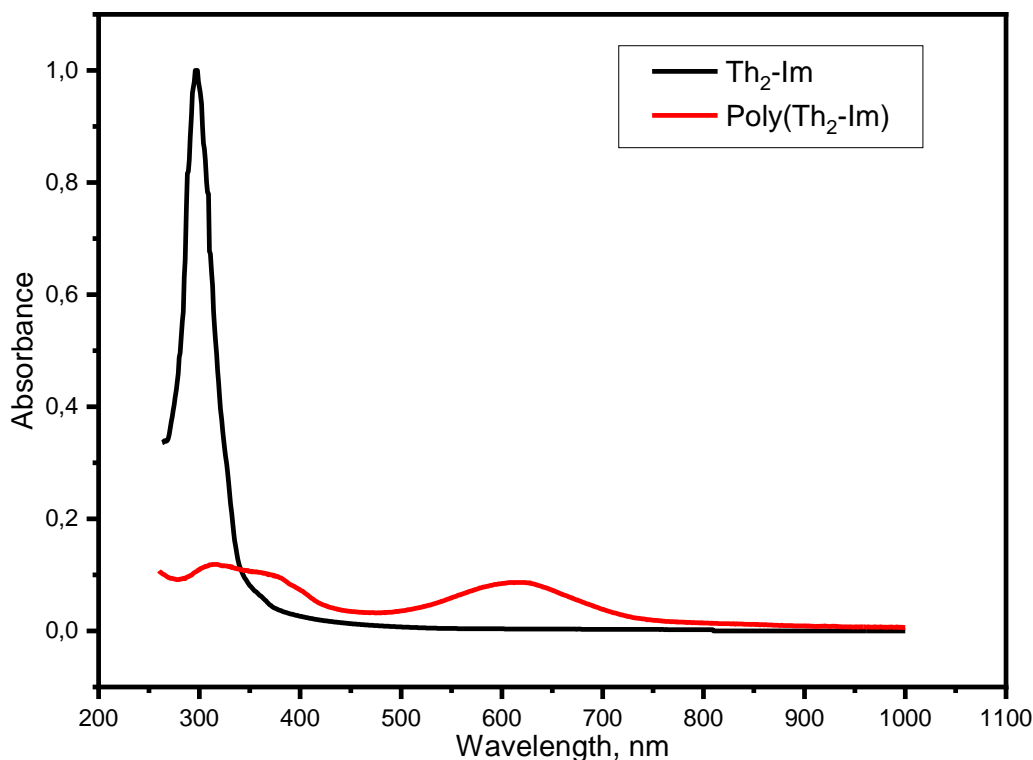


Figure 4. The UV spectrum of Th₂-Im and Poly(Th₂-Im), comparatively.

The UV spectrum of the solution prepared from the co-monomer obtained at the end of the synthesis gave a peak in the range of 260-300 nm; when the solution containing this co-monomer was electropolymerized, both the polymer accumulated around the electrode and the oligomer structure formed in the solution as long chains appeared dark green. It was thought that this situation was proven by the broad peak that poly(Th₂-Im) gave at 600 nm, unlike the co-monomer state. The broad peak in this region could not be observed in Th₂-Im.

4. Conclusion

In this study, by using Im and Th monomers, which are difficult to electropolymerize, electron donor-acceptor co-monomer carrying two Th rings (Th₂-Im) was obtained by Still Cross Coupling reaction. It was aimed to perform electropolymerization of Th and Im at lower potential and determine electron exchanges. FT-IR, XPS and SEM images of the obtained synthesis product were obtained and the difference between Im and Th was revealed. Accordingly, C-S stretching peaks specific to Th ring were observed at

1170 cm⁻¹ for Poly(Th) while it shifted to 1175 cm⁻¹ for Poly(Th₂-Im). C=C stretching peaks were observed at 1450 cm⁻¹ for Poly(Th₂-Im), conjugation at 1650 cm⁻¹, aromatic =CH at 2900 cm⁻¹, hydrogen bond stretching peaks belonging to -NH at 3300 cm⁻¹. In the synthesis structure, the presence of the S atom belonging to the Th ring was observed in the 175 eV region, and the presence of the N atom belonging to the Im ring was observed in the 411 eV region. In addition, the B atom, which indicates the presence of a small amount of dopant anion, was observed in the 202 eV region. It was determined by SEM images that Poly(Th₂-Im) had a more distinct and regular geometric texture than Poly(Th). It was determined that Th₂-Im was oxidized at 0.6 V from electrochemical polymerization. From monomer free CV, it was determined that Poly(Th₂-Im) showed 3 oxidation peaks as 0.25 V, 0.75 V and 1.2 V and 3 reduction peaks as 0.7 V, 0.4 V and 0.1 V. It was determined from these data that the synthesis polymer obtained could be polymerized more easily compared to Th and Im and that the donor-

acceptor character could be clearly observed in the CV graphs.

References

- Allard, S., Forster, M., Souharce, B., Thiem, H., Scherf, U., 2008. Organic semiconductors for solution-processable field-effect transistors (OFETs). *Angewandte Chemie international edition*, 47(22): 4070-4098.
- Arakl, M., Kato, K., Koyanagi, T., Machida, S., 1977. Spontaneous polymerization of maleic anhydride by imidazole derivatives. I. *Journal of Macromolecular Science: Part A - Chemistry*, 11(5): 1039–1052.
- Bahnous, M., Mouats, C., Fort, Y., Philippe C. G., 2006. Convenient multi-gram scale synthesis of polybrominated imidazoles building blocks. *Tetrahedron Letters*, 47(12): 1949-1951.
- Baran, D., Balan, A., Celebi, S., Esteban, B.M., Neugebauer, H., Sariciftci, N.S., Toppare, L., 2010. Processable multipurpose conjugated polymer for electrochromic and photovoltaic applications. *Chemical Materials*, 22(9): 2978–2987.
- Beaupr'e, S., Boudreault, P.T., Leclerc, M., 2010. Solar-Energy production and energy-efficient lighting: photovoltaic devices and white-light-emitting diodes using Poly(2,7-fluorene), Poly(2,7-carbazole), and Poly(2,7-dibenzosilole) Derivatives. *Advanced Materials*, 22(8): E6.
- Dmitrieva, J.E., Żolek, T., Maciejewska, D., Rybakiewicz-Sekita, R., Kutner, W., Noworyta, K.R., 2022. An insight into the polymerization process of the selected carbazole derivatives - why does it not always lead to a polymer formation? *Electrochimica Acta*, 429: 140948.
- Dolas, H., Sezer, E., Sarac, AS., 2016. Synthesis, characterization and electrochemical polymerization of a comonomer bearing thiophene and imidazole: the comparison of impedance behavior on different surfaces. *The Electrochemical Society, Journal of Solid State Science and Technology*, 5(5): P211.
- Furukawa, Y., Akimoto, M., Harada, I., 1987. Vibrational key bands and electrical conductivity of polythiophene, *Synthetic Metals*, 18(1-3): 151-156.
- Invernale, M.A., Ding, Y., Mamangun, D.M. D., Yavuz, M.S., Sotzing, G.A., 2010. Preparation of conjugated polymers inside assembled solid-state devices. *Advanced Materials*, 22(12): 1379.
- MacDiarmid, AG., 2001. "Synthetic metals": a novel role for organic polymers. *Current Applied Physics*, 1(4-5): 269-279.
- Mahimai, B.M., Li, E., Pang, J., Zhang, J., Zhang, J., 2024. Interface engineering in conducting polymers-based supercapacitor. *Journal of Energy Storage*, 96: 112598.
- Pournaghi-Azar, M-H., Habibi, B., 2007. Electropolymerization of aniline in acid media on the bare and chemically pre-treated aluminum electrodes: A comparative characterization of the polyaniline deposited electrodes. *Electrochimica Acta*, 52(12): 4222-4230.
- Soretis, G. 1980. Infrared Characteristic Group Frequencies. Wiley, London.
- Sönmez, G., Saraç, A.S., 2002. *In situ* spectroelectrochemistry and colorimetry of poly(pyrrole-acrylamide)s. *Journal of Materials Science*, 37:4609–4614.
- Tanaka, K., Shichiri, T., Yamabe, T., 1986. Influence of polymerization temperature on the characteristics of polythiophene films. *Synthetic Metals*, 16(2): 207-214.
- Zhang, Y., Li, R., Chang, L., Ma, Y., Hou, Y., Niu, H., 2022. Electropolymerization of Thiophene-Based Monomers with Different Spatial Structures: The Impact of Monomer Structure on Electrochromic Properties. *Macromolecular Chemistry and Physics*, 223(2): 2100341.

Zhou, M., Pagels, M., Geschke, B., Heinze, J., 2002. Electropolymerization of pyrrole and electrochemical study of polypyrrole. 5. controlled electrochemical synthesis and

solid-state transition of well-defined polypyrrole variants. *The Journal of Physical Chemistry B*, 106(39): 10065–10073.

To Cite: Dolas, H., 2025. The Synthesis and Electrochemical Characterization of an Electron Donor-Acceptor Co-Monomer. *MAS Journal of Applied Sciences*, 10(1): 72-80.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15087877>.

EEG Sinyallerinde Wavelet Dönüşümü ve CNN ile Duygu TanımaAbdulfatah KALAJE ¹, Hasan DEMİR ^{2*}¹ Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ² Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ*Sorumlu yazar (Corresponding author): hdemir@nku.edu.tr**Geliş Tarihi (Received):** 07.01.2025**Kabul Tarihi (Accepted):** 25.02.2025**Özet**

Bu çalışmada farklı Wavelet Dönüşümü yöntemleri kullanılmıştır. Wavelet Dönüşümü katsayıları kullanılarak edilen öznitelikler ile yapay sinir ağları ve konvolüsyonel sinir ağları kullanılarak EEG sinyallerinde duygu tanıma yapılmıştır. Dört kişiden alınan üç farklı duyguya ait EEG sinyallerine ait dataseti kullanılmıştır. Stresli, nötr ve rahat duyguları sınıflama amacıyla kullanılmıştır. Sürekli wavelet dönüşümü (CWT), 1D ve 2D için ayrık wavelet dönüşümü (DWT) ve senkronize sıkıştırılmış wavelet dönüşümü (SSWT) ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak EEG sinyallerinde duygu tanıma işlemi için uygun wavelet dönüşümü belirlenmeye çalışılmıştır. Senkronize sıkıştırılmış wavelet dönüşümünün (SSWT) en yüksek doğruluk, kesinlik, duyarlılık, özgüllük ve F1-skoru ile duygu sınıflandırması için en etkili algoritma olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Elektroensefalografi, makine öğrenmesi, duygu tanıma, konvolüsyonel sinir ağı**Emotion Recognition in EEG Signals with Wavelet Transform and CNN****Abstract**

In this study, different Wavelet Transform methods were used. Emotion recognition was performed on EEG signals using artificial neural networks and convolutional neural networks with the features obtained by using Wavelet Transform coefficients. A dataset of EEG signals belonging to three different emotions taken from four people was used. It was used to classify stressful, neutral and relaxed emotions. By comparing the results obtained with Continuous Wavelet Transform (CWT), Discrete Wavelet Transform (DWT) for 1D and 2D and Synchrosqueezed Wavelet Transform (SSWT), an appropriate wavelet transform was tried to be determined for emotion recognition on EEG signals. It was found that Synchrosqueezed Wavelet Transform (SSWT) was the most effective algorithm for emotion classification with the highest accuracy, precision, sensitivity, specificity and F1-score.

Keywords: Electroencephalography, machine learning, emotion recognition, convolutional neural network

1. Giriş

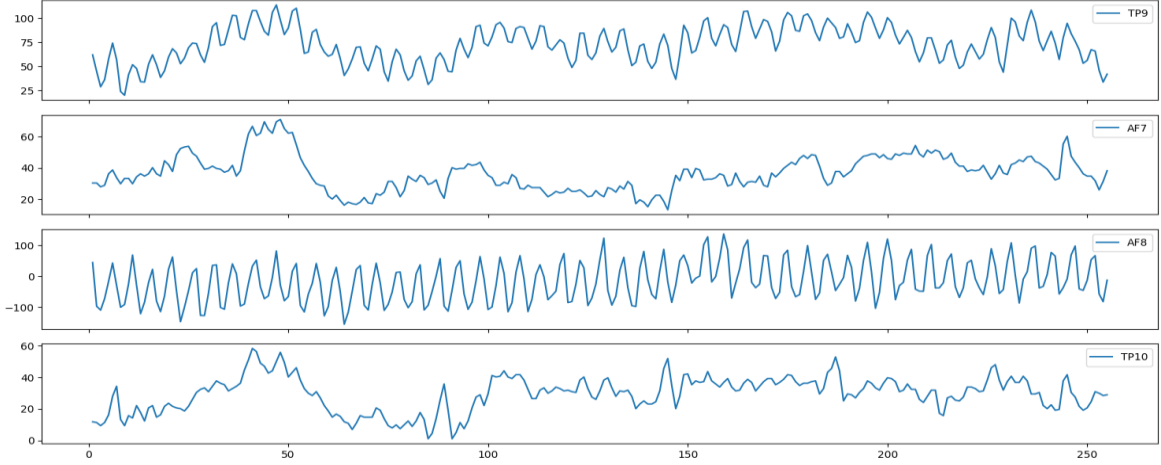
Duygular, günlük yaşantımızda karar verme süreçlerini, davranışları ve sosyal etkileşimleri etkileyerek önemli bir rol oynamaktadır. Ancak, duyguları ölçmek için kullanılan geleneksel yöntemler, kendi kendini raporlama ve davranışsal gözlem, genellikle verimli değildir ve bazı sınırlamalara ve önyargılara sahiptir. Bu nedenle, duyguların daha objektif ve güvenilir bir şekilde tanınması amacıyla fizyolojik sinyallerden yararlanılmaktadır. Fizyolojik sinyaller duyguların daha objektif ve doğrudan ölçülmesine olanak tanır. Bu amaçla elektroensefalogram (EEG) gibi beyin aktiviteleri incelenmektedir. EEG sinyalleri, beynin elektriksel aktivitelerini ölçerek duygusal durumların nörolojik temellerini ortaya koyar. Bu sinyaller, delta, teta, alfa, beta ve gama olmak üzere beş farklı frekans bandına ayrılmaktadır. Her bir frekans bandı, farklı duygusal ve bilişsel durumlarla ilişkilendirilir. Ayrıca, EEG, depresyon, anksiyete, şizofreni, uykusuzluk ve travma sonrası stres bozukluğu (PTSD) gibi duygusal bozuklukların teşhis ve tedavisinde önemli bir rol oynamaktadır. Mehmet Akif Özdemir ve Murside Degirmenci, Elif Izci ve Aydın Akan tarafından yapılan çalışmada (Özdemir ve ark., 2021), EEG sinyalleri kullanarak duygusal durumları (arousal ve valence modeli) tahmin etmek için bir yöntem geliştirmiş. FFT, PSD, CNN ve LSTM teknikleriyle elde edilen sonuçlar, valence için %94.07 (eğitim) ve %90.62 (doğrulama), arousal için ise %92.02 (eğitim) ve %86.13 (doğrulama) doğruluk oranlarına ulaşmıştır. Sumya Akter, Rumman Ahmed Prodhan, Tanmoy Sarkar Pias, David Eisenberg ve Jorge Fresneda Fernandez tarafından yapılan çalışmada (Aker ve ark., 2022), DEAP EEG veri seti kullanılarak 1D Evrişimli Sinir Ağı (CNN) modeliyle duygusal durum tahmini (valence ve arousal) için yüksek doğruluk oranları elde edilmiştir. EEG sinyalleri, FFT ile frekans düzlemine dönüştürülmeden önce 0.5-40 Hz bant geçiren filtre ile temizlenmiştir. İki farklı CNN modeli

(hafif ve ağır) kullanılarak, 14 EEG kanalı üzerinde yapılan analizde, hafif modelden %99.22 ve ağır modeli %99.89 doğruluk oranına ulaşmıştır. Aravind ve ark. (2017) tarafından yapılan çalışmada (Vijayan ve ark., 2015), EEG sinyallerinin analizi için wavelet dönüşümü kullanılmıştır. Özellikle, Daubechies ana waveleti, ortogonalite ve düzleştirme özellikleri nedeniyle tercih edilmiştir. Araştırmacılar, Shannon entropisini temel özellik olarak kullanarak bir duygu tanıma stratejisi geliştirmiş ve bu stratejiyi Çok Ölçekli Destek Vektör Makinesi (SVM) ile birleştirmiştir. Bu yöntem, heyecan, mutluluk, üzüntü ve nefret gibi dört temel duygunun sınıflandırılmasında %94.097 doğruluk oranına ulaşmıştır. Saranya K, Sudharson D, Gokila N M, Lakshmipriya S R ve Suriyavathi K A K tarafından yapılan çalışmada (Saranya ve ark., 2023), EEG sinyallerindeki anlamlı aktiviteyi ayırmak için ayrık wavelet dönüşümü (DWT) ve artefakt temizleme teknikleri kullanılmıştır. EEG sinyali 5 frekans bandına ayrıştırılarak, duygu tanıma için ANN, SVM, RNN, KNN, RF ve DNN gibi altı farklı makine öğrenimi algoritması test edilmiştir. En yüksek doğruluk %73.8 ile ANN tarafından elde edilirken, diğer algoritmalar %63.33 (SVM), %71 (RNN), %58.54 (KNN), %60.23 (RF) ve %70.83 (DNN) doğruluk oranlarına ulaşmıştır. Bu sonuçlar, ANN'nin duygu tanıma görevinde diğer yöntemlere kıyasla daha etkili olduğunu göstermektedir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Dataset

Bu çalışmada Ishan Agrawal tarafından yayımlanan EEG veri setini kullanılmıştır (Anonymous, 2024). Bu veri seti dört kişiden ölçülmüş olup, normal, stresli ve rahatlı üç duygu setini içerir. Sinyaller, TP9, TP10, AF7 ve AF8 olarak kafa derisine dört elektrot yerleştirilerek elde edilmiştir. Bu veri setindeki sinyaller için bir saniyede 256 ölçüm yapılmıştır. Şekil 1 birinci kişinin stres modunda EEG sinyali gösterilmiştir.



Şekil 1. EEG sinyali

2.2. Filtreleme

EEG sinyallerinin doğru şekilde işlenmesi, göz hareketleri, kas artefaktları, kardiyak etkiler ve cilt yüzeyi koşulları gibi gürültü kaynakları nedeniyle zorlu bir süreçtir. Bu gürültüler, sinyal kalitesini düşürerek analiz sürecini etkisiz hale getirebilir. Bu çalışmada bant geçiren filtresi 30 Hz ile 63 Hz aralığında ve 256 Hz örnekleme frekansı için uygulanmıştır. Bant geçiren filtreler, farklı beyin durumları ve bilişsel süreçlerle ilişkilendirilen belirli frekans bantlarını izole etmek ve analiz etmek için özellikle kullanışlıdır. Delta, theta, alfa, beta ve gama frekansları bantlarından oluşur. Bant geçiren filtrelerin uygulanmasıyla, EEG sinyallerinden

frekans özgül bilgileri çıkarılabilir ve hedeflenen frekans aralıklarında nöral osilasyonların dinamikleri incelenebilir (Bajaj, 2020).

2.3. Sürekli wavelet dönüşümü

Sürekli wavelet dönüşümü (CWT), sinyallerin zaman-frekans özelliklerini analiz etmek için kullanılan etkili bir yöntemdir. Durağan olmayan sinyallerin analizinde, hem zaman hem de frekans düzleminde lokalizasyon sağlar. CWT, farklı ölçeklerde ve ötelemelerle sinyalin detaylı bir şekilde incelenmesi sağlar. Matematiksel olarak (2.1) ve (2.2) denkleminde gösterir ve Şekil 1 EEG sinyali CWT sonucu Şekil 2'de gösterilmektedir (Lee ve Choi, 2019).

$$\psi(a, b)(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (2.1)$$

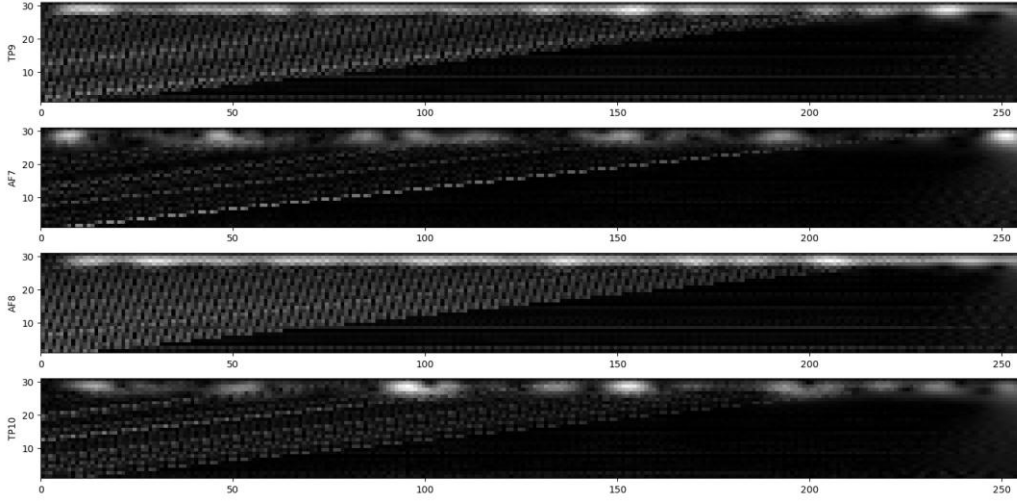
$$Wx(a, b) = \{x(t), \psi(a, b)(t)\} = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (2.2)$$

2.4. Ayrık wavelet dönüşümü

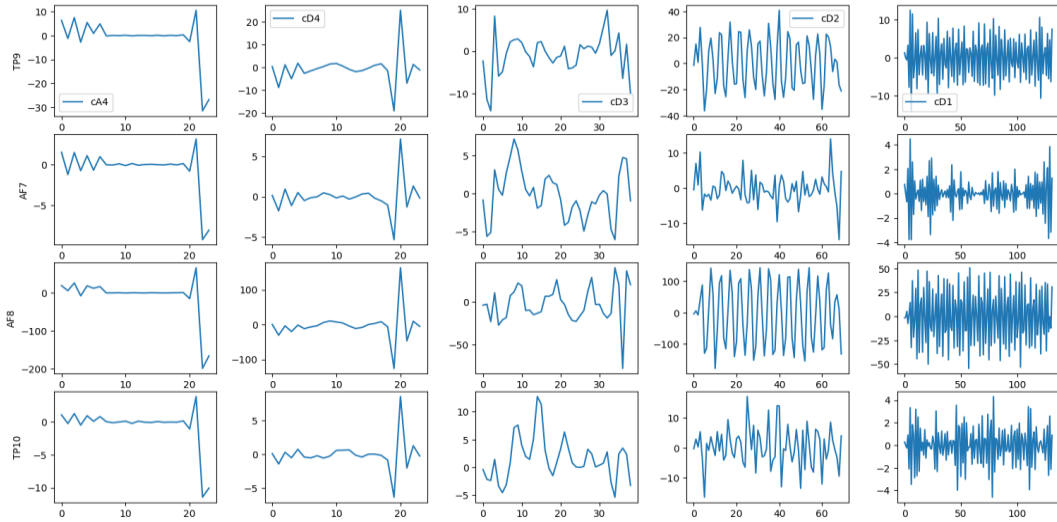
Ayrık wavelet dönüşümü ayrık sinyaller için kullanılır. Alçak, yüksek geçiren filtreleri ve alt örnekleme kullanarak sinyal detay ve

yaklaşımına ayrılmaktadır. Şekil 1 EEG sinyali 1D DWT ve 2D DWT Şekil 3 ve Şekil 4'te sonuçları gösterilmektedir ve matematiksel ifadesi denklem 2.3 de verilmektedir (Mallat, 1989).

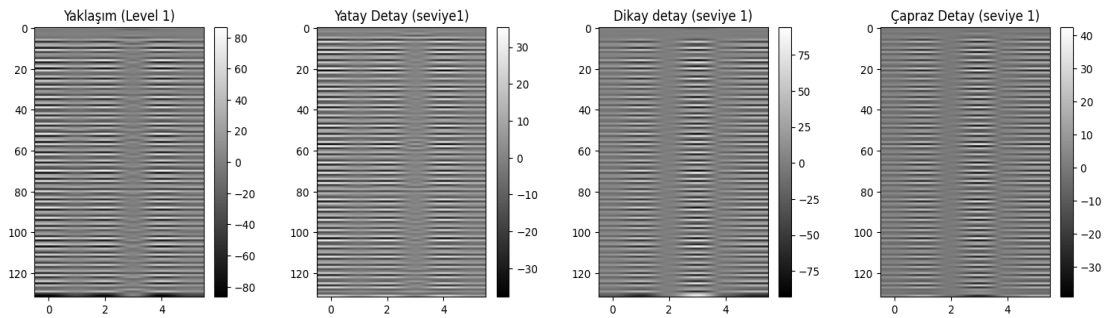
$$DWT(m, n) = \{x(t), \psi(m, n)\} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{1}{2^{\frac{m}{2}}} \cdot x(t) \cdot \psi(2^{-m} \cdot t - n) \quad (2.3)$$



Şekil 2. EEG sinyalin CWT



Şekil 3. EEG sinyalin dördüncü seviye 1D DWT



Şekil 4. EEG sinyalin 2D DWT

2.5. Senkronize sıkıştırılmış wavelet dönüşümü

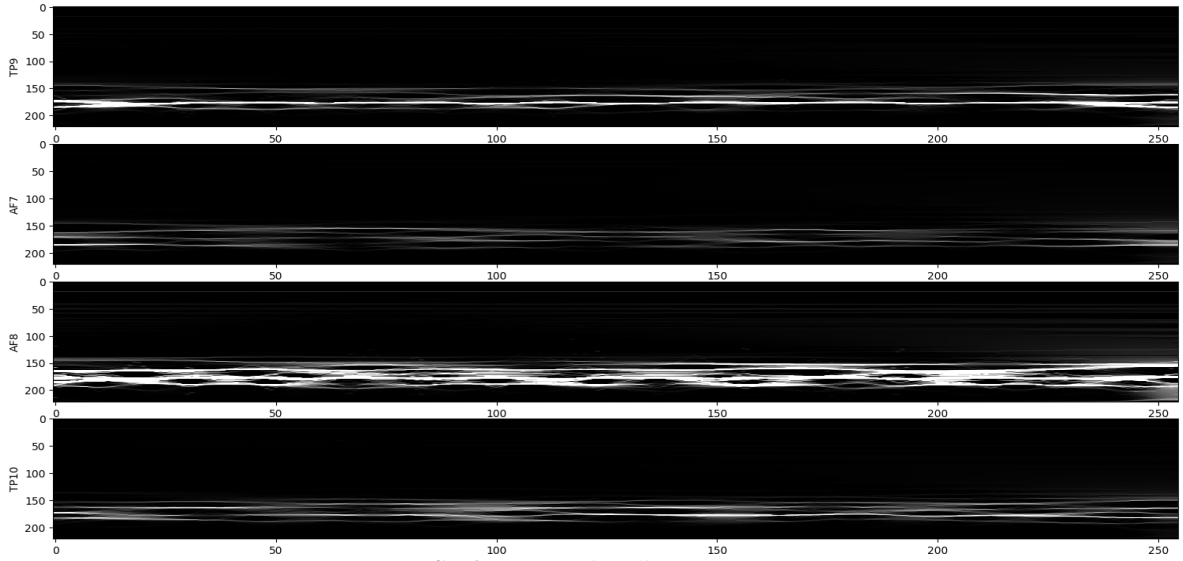
Senkronize sıkıştırılmış wavelet dönüşümü (SSWT), geleneksel wavelet dönüşümünün

sınırlamalarını aşarak, frekans bileşenlerini zamanda daha kesin bir şekilde yerleştirmek için yeniden tahsis tekniklerini ve anlık frekans $\omega_x(a,b)$ kullanır. Bu özellik, durağan olmayan sinyallerin EEG gibi analizinde büyük bir

avantaj sağlar. SSWT, sinyalin zaman-frekans düzlemindeki bileşenlerini daha yoğun ve keskin bir şekilde temsil eder. Matematiksel olarak, SSWT (2.1)(2.2)(2.4) ve (2.5)

$$\omega x(a, b) = -j \cdot (Wx(a, b))^{-1} \frac{\partial Wx(a, b)}{\partial b} \quad (2.4)$$

$$T(w, b) = \int_b Wx(a, b) \cdot \frac{1}{a} \delta(\omega x(a, b) - \omega) da \quad (2.5)$$



Şekil 5. EEG sinyalin SSWT

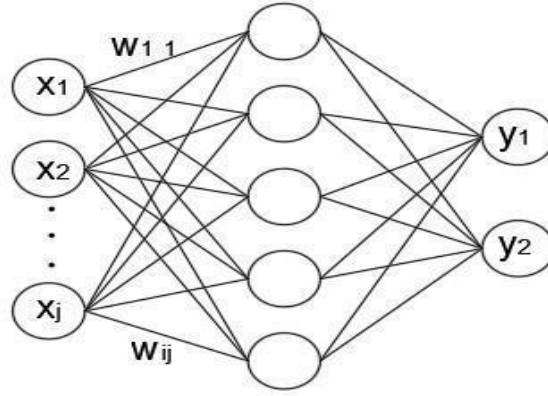
CWT'yi Şekil 2 ile SSWT'yi Şekil 5 ile karşılaştırılınca, SSWT'nin özellikleri nedeniyle, SSWT sinyalinin CWT'den daha net olduğu görülmektedir.

2.6. Yapay sinir ağları

Yapay sinir ağları (ANN), insan beyninin sinir ağlarının yapısı ve işleyişinden esinlenen hesaplamalı modellerdir. Şekil 6'de göre giriş katmanı, bir veya daha fazla gizli katman ve bir çıkış katmanından oluşur. Her nöron, girişleri alır, ağırlıklar ve önyargılar uygular ve bilgiyi bir aktivasyon fonksiyonu aracılığıyla

denklemlerde tanımlanır ve Şekil 1 EEG sinyali SSWT sonucu Şekil 5'de gösterilmektedir (Daubechies ve ark., 2011).

işleyerek bir çıkış üretir. ANN, eğitim sırasında bu ağırlıkları ve önyargıları, genellikle geri yayılım (backpropagation) gibi algoritmalar kullanarak ayarlayarak öğrenir. Bu süreç, tahmin edilen ve gerçek çıktılar arasındaki hatayı en aza indirerek ANN'ların kalıpları tanımasını, tahminler yapmasını ve karmaşık problemleri çözmesini sağlar. Ancak, eğitim için büyük miktarda veriye ve önemli hesaplama kaynaklarına ihtiyaç duyulması gibi zorlukları da vardır (Fieres ve ark., 2006).



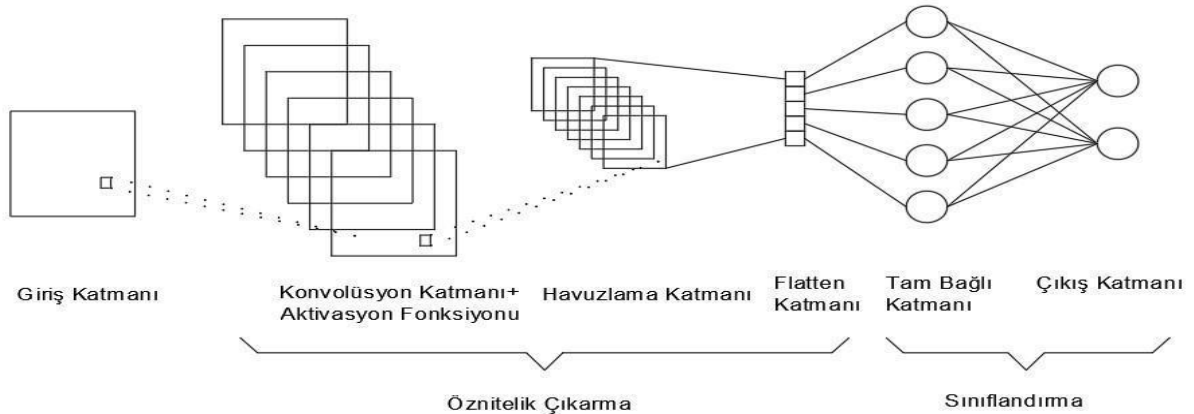
Şekil 6. Yapay sinir ağı mimarisi

2.7. Konvolüsyonel sinir ağı

Konvolüsyonel sinir ağı (CNN), yapılandırılmış grid verilerini kullanarak otomatik olarak öğrenen ve özellikleri çıkaran derin öğrenme modelidir. CNN'ler, veriler üzerinde kayan filtreler uygulayarak giriş verilerinden özellikleri algılamak ve öğrenmek için evrişimli katmanları kullanır. Bu tür sinir ağları, görüntü işleme, sinyal işleme, duygu algılama ve yüz tanıma gibi çeşitli uygulamalarda kullanılabilir. Mimari olarak

Şekil 7 gösterilmiş gibi, konvolüsyonli katmanlar, havuzlama katmanları ve çıkışı üreten tam bağlı katmandan oluşur. CNN'nin çalışma prensibi birçok adım içerir, ilk adımda, giriş değerleri bir matris biçiminde gösterilir. Daha sonra giriş matrisi I ve çekirdek matrisi K çarpılır çıkış matrisi elde edilir. Denklem 3.6'de giriş matrisinin boyutu N olarak, çekirdek matrisinin boyutu F ve çıkış matrisi onun boyutu olarak tanımlanmıştır (Albawi ve ark., 2017; Ghosh ve ark.2020).

$$O = (N - F) + 1 \quad (2.6)$$



Şekil 7. Konvolüsyonel sinir ağı mimarisi

3. Bulgular ve Tartışma

Bilgisayar benzetim hesaplamaları için python ve pywavelet (Lee ve ark., 2019), ssqueezepy (Anonim, 2020), keras (Anonim, 2015), matplotlib (Hunter, 2007), scipy (Virtanen ve ark., 2020), panda (McKinney, 2010), scikit-learn (Pedregosa ve ark., 2011) kullanılmıştır. EEG sinyallerinden öznitelikler

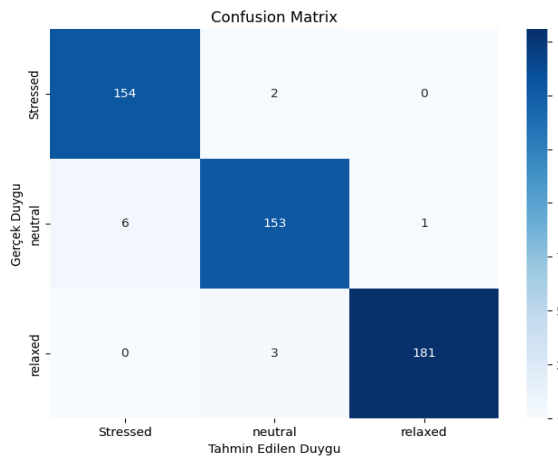
çıkarıldıktan sonra, duygu tanıma için bir CNN modeli tasarlanmıştır. Model, 128 (örneklene veri boyutu) * EEG kanal sayısı giriş vektörüyle başlar ve iki gizli katmandan oluşur: ilk katman 128 nöron, ikinci katman 64 nöron içerir. Her katmanda (3x3) filtre boyutu, ReLU aktivasyon fonksiyonu ve 2x2 maksimum havuzlama kullanılmıştır. Model,

32 nöronlu tam bağlantılı katman ve softmax aktivasyonlu 3 nöronlu çıkış katmanı ile sonlanır. Veri seti, %80 eğitim ve %20 test olarak ayrılmıştır. Model performansı, karışıklık matrisi ve duyarlılık, özgülük, kesinlik, F1 skoru gibi metriklerle değerlendirilmiştir. Farklı sinyal dönüşümleri

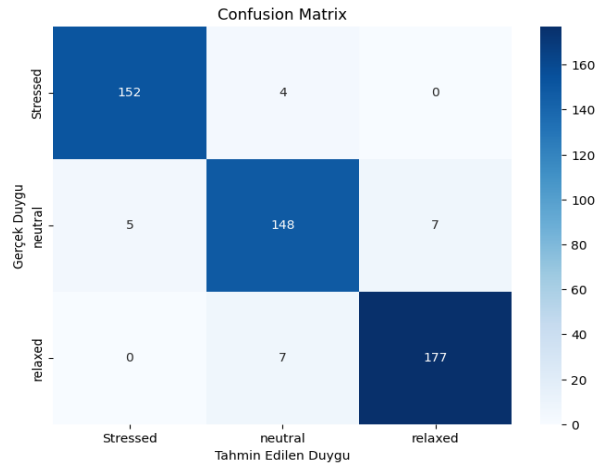
(CWT, DWT 1D, DWT 2D, SSWT) kullanılarak elde edilen sınıflandırma sonuçları Tablo 1'de, karışıklık matrisleri ise Şekil 8-11'te sunulmuştur. Bu metrikler, modelin duygu tanıma performansını kapsamlı bir şekilde analiz etmeyi sağlar.

Tablo 1. Sınıflandırma sonuçları

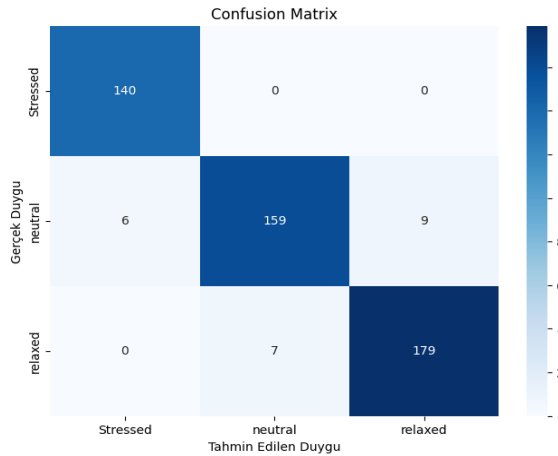
	Doğruluk	Duyarlılık	Kesinlik	Özgüllük	F1 skoru
CWT	98.4	97.69	98.82	97.51	97.53
DWT 1D	96.93	95.38	97.69	95.36	95.37
DWT 2D	97.06	95.87	97.77	95.62	95.71
SSWT	98.93	98.38	99.21	98.35	98.35



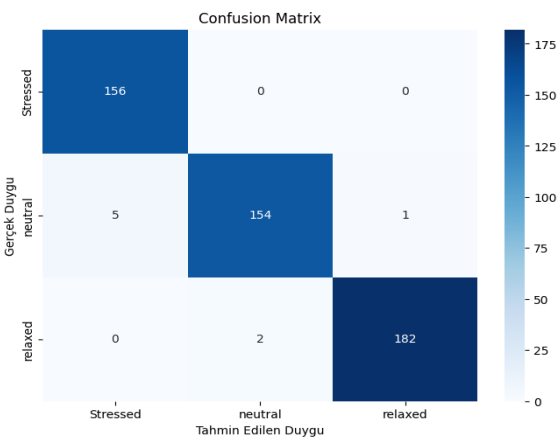
Şekil 8. CWT ve CNN karışıklık matrisi



Şekil 9. DWT 1D ve CNN karışıklık matrisi



Şekil 10. DWT 2D ve CNN karışıklık matrisi



Şekil 11. SSWT ve CNN karışıklık matrisi

Yukarıdaki şekil ve tabloya göre, Tablo 1, rahatlı, stresli ve normal sınıflarını (duygularını) içeren 4 sinyal dönüşümünün performansını göstermektedir. Bu tablo,

karışıklık matrisiyle bağlayan metrikleri ve model doğruluğunu içermektedir. CNN, 2D özellikleri tanıma yeteneği sayesinde duygu tanıma görevinde verimli sonuç elde

edilmektedir. Şekil 8-11, her bir sinyal dönüşümü için karışıklık matrislerini göstermektedir.

4. Sonuçlar

Duygu tanıma, EEG sinyallerinden wavelet dönüşümü kullanılarak özelliklerin çıkarılması ve bir CNN modeli ile sınıflandırma yapılmasıyla gerçekleştirildi. Bu çalışmada CWT, 1D DWT, 2D DWT ve SSWT. Sonuç olarak, SSWT'nin en yüksek doğruluk, kesinlik, duyarlılık, özgüllük ve F1-skoru ile duygu sınıflandırması için en etkili algoritma olduğu görülmektedir.

Yazarların Katkı Beyanı

Yazarlar makaleye eşit katkıda bulduklarını, makalenin yayına hazır son halini gördüklerini/okuduklarını ve onayladıklarını beyan ederler.

Çıkar Çatışması Beyanı

Tüm yazarlar, bu çalışma için herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Açıklama

Bu çalışma ilk yazarın yüksek lisans tezinden üretilmiştir

Kaynaklar

Akter, S., Prodhon, R.A., Pias, T.S., Eisenberg, D., Fresneda Fernandez, J., 2022. M1M2: deep-learning-based real-time emotion recognition from neural activity. *Sensors*, 22(21): 8467.

Albawi, S., Mohammed, T.A., Al-Zawi S., 2017. Understanding of a convolutional neural network. *International Conference on Engineering and Technology*, 21 August, pp. 1-6.

Anonim, 2015. Keras. (<https://keras.io>), (Accessed: 04.01.2025).

Anonim, 2020. ssqueezepy, (<https://github.com/OverLordGoldDragon/ssqueezepy/>), (Accessed: 04.01.2025).

Anonim, 2024. EEG Signal for stress detection, (<https://www.kaggle.com/datasets/ishan8055/eeg-signal-for-stress-detection>), (Accessed: 04.01.2025).

Bajaj, N., 2020. Wavelets for EEG analysis. *Wavelet Theory*, 1-16.

Daubechies, I., Lu, J., Wu, H.T., 2011. Synchrosqueezed wavelet transforms: An empirical mode decomposition-like tool. *Applied and Computational Harmonic Analysis*, 30(2): 243-261.

Fieres, J., Schemmel, J., Meier, K., 2006. Training convolutional networks of threshold neurons suited for low-power hardware implementation. *IEEE International Joint Conference on Neural Network*, Proceedings Book, pp. 21-28.

Ghosh, A., Sufian, A., Sultana, F., Chakrabarti, A., De, D., 2020. Fundamental concepts of convolutional neural network. *Recent Trends and Advances in Artificial Intelligence and Internet of Things*, 519-567.

Hunter, J.D., 2007. Matplotlib: A 2D graphics environment. *Computing in Science & Engineering*, 9(03): 90-95.

Lee, H.K., Choi, Y.S., 2019. Application of continuous wavelet transform and convolutional neural network in decoding motor imagery brain-computer interface. *Entropy*, 21(12): 1199.

Lee, G., Gommers, R., Waselewski, F., Wohlfahrt, K., O'Leary, A., 2019. PyWavelets: A Python package for wavelet analysis. *Journal of Open Source Software*, 4(36): 1237.

Mallat, S.G., 1989. A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 11(7): 674-693.

McKinney, W., 2010. Data structures for statistical computing in Python. *SciPy*, 445(1): 51-56.

- Ozdemir, M.A., Degirmenci, M., Izci, E., Akan, A., 2021. EEG-based emotion recognition with deep convolutional neural networks. *Biomedical Engineering/Biomedizinische Technik*, 66(1): 43-57.
- Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., Duchesnay, É., 2011. Scikit-learn: Machine learning in Python. *The Journal of Machine Learning Research*, 12: 2825-2830.
- Saranya, K., Sudharson, D., Gokila, N.M., LakshmiPriya, S.R., Suriyavathi, K.A.K., 2023. Emotion Recognition using EEG Signal Classification of seed Dataset. *2nd International Conference on Advancements in Electrical, Electronics, Communication, Computing and Automation (ICAECA)*, Proceedings Book, pp. 1-6.
- Vijayan, A.E., Sen, D., Sudheer, A.P., 2015. EEG-based emotion recognition using statistical measures and auto-regressive modeling. *IEEE International Conference on Computational Intelligence & Communication Technology*, pp. 587-591.
- Virtanen, P., Gommers, R., Oliphant, T.E., Haberland, M., Reddy, T., Cournapeau, D., Van Mulbregt, P., 2020. SciPy 1.0: fundamental algorithms for scientific computing in Python. *Nature Methods*, 17(3): 261-272.

Atf Şekli: Kalaje, A., Demir, H., 2025. EEG Sinyallerinde Wavelet Dönüşümü ve CNN ile Duygu Tanıma. *MAS Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 10(1): 81-89.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15088482>.

To Cite: Kalaje, A., Demir, H., 2025. Emotion Recognition in EEG Signals with Wavelet Transform and CNN. *MAS Journal of Applied Sciences*, 10(1): 81-89.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15088482>.

Effect of Temperature Fluctuations on Biological Activity and Membrane Performance in Anaerobic Membrane Reactors

Birkut GÜLER ^{1*}, Mehmet Emin ARICI ²

¹ Giresun University, Bulancak Vocational School, Department of Mechanical and Metal Technologies, Giresun

² Karadeniz Technical University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Trabzon

*Corresponding author: birkut.guler@giresun.edu.tr

Received: 07.01.2025

Accepted: 25.02.2025

Abstract

Anaerobic membrane bioreactors (anMBR) are increasingly used in wastewater treatment processes. These reactors aim to increase treatment efficiency by combining membrane filtration with biological treatment. In this context, many factors need to be taken into consideration in order to effectively maintain the biological processes taking place in reactors. Water temperature is one of these factors and can significantly affect treatment performance by directly affecting the metabolism of microorganisms. It is known that an increase in water temperature improves the performance of bacteria used in the treatment process. In the current study, it was observed that physical properties changing with temperature slightly reduced treatment performance and it was concluded that the appropriate treatment temperature value is 35 °C, which is still valid in practice. This result provides critical information for optimizing anMBR systems and opens the door to new research on how certain temperature ranges can increase the effectiveness of treatment processes.

Keywords: anMBR, temperature, permeate, water treatment

1. Introduction

Anaerobic membrane reactors (anMBR) are increasingly becoming a preferred technology in wastewater treatment processes. These systems allow microorganisms to break down organic matter without oxygen and produce methane gas. Temperature plays a critical role in anMBR processes; it can increase treatment efficiency by directly affecting the activity of microorganisms and biogas production. Temperature changes can lead to unexpected results by affecting the fluid properties and heat transfer within the reactor. In addition, the integration of membrane technologies increases the effect of temperature management on the performance of membranes. In this context, this thesis aims to investigate the effects of temperature differences on mass transfer and treatment efficiency in anMBR applications. The results of the research will contribute to the development of more sustainable and effective water treatment methods. In wastewater treatment technologies, anaerobic membrane reactors (anMBR) have developed remarkably in recent years. There are many studies showing that increasing wastewater temperature in these reactors positively affects treatment performance. In particular, it has been observed that increasing temperature increases bacterial productivity and thus improves membrane performance (Ding et al., 2014; Özgün et al., 2015). The effects of temperature difference on mass transfer stand out as an important mechanism in terms of membrane treatment efficiency (Qtaishat et al., 2008; Glavatskiy et al., 2012). Some studies in the literature examine the interaction between temperature and mass and heat transfer in detail. For example, Gryta et al. (1997) and Charfi et al. (2010) analyzed the mechanisms of temperature effects on membranes and revealed the effects of heat transfer on mass transfer. In this context, Phattaranawik et al. (2003) and Alkudhiri et al. (2012) investigated the effects of temperature and pressure difference on membrane processes and emphasized the potential of high temperatures to increase overall efficiency.

Another study examining the effects of temperature on treatment performance was conducted by Gao et al. (2014). This study revealed that decreasing the temperature during the treatment of domestic wastewater with fluidized bed anMBR negatively affected COD removal and methane production. Another study conducted by Özgün et al. (2015) evaluated the effects of temperature change on membrane fouling and treatment performance in UASB anMBR systems. As a result, better understanding the effects of temperature change on the membrane is an important step to increase the efficiency of anMBR systems. In this context, studies in the existing literature focusing on the effects of temperature on membrane performance in anMBR systems are of great importance for optimizing treatment processes and increasing efficiency. Temperature stands out as an important parameter to be taken into consideration in anMBR processes and it is concluded that further research is required on this subject.

2. Anaerobic Membrane Reactors

Anaerobic treatment technology has a wide range of applications in the effective treatment of industrial wastewater. The main advantage of this technology is the economic benefits it provides in the treatment of wastewater containing high organic pollution. When compared to aerobic treatment processes, anaerobic treatment processes are considered to be more cost-effective. Especially in recent years, anaerobic treatment methods have also started to be used in domestic wastewater treatment. Anaerobic membrane bioreactor (anMBR) is formed by the integration of existing anaerobic treatment technologies (such as UASB, EGSB) with membrane technology. In these systems, wastewater is treated by means of reactors containing anaerobic bacteria. The reactor structure can be designed in different ways, such as upflow or holding, depending on the characteristics of the facility. Methane bacteria in the reactor decompose pollutants called chemical oxygen demand (COD) into chemical building blocks

and convert them into methane gas, thus providing wastewater treatment. In anaerobic treatment processes, the decomposition of organic substances occurs in two main stages. During the first stage, hydrolysis and acid fermentation, organic substances are converted into organic acids, alcohols and carbon dioxide by acid bacteria. In the second stage, the metabolic products of acid bacteria are converted into methane, carbon dioxide and water by methanogens. The efficiency between these stages depends on the appropriate time for wastewater and methane bacteria to come together and for the bacteria to complete their growth phase (Anonymous, 2021a). Membrane technology allows the wastewater separated into building blocks from the anaerobic treatment pool to be subjected to a second treatment process. The membrane acts as a transition barrier between anaerobic bacteria and treated water. The transition mechanism in membranes is carried out by the osmotic pressure created due to the hydraulic pressure or density difference depending on the system used. Treated water is called “filtrate” and can be used in secondary works such as garden irrigation, fire extinguishing or discharged directly to the receiving environment, depending on the condition of the facility. Thanks to the physical separation

ability of the membranes, the retention of small bacteria that have not yet completed their growth phase within the system provides a significant advantage over traditional treatment systems. In anaerobic membrane applications, the drift of bacteria that have a sandy structure and have not yet completed their growth phase with the wastewater poses a major problem, while these problems are minimized with the use of membranes.

The advantages of using membranes after anaerobic treatment can be summarized as follows:

The COD values of the outlet water are quite low. There is no bacteria in the outlet water of the systems. Water that does not contain bacteria and has low pollution values increases the reusability of water. There is no need for a biological treatment stage in an MBR systems, which means less space is needed for businesses. The absence of an airless stage prevents the formation of waste sludge and eliminates the need for a sedimentation tank. In anaerobic treatment plants, more economical and easy-to-manage facilities can be created by replacing the airy stage, which is difficult to operate and manage, with a membrane. The solid model and working principle of such an anaerobic reactor is given in Figure 1.

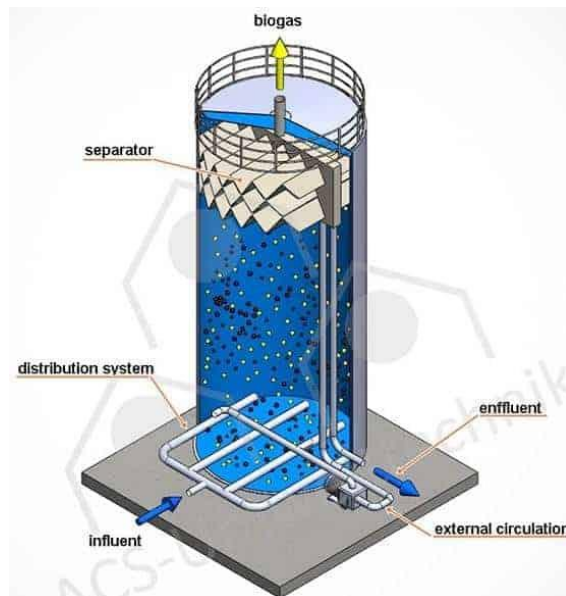


Figure 1. Anaerobic membrane reactor (Anonymous, 2021b)

3. Membrane Technologies and Integration

3.1. Membrane technologies

Membranes are permeable layers with fine pores and are manufactured from various materials. Membrane types used to obtain clean water are classified as microporous (MF), ultrafiltration (UF), nanofiltration (NF)

and reverse osmosis (RO). Ultrafiltration membranes are the most commonly used in wastewater treatment. The efficiency of membranes is measured by two main parameters, selectivity and continuity. There are four main membrane types: flat plate, hollow fiber, tubular and multi-hole membranes. Figure 2 shows the internal structure of the membrane.

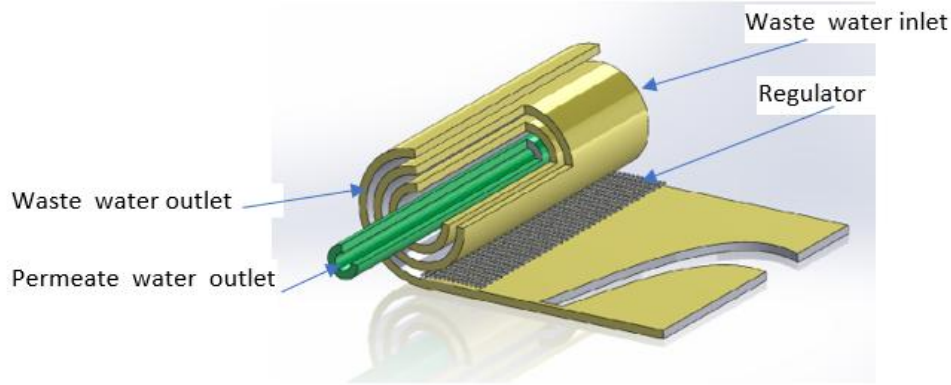


Figure 2. Structural representation of the membrane (Anonymous, 2021c)

3.2. Integration of membrane systems into wastewater treatment plants

Anaerobic membrane reactors (anMBR) perform second-stage treatment using ultrafiltration or microfiltration membranes instead of aeration tanks. These systems overcome the disadvantages of traditional methods, provide high COD removal efficiency and take up less space. anMBRs are effective in treating wastes with low biodegradability and provide energy savings. The membrane filter fabric retains solids as small as 0.2 microns and is cleaned by periodic backwashing with purified water.

4. Traditional Waste Water Treatment System

Classical treatment systems perform pre-treatment with coarse and fine screens to prevent unwanted substances from entering the facility. In facilities with large flow rates of wastewater, pre-sedimentation tanks are used to reduce the load on the anaerobic reactor. Unwanted physical structures such as coarse particles, foam and oil are cleaned in these tanks. Water is brought to a neutral pH value

for suitable bacterial growth in the anaerobic reactor; sodium hydroxide (caustic) is used for this purpose. After the balancing tank, the wastewater is fed to the anaerobic reactor with centrifugal pumps. In this process, methane bacteria break down the wastewater and produce CO_2 , CH_4 and H_2S gases. The amount of methane shows the efficiency of the treatment process and an average of 0.35 liters of CH_4 is produced for 1 gram of COD removal. The bacteria used in the anaerobic reactor vary according to temperature and climate conditions; the most common type is mesophilic bacteria. The methane gas formed is 5 times more polluting than CO_2 and can be purified and used as fuel. However, since purification is costly, some companies prefer to burn methane gas and release it into the atmosphere. The pH value can affect the bacterial balance in the reactor; inappropriate pH values can cause the bacteria to die. While the operation of anaerobic membranes is easy with the control of a few parameters, the operation of the air stage is more difficult and costly. Figure 3 shows traditional treatment plant.

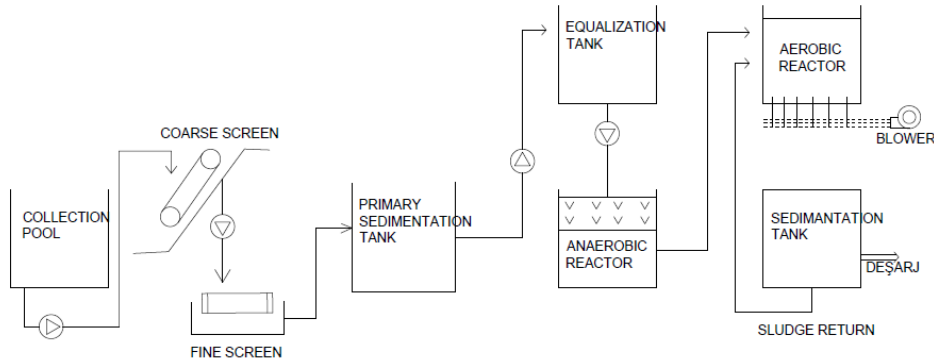


Figure 3. Schematic view of a traditional treatment plant

4.1. Anaerobic reactor and methane bacteria

Methane bacteria in anaerobic reactors exhibit different characteristics depending on operating temperatures and climate conditions. While the temperature range in which they operate most efficiently varies, the most commonly used type is mesophilic bacteria, and their efficiency increases up to 35 °C. The pollutant nature of the produced methane gas is 5 times higher than CO₂, which means that methane gas can be used as fuel after undergoing the necessary purification processes. Businesses that avoid high investment costs can burn the formed methane

gas and release it into the atmosphere. Other gases are directed to the air purification stage and are expected to have a catalyst effect; in facilities without air purification, purification processes are required for the disposal of gases. When the pH value of the water fed to the reactor is acidic or basic, the bacterial balance may be disrupted, which leads to a decrease in purification quality and the death of bacteria. Bacteria in the death stage can be easily observed with water. While anaerobic membranes are simpler to operate with control of a few key parameters, controlling large numbers of bacteria in aerobic stages is more complex and costly.

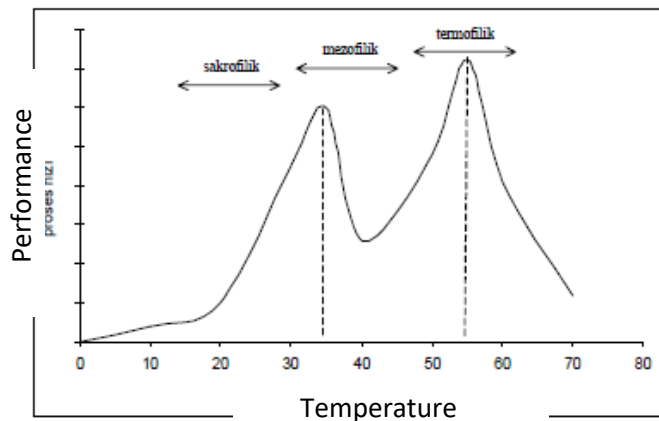


Figure 4. Relationship between temperature and performance of anaerobic bacteria (Joseph, 2019)

4.2. Anaerobic membrane bioreactors (anMBR)

Anaerobic membrane bioreactors (anMBR) include the pretreatment and

balancing processes in conventional treatment systems. These processes are similar to activated sludge systems. It is useful to have a second fine screen in the system to ensure that

anaerobic bacteria crawl on the membrane and to remove large particles that may cause damage.

There are two main approaches to the application of membrane modules in wastewater treatment plants:

Direct Immersion: Placing membrane modules directly into the anaerobic reactor.

External Integration: Integrating the membrane system with an external tank.

Both of these methods increase the functionality of the membrane application in the system. Figure 5 shows the place of the membrane application in a conventional treatment system.

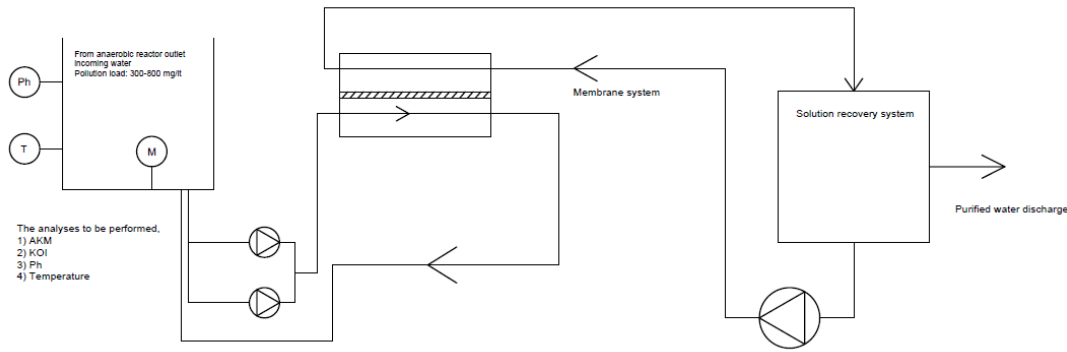


Figure 5. The position of membrane application in anaerobic treatment systems

5. Materials and Methods

An important problem in industrial wastewater treatment is the amount of waste sludge formed during the treatment process. After anaerobic reactors, the required pollution values can be achieved by using aerobic reactors. However, anaerobic membrane bioreactor (anMBR) applications are becoming increasingly widespread in order to reduce sludge formation and increase reactor efficiency. There are two basic membrane

approaches in main wastewater treatment systems:

Forward Osmosis: In this method, osmotic pressure is created by the density difference between wastewater and solution water, and the contaminants are retained by the membrane.

Reverse Osmosis: Here, the wastewater is pressurized with a pump and passed over the membrane, and the contaminants are again retained. These applications are designed to increase the treatment performance of wastewater.

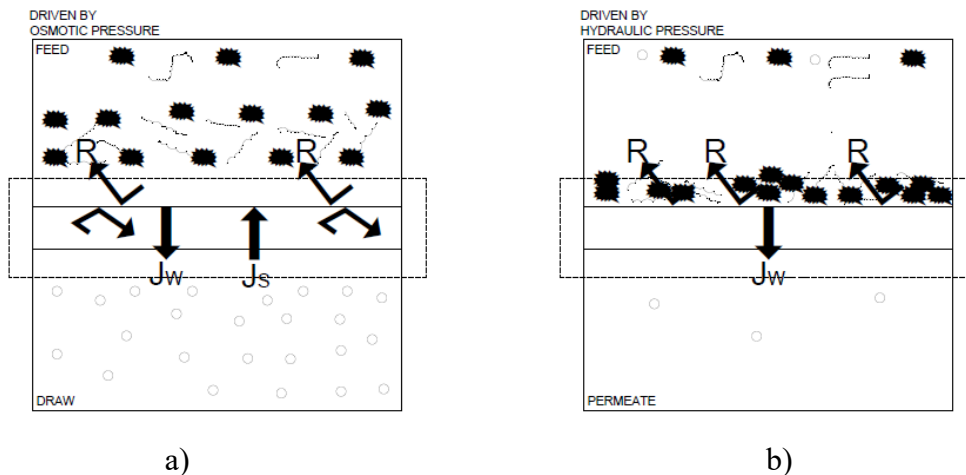


Figure 6. Membran systems a) Forward osmosis b) Reverse osmosis

5.1. Numerical studies

In this study, Forward Osmosis system in wastewater treatment is modeled using OpenFOAM open source code.

5.1.1. Membrane model in OpenFOAM in forward osmosis application

OpenFOAM® program is an open source toolkit used in solutions. This software, which is a registered trademark of OpenCFD Limited, develops CFD packages and has expanded significantly in the last decade. Schematic representation for Forward Osmosis application is given in Figure 7. The function of the membrane is to separate the desired phase from the undesired phase. In this context, the part of the water passing through the membrane is called “feed” and the part where the particles added with the starting solution are located is called “draw”. If the driving force is due to the pressure based on the chemical potential difference, this system is called FO (Forward Osmosis).

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho U}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U U) = \nabla \cdot [\mu (\nabla U + \nabla U^T)] - \nabla p + \rho g \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho m_A}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U m_A) - \nabla \cdot [\rho D_{AB} \nabla m_A] = 0 \quad (3)$$

Figure 7 shows the flux vectors in the numerical solution region. The membrane separates the feed and suction regions; where J_w represents the clean water passing to the suction side and J_s represents the solution flux forced to the feed side.

$\Delta P = 0$ is assumed across the membrane, so the transport equations are obtained. The flux is calculated by balancing the convection-

5.1.2. Modeling with forward osmosis approach

The schematic representation in Figure 7 shows a membrane where the feed side is separated by the suction. As the wastewater flows from the feed side, the unwanted fractions are retained by the membrane and only J_w (relatively clean water) passes to the suction side.

The analytical model is based on the balancing of the chemical potentials of the feed and suction at the membrane interface. In this model, the transport equation for each component includes the Fick diffusion expression. The membrane allows water to pass through and rejects the contaminants. A schematic representation of this mechanism is also provided. The transport and mass transfer equations expressed by Gruber et al. are defined in terms of the mass fraction of the solvent m_A (Gruber et al., 2011).

diffusion terms due to zero pressure drop. The membrane is assumed to have homogeneous mechanical properties. The water flux is calculated with the following equations (Koch, 2015)

Here J_w is the clean water passing to the suction side and J_s is the blocked solution flux; A and B coefficients are determined experimentally.

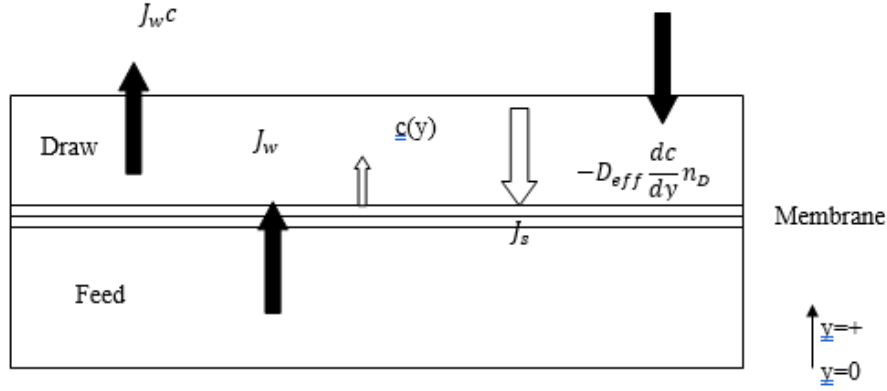


Figure 7. Representation of flux vector directions

$$J_w = A(\pi_I - \pi_{F,m})n_D \quad (4)$$

$$J_s = -B(c_I - c_{F,m})n_D \quad (5)$$

In previous studies, density, viscosity, mass diffusion coefficient and osmotic pressure have been shown to depend on the solute mass fraction (Gruber et al., 2011). The following empirical equations were used to show the dependence of these variables on the solute mass fraction (Geraldes et al., 2001). The assumptions are as follows:

The main force acting on the liquid is only the gravitational force.

$$\rho = 997.1 + (694)m_A \quad (6)$$

$$\mu = 0,89 \cdot 10^{-3} + (1,45 \cdot 10^{-3})m_A \quad (7)$$

$$D_{AB} = \max(1,61 \cdot 10^{-9}(1 - 14m_A), 1,45 \cdot 10^{-9}) \quad (8)$$

$$\pi = (805,1 \cdot 10^5)m_A \quad (9)$$

5.1.3. Velocity boundary conditions

In the current model, the membrane is not considered as a separate flow area. The velocity and solute concentration boundary conditions for the membrane surface are solved using empirical equations. In the case of

The pressure gradient across the membrane is zero.

The amount of solution remains constant.

Density, viscosity and diffusion coefficient vary depending on the solute mass fraction.

The following equations express these variables:

OpenFOAM, the H and C files are compiled into a user-defined library and then imported into the OpenFOAM file system.

The water flux through the membrane is modeled using the linear relationship between solute concentration and osmotic pressure. The water flux equation is given below:

$$J_w = \frac{1}{K} \ln \left[\frac{B + A\pi_{d,m}}{B + |J_w| + A\pi_{f,m}} \right] n_d \quad (10)$$

Here,

A: Pure water permeability coefficient.

B: Solution permeability coefficient.

K: Membrane interface diffusion resistance coefficient.

$\pi_{d,m}$: Osmotic pressure between the porous surface and the active layer of the membrane.

$\pi_{f,m}$: Osmotic pressure across the feed side membrane.

n_d : Unit normal vector at the porous boundary.

For these coefficients, the numerical values given in Gruber et al. 2011 were used.

$$A = 1.10^{-12} \left[\frac{m}{s.Pa} \right] \quad (11)$$

$$B = 1.10^{-12} \left[\frac{m}{s} \right] \quad (12)$$

$$K = 0.5 \left[\frac{s}{\mu m} \right] \quad (13)$$

5.1.4. Solution boundary conditions

If the water flux in the membrane is expressed in this way, the solution flux for

$$J_s = - \left[\frac{B}{\varphi.A} \right] J_w \quad (14)$$

$$\varphi = \frac{\pi}{c} = 805.10^2 \quad (15)$$

Here ϕ represents the linear proportionality between the osmotic pressure and the solution concentration within the membrane structure. In this case, mixed boundary conditions (“Robin BC”) can be written for the solution mass fraction (Lee et al., 1981).

$$\rho_m \left(-D_{AB} \frac{\partial m_A}{\partial n_D} n_D + m_{A,m} J_w \right) = J_s \quad (16)$$

6. Finding and Discussion

In wastewater treatment processes, the efficiency and performance of bacteria are affected by many factors such as operating temperatures. The temperature at which mesophilic bacteria, especially used in anaerobic reactors, operate at their highest efficiency is generally determined as 35 °C. This temperature range is of critical importance in terms of increasing bacterial activity and increasing the efficiency of the

FOmembrane application can be written as a function of the water flux. (Koch, 2015).

Also, to maintain mass balance, the convective flux and diffusive solution flux must be kept in balance. Therefore, it is more convenient to use the following equation for the solution boundary condition in the membrane:

wastewater treatment process. This study aims to examine the effects of temperature changes on the overall efficiency of membranes and treatment systems due to the changes in the physical properties of water.

6.1. Effect of temperature on water flux

The operating temperatures of bacteria used in anaerobic reactors vary according to their species. The temperature at which mesophilic bacteria, which are widely used in our country, operate with the highest efficiency is 35 °C.

According to the literature, each 1 °C increase in temperature increases the treatment performance of bacteria by 5%. The change in temperature also affects the physical properties of water. It has been shown that the pump power required for wastewater treatment increases inversely proportional to the temperature difference between the inlet and outlet of the reactor (Ugrozov and Kataeva 2004). In addition, it is stated that the heat transfer caused by the temperature difference positively affects mass transfer (Glavatskiy et al., 2013). It has been shown that in permeable pipe or plate flows, heat transfer and therefore mass transfer increase with the increase in the temperature difference between the two surfaces of the membrane (Gryta et al., 1997; Phattaranawik et al., 2003; Qtaishat et al., 2008; Buia et al., 2010). Heating wastewater increases the performance of bacteria and

reduces treatment costs (Ferrer et al., 2015). In membrane systems and membraneless anaerobic reactors, heating wastewater increases membrane performance and treatment capacity. In systems where FO is applied, it is clear that the feed and suction sides will reach thermal equilibrium after a certain period of time and the temperatures will be equal as long as heat is not drawn from the solution recovery tank. In this study, temperature values of 10°C, 20°C, 30°C and 35°C were taken into account for both sides of the membrane, respectively, and the energy equation solution was carried out with the physical properties of the water at these temperatures. The physical properties at these temperatures are given in Table 1. The thermal boundary condition on the membrane was evaluated as a zero temperature gradient in the direction perpendicular to the axis.

Table 1. Physical properties of water at different temperatures

Physical properties Temperature	Density (ρ) (kg m ⁻³)	Dynamic viscosity(μ) (kg ms ⁻¹)	Kinematic viscosity(φ) (m ² s ⁻¹)	Thermal diffusion coefficient (α) (m ² s ⁻¹)
10 °C	999.65	0.0013076	0.0000013081	1.38.10 ⁻⁷
20 °C	998.19	0.001005	0.0000010023	1.43.10 ⁻⁷
30 °C	995.67	0.000797	8.005.10 ⁻⁷	1.47.10 ⁻⁷
35 °C	994.06	0.0007198	7.24.10 ⁻⁷	1.49.10 ⁻⁷

As a result of applying the boundary condition on the membrane to the energy equation, which is Equation (29), it was observed that after a certain period of time, the supply and suction sides reached thermal equilibrium and the temperatures were equalized. It was observed that the supply and

suction sides reached thermal equilibrium in the steady state and the momentum equation was solved by examining the effect of temperature on the physical properties of water. The effect of temperature on water flow is given in Figure 8.

$$\frac{\partial \rho T}{\partial t} + \nabla(\rho UT) = \nabla(\rho \alpha \nabla T) \quad (17)$$

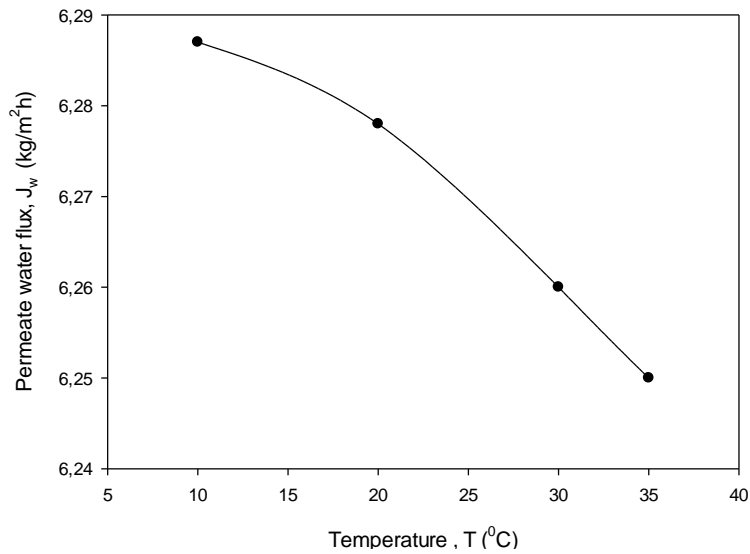


Figure 8. Variation of water flux with temperature

Studies have shown that bacteria used in anMBRs improve their treatment performance with increasing temperature (Özgün et al., 2005). In the literature, it is stated that a 1°C increase in water temperature increases bacterial treatment performance by 5%. The numerical results in the current study show that a 10°C temperature increase reduces water flux by 0.15%. This situation reveals that the positive effect of increasing temperature on the performance of bacteria is more important than the decrease in water flux resulting from the effect of temperature on physical properties. As a result, it is evaluated that it is appropriate to carry out the treatment process at 35°C as recommended in the literature.

7. Conclusion

This study investigated the effects of temperature on water flux in anaerobic membrane bioreactors (anMBR). It is stated in the literature that the optimum temperature for bacterial activity is 35 °C and every 1 °C increase increases the treatment efficiency by 5%. However, in the present study, it was observed that the increase in temperature caused a decrease in water flux by 0.15%. However, it was concluded that the increase in bacterial performance was more important than the decrease in water flux due to changes in physical properties. In this context, it is

suggested that the temperature should be optimized to increase the treatment efficiency in anMBRs.

Declaration of Author Contributions

The authors declare that they have contributed equally to the article. All authors declare that they have seen/read and approved the final version of the article ready for publication.

Declaration of Conflicts of Interest

All authors declare that there is no conflict of interest related to this article.

References

- Alkudhiri, A., Darwish, N., Hilal, N., 2012. Membrane distillation: a comprehensive review. *Desalination*, 287: 2–18.
- Anonymous, 2021a. Waste water treatment, Dokuz Eylül University Lecture Notes, (<http://web.deu.edu.tr/atiksu/ana58/bolum07.pdf>), (Accessed: 09.12.2021).
- Anonymous, 2021b. UASB Reactors (<https://www.muhendisbeyinler.net/uasb-kolon-reaktorler/>), (Accessed: 10.01.2021).
- Anonymous, 2021c. Membran structure (<https://www.antiskalant.net/>) (Accessed: 10.01.2021).

- Buia, V.A., Vub, L.T.T., Nguyen, M.H., 2010. Modelling the simultaneous heat and mass transfer of direct contact membranedistillation in hollow fibre modules. *Journal of Membrane Science*, 353: 85–93.
- Charfi, K., Khayet, M., Safi, M.J., 2010. Numerical simulation and experimental studies on heat and mass transfer usingsweeping gas membrane distillation. *Desalination*, 259: 84–96.
- Ding, Y., Tian, Y., Li, Z., Liu, F., You, H., 2014. Characterization of organic membrane foulants in a forward osmosis membrane bioreactor treating anaerobic membrane bioreactor effluent. *Bioresource Technology*, 167: 137–143.
- Ferrer, J., Pretel, R., Duran, F., Giménez, J.B., Robles, A., Ruano, V.M., Serralta, J., Ribes, J., Seco, A., 2015. Design methodology for submerged anaerobic membrane bioreactors (AnMBR): a case study. *Separation and Purification Technology*, 141: 378–386.
- Gao, D., Hu, Q., Yao, C., Ren, N., 2014. Treatment of domestic wastewater by an integrated anaerobic fluidized-bed membrane bioreactor under moderate to low temperature conditions. *Bioresource Technology*, 159: 193–198.
- Glavatskiy, K., Pharoah, J.G., Kjelstrup, S., 2013. Thermal phenomena associated with water transport across a fuel cell membrane: soret and dufour effects. *Journal of Membrane Science*, 431: 96-104.
- Gruber, M.F., Johnson C.J., Tang, C.Y., Jensen, M.H., Hélix-Nielsen, C., 2011. Computational fluid dynamics simulations of flow and concentrationpolarization in forward osmosis membrane systems. *Journal of Membrane Science*, 379: 488-495.
- Gryta, M., Tomaszewska, M., Morawski, A.W., 1997. Membrane distillation with laminar flow. *Separation and Purification Technology*, 11: 93-101.
- Joseph, C.A., 2019. Anaerobic Waste Water Treatment and Biogas Plants. CRC Press, London.
- Koch, J.R.L., 2015. Genetic algorithm based optimization of baffle positions in a forward osmosis draw channel. Master Thesis, Washington University, Missouri.
- Lee, K.L., Baker, R.W., Lonsdale, H.K., 1981. Membranes for power generation by pressure- retarded osmosis. *Journal of Membrane Science*, 8(2):141–171.
- Özgül, H., Tao, Y., Ersahin, M.E., Zhou, Z., Gimenez, J.B., Spanjers, H., Van Lier, J.B., 2015. Impact of temperature on feed-flow characteristics and filtration performance of an upflow anaerobic sludge blanket coupled ultrafiltration membrane treating municipal wastewater, *Water Research*, 83: 71-83.
- Phattaranawik, J., Jiratananon, R., Fane, A.G., 2003. Heat transport and membrane distillation coefficients in direct contact membrane distillation, *Journal of Membrane Science*, 212: 177–193.
- Qtaishat, M., Matsuura, T., Kruczek, B., Khayet, M., 2008. Heat and mass transfer analysis in direct contact membrane distillation, *Desalination*, 219: 272–292.
- Ugrozov, V.V., Kataeva, L.I., 2004. Mathematical modeling of membrane distiller with liquid gap. *Desalination*, 168: 347-353.

DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15094019>

Research Article

Synthesis, Characterization, and Thermal Properties of Cd(II) and Hg(II) Complexes Containing *N,N'*-bis(2-hydroxyethyl)piperazine and Saccharinate

Serkan GÜNEY ^{1*} ¹ Ordu University, Ulubey Vocational Higher School, Ordu*Corresponding author: serkanguney@odu.edu.tr

Received: 08.01.2025

Accepted: 25.02.2025

Abstract

New complexes of Cd(II) and Hg(II) incorporating *N,N'*-bis(2-hydroxyethyl)piperazine (bheppz) as a ligand, along with saccharinate (sac), were synthesized. The characterization of these complexes, proposed to have the general structure $[M(\text{sac})_2(\text{bheppz})]_n$ ($M = \text{Cd(II)}$ or Hg(II)), was conducted using elemental composition determination, FT-IR spectral analysis, and thermal analysis techniques. The complexes were synthesized by reacting $[\text{Cd}(\text{sac})_2(\text{H}_2\text{O})_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ and $[\text{Hg}(\text{sac})_2]$ with bheppz. Based on the IR spectra, it has been suggested that the sac ligand coordinates through the N atom, which is its most common coordination mode. Additionally, the bheppz ligand was proposed to act as a bridging ligand via its nitrogen and oxygen donor atoms, leading to the formation of polymeric structures. The immediate precipitation of the complexes as powders during synthesis and their low solubility in common solvents further support their polymeric nature. The IR spectra of the complexes exhibited characteristic absorption bands corresponding to both bheppz and sac ligands. Thermal dissociation studies revealed that the bheppz ligand was exothermically eliminated in the first step, while the sac ligand dissociated in two exothermic steps at higher temperatures. The final decomposition products were identified as CdO for $[\text{Cd}(\text{sac})_2(\text{bheppz})]_n$ (1) and elemental mercury for $[\text{Hg}(\text{sac})_2(\text{bheppz})]_n$ (2), with mercury volatilizing from the system at elevated temperatures.

Keywords: Thermal analysis, *N,N'*-bis (2-hydroxyethyl) piperazine, saccharin complexes

1. Introduction

Piperazine is a flexible heterocyclic compound that holds significant importance in metal complex formation, as it can stabilize various geometric configurations. The structural adaptability of piperazine allows it to function as a monodentate or bidentate ligand through its nitrogen atoms, and in certain instances, it can serve as a linker connecting two metal centers. Additionally, the introduction of functional groups into the piperazine ring can enhance its coordination ability by providing additional donor atoms (Ciccarese et al., 1998; Zhao et al., 2004; Yılmaz et al., 2008a; Yılmaz et al., 2008b). This versatility has led to the widespread use of piperazine-based complexes in catalyst design, material science, and biomedical applications. Recent studies have demonstrated that piperazine and its derivatives exhibit antimicrobial (Gharbi et al., 2023; Adejoh et al., 2024), antibacterial (Kant and Maji, 2023; 2024), antifungal (Nadaf et al., 2020), anticancer (Pait et al., 2014; Nemati et al., 2021; Ragab et al., 2022), and antineurotic (Jaziri et al., 2023) properties, further increasing interest in their coordination chemistry.

Saccharin, an artificial sweetener discovered in 1879 by Remsen and Fahlberg at Johns Hopkins University, is widely used as a sugar substitute due to its intense sweetness, cost-effectiveness, and thermal stability (Anderson and Deskins, 1995). Beyond its

applications in food and pharmaceuticals, saccharin has attracted considerable interest in metal complex formation because of its versatile binding capabilities. The sodium salt of saccharin (sodium saccharinate) has excellent solubility in water, with a concentration of 830 g L^{-1} at $20 \text{ }^\circ\text{C}$, which further increases its effectiveness in metal complex formation. The sac anion can coordinate to metal centers via its negatively charged nitrogen atom and the oxygen atoms in its carbonyl and sulfonyl groups, allowing for a range of coordination modes (Baran and Yılmaz, 2006).

Recent advancements in mixed-ligand metal complexes have opened new possibilities in chemistry and biochemistry, particularly for systems that incorporate saccharinate (sac) and *N,N'*-bis(2-hydroxyethyl)piperazine (bheppz) as ligands. These complexes exhibit unique biological activity, catalytic potential, and thermal stability, making them attractive for various applications (Ulukaya et al., 2011; Ari et al., 2013; 2014; Al-Jibori et al., 2014; Shehata et al., 2016; İçsel et al., 2024). The bheppz ligand (Figure 1a) contains four donor atoms, allowing it to form strong coordination bonds with metal centers, while the saccharinate anion (Figure 1b) contributes additional stability and electronic effects to the resulting complexes (Yılmaz et al., 2008c; Shehata et al., 2016; Shehata et al., 2019).

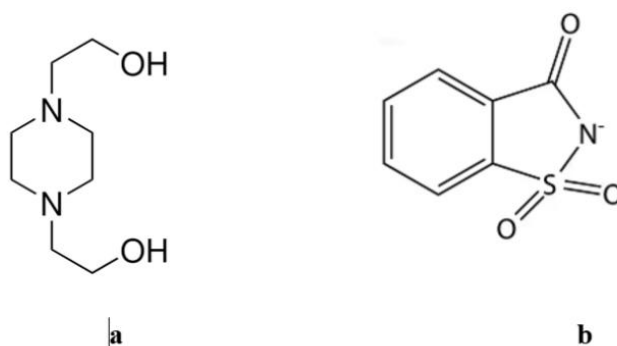


Figure 1. The molecular structures of bheppz (a), sac (b)

This research investigates the preparation, structural analysis, and thermal behavior of polymeric Cd and Hg compounds that incorporate sac and bheppz as ligands. The main objective is to uncover the chemical and physical characteristics of these new coordination materials and assess their possible applications in fields such as catalysis, materials science, and biochemistry.

2. Materials and Methods

2.1. Materials and instruments

All chemicals used in this study were sourced commercially and utilized without further purification. The precursor complexes $[\text{Cd}(\text{sac})_2(\text{H}_2\text{O})_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ and $[\text{Hg}(\text{sac})_2]$ were prepared according to methods described in the literature (Biedermann et al., 1971; Kamenar and Jovanovski, 1982; Haider et al., 1985).

Infrared (IR) spectra were recorded using a Mattson 1000 FTIR spectrophotometer. Samples were prepared as KBr pellets, and spectra were obtained within a frequency range of $4000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$. Elemental analysis for carbon, hydrogen, and nitrogen was performed with a LECO CHNS 932 Elemental Analyzer. Thermogravimetric (TGA) and differential thermal analysis (DTA) were carried out on a Rigaku TG8110 thermal analyzer under static air conditions, with sample sizes ranging from 5 to 10 mg.

2.2. Synthesis

Complex 1: A solution of bheppz ligand (0.348 g, 2.0 mmol) in 20 ml of methanol was

slowly added dropwise to a methanolic solution (20 ml) of $[\text{Cd}(\text{sac})_2(\text{H}_2\text{O})_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (1.0 mmol) while stirring continuously at room temperature. The mixture was stirred for 1 hour using a magnetic stirrer. After a few days, the powdered complex was obtained. Yield: 90%. Decomposition temperature: $246\text{ }^\circ\text{C}$. Complex 2: It was synthesized in the same way as complex 1 using $[\text{Hg}(\text{sac})_2]$ instead of $[\text{Cd}(\text{sac})_2(\text{H}_2\text{O})_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Yield: 82%. Decomposition temperature: $117\text{ }^\circ\text{C}$.

3. Findings and Discussion

In the $[\text{Ag}(\mu\text{-sac})(\mu\text{-bheppz})]_n$ complex, which was synthesized and structurally analyzed by Yılmaz et al. (2008c), each silver(I) ion is connected by two sac ligands, creating non-planar eight-membered metallochelate rings. These dimeric units are additionally linked by bheppz ligands, leading to the formation of a polymeric chain. The bheppz ligand has four donor sites, with each end containing an N atom and an O atom, behaving as a bidentate donor. The sac ligand exhibits bridging coordination through the nitrogen and sulfonyl oxygen atoms. In complexes 1 and 2, the bheppz ligand is also proposed to exhibit a similar bridging coordination. The proposed molecular structure for complexes 1 and 2 is shown in Figure 2. The elemental analysis results given in Table 1 demonstrate that the experimental values are in excellent agreement with the calculated values for the proposed molecular structure.

Table 1. The elemental analysis data of the compounds

Compounds	Molecular Weight	% Composition ^a		
		C	H	N
$[\text{Cd}(\text{sac})_2(\text{bheppz})]_n$ $\text{C}_{22}\text{H}_{26}\text{N}_4\text{O}_8\text{S}_2\text{Cd}$	651.01	40.43 (40.59)	3.67 (4.02)	8.46 (8.61)
$[\text{Hg}(\text{sac})_2(\text{bheppz})]_n$ $\text{C}_{22}\text{H}_{26}\text{N}_4\text{O}_8\text{S}_2\text{Hg}$	739.19	35.90 (35.75)	3.36 (3.54)	7.62 (7.89)

^aThe calculated values are given in parentheses.

The coordination modes of the sac ligand in the complexes were determined by infrared studies. The complexes were obtained with remarkably high yields. Their immediate precipitation as powders during synthesis and

their low solubility in common solvents suggest their polymeric nature. The IR spectra of the complexes are shown in Figure 3, with the key vibration frequencies listed in Table 2. An O-H stretching vibration was detected in

the range of 3351–3356 cm^{-1} . The characteristic N-H stretching vibrations of bheppz were overlapped by the O-H band. The bands at 2951–2827 cm^{-1} originate from C-H vibrations. The characteristic C=O stretching band of sac appears very strongly in the range of 1624–1651 cm^{-1} . The C=O stretching vibrations in the complexes were found to be similar to those in the $[\text{Cd}(\text{sac})_2(\text{H}_2\text{O})_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ and $\text{Hg}(\text{sac})_2$ complexes, where sac binds via its N atom. This suggests that sac is also coordinated through its N atom in these

complexes. The expected C=N stretching vibration of the pyridine ring around 1600 cm^{-1} was not easily identifiable because it overlapped with the C=O stretching vibration. The asymmetric and symmetric stretching vibrations of SO_2 are observed in the ranges of 1254–1269 cm^{-1} and 1149–1153 cm^{-1} , respectively. The bands in the ranges of 1331–1336 cm^{-1} and 943–966 cm^{-1} correspond to the symmetric and asymmetric CNS stretching vibrations of sac ligands.

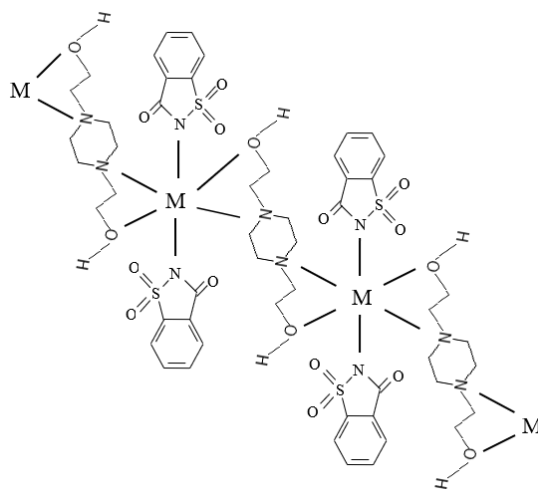


Figure 2. Suggested molecular structure of the compounds

Table 2. IR spectral data^a of the compounds

Compounds	$\nu(\text{OH})$	$\nu(\text{CH})$	$\nu(\text{C=O})$	$\nu_{\text{asym}}(\text{SO}_2)$	$\nu_{\text{sym}}(\text{SO}_2)$	$\nu_{\text{sym}}(\text{CNS})$	$\nu_{\text{asym}}(\text{CNS})$
1	3351s	2951w- 2858w	1651vs-1624 vs	1269vs	1153vs	1336vs	943vs
2	3356b	2943w- 2827w	1647vs	1254vs	1149vs	1331vs	966vs

^aFrequencies in cm^{-1} . b: broad, vs: very strong, s: strong, w: weak

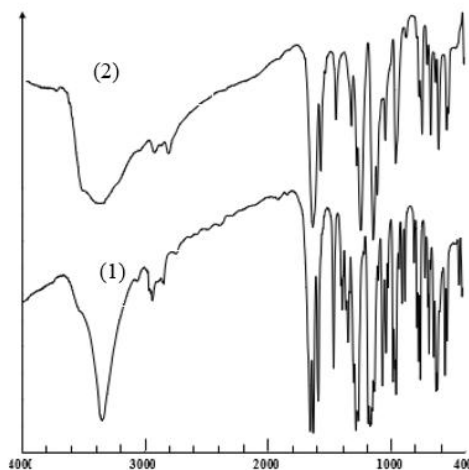


Figure 3. The FT-IR spectra of the compounds

The thermal analysis of the compounds was conducted up to 1000 °C under atmospheric pressure, with the results shown in Table 3. The DTA and TG curves are shown in Figure 4. Complex 1 exhibits thermal stability up to 246 °C. In the first stage, within the 246–346 °C range, the bheppz ligand is released in a single-step exothermic process with a peak maximum at 288 °C (found = 27.2%; calculated = 26.8%). In the subsequent stage, the remaining metal-saccharinate decomposes exothermically within the 346–746 °C range, yielding cadmium oxide (found = 55.1%; calculated = 56.0%). In contrast, Complex 2

remains thermally stable up to 117 °C. During the first stage, between 117–197 °C, it experiences exothermic decomposition with the loss of the bheppz ligand (found = 23.3%; calculated = 23.6%). After the removal of the bheppz ligand, two molar equivalents of the sac ligand are released in a single-step exothermic process within the 197–552 °C range, with a peak maximum at 459 °C, leading to the formation of metallic mercury (found = 49.5%; calculated = 49.3%). At this temperature, the elemental mercury volatilizes and is removed from the system.

Table 3. Thermal analysis results for the compounds

Compounds	Stage	DTA _{max} (°C) ^a	Species lost	% weight losses	
				Found	Calc.
1	1	288(-)	1bheppz	27.2	26.8
	2	585(-)	2sac	55.1	56.0
	Residue		CdO		
2	1	155(-). 263(-)	1bheppz	23.3	23.6
	2	459(-)	2sac	49.5	49.3
	Residue		-		

^a(+) indicates endothermic, (-) exothermic processes.

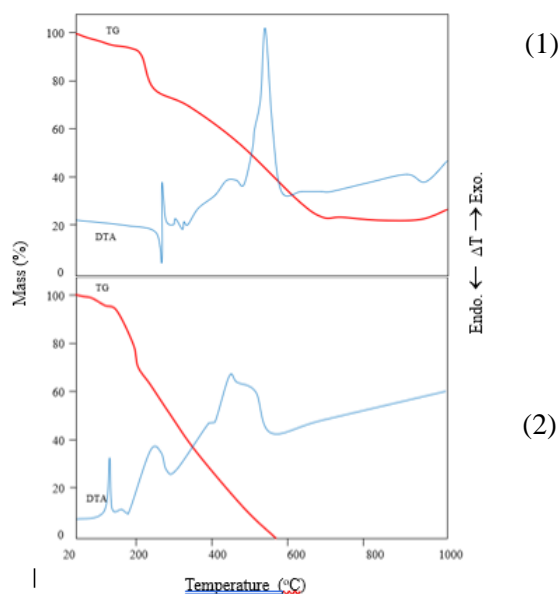


Figure 4. DTA and TG curves of the compounds

4. Conclusions

In this study, two novel Cd(II) and Hg(II) complexes containing bheppz and sac ligands were successfully synthesized and characterized. The synthesis of these complexes was achieved with high yields, and

their structural properties were thoroughly analyzed using infrared (IR) spectroscopy, elemental analysis, and thermal analysis (TGA/DTA). The results indicate that both complexes exhibit strong coordination interactions between the metal centers and the

ligands, particularly through the nitrogen and oxygen atoms of the sac and bheppz ligands, forming polymeric structures. The IR spectra confirmed the coordination modes of the sac anion and bheppz ligand, with characteristic bands observed for the functional groups involved in coordination. The thermal stability of the complexes was also assessed, with complex 1 demonstrating stability up to 246 °C, while complex 2 showed stability up to 117 °C. The thermal analysis further supported the decomposition patterns of the complexes, with the release of ligands and metal salts occurring in distinct steps. These findings contribute to the understanding of the thermal behaviors and stability of the synthesized complexes. Overall, the results from this study highlight the potential applications of these Cd(II) and Hg(II) complexes in catalysis, materials science, and biochemistry. The presence of the bheppz and sac ligands provides versatility in coordination chemistry, which could lead to the development of new materials with desirable properties. Furthermore, the antimicrobial, anticancer, and neurotic properties of the ligands and their potential synergy with metal centers warrant further exploration for possible therapeutic applications. Future research should focus on exploring the biological activities of these complexes, particularly their anticancer and antimicrobial properties. In addition, further investigations into the mechanistic pathways of their catalytic activities could open new avenues for their use in environmental and industrial applications. It is also recommended to investigate the impact of different metal ions on the coordination environment and stability of these complexes to tailor their properties for specific applications.

References

- Adejoh, O., Ukoha, P.O., Hosten, E.C., Nnaji, N., Eze, C.O., Anarado, C.J.O., Iwegbue, C.M.A., Jayamoorthy, K., Ujam, O.T., 2024. Synthesis, structure, preliminary antimicrobial and antimalarial studies of 1,1'-(piperazine-1,4-diyl)bis(2-phenyleth an-1-one) and its lanthanide, Ce(III), Pr(III), and Nd(III) complexes. *Journal of Molecular Structure*, 1300: 137287.
- Al-Jibori, S.A., Al-Jibori, G.H., Al-Hayaly, L.J., Wagner, C., Schmidt, H., Timur, S., Barlas, F.B., Subasi, E., Ghosh, S., Hogar, G., 2014. Combining anti-cancer drugs with artificial sweeteners: Synthesis and anti-cancer activity of saccharinate (sac) and thiosaccharinate (tsac) complexes cis-[Pt(sac)₂(NH₃)₂] and cis-[Pt(tsac)₂(NH₃)₂]. *Journal of Inorganic Biochemistry*, 14: 55-57.
- Anderson, J., Deskins, B., 1995. *The Nutrition Bible*, William Morrow & Company. Inc: New York.
- Ari, F., Cevatemre, B., Ikitimur Armutak, E.I., Aztopal, N., Yilmaz, V.T., Ulukaya, E., 2014. Apoptosis-inducing effect of a palladium(II) saccharinate complex of terpyridine on human breast cancer cells in vitro and in vivo. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 22: 4948-4954.
- Ari, F., Ulukaya, E., Sarimahmut, M., Yilmaz, V.T., 2013. Palladium(II) saccharinate complexes with bis(2-pyridylmethyl)amine induce cell death by apoptosis in human breast cancer cells. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 21: 3016-3021.
- Baran, E.J., Yilmaz, V.T., 2006. Metal complexes of saccharin. *Coordination Chemistry Reviews*, 250: 1981-1999.
- Biedermann, H.G., Rossmann, G., Schwarzhans, K.E., 1971. Saccharin als Komplexligand/Saccharin as a Complexligand. *Zeitschrift für Naturforschung B*, 26(5): 480-481.
- Cicarese, A., Clemente, D.A., Fanizzi, F.P., Marzotto, A., Valle, G., 1998. Boat versus chair conformation in *N*-methyl- and *N,N'*-dimethylpiperazine platinum (II) complexes studied by X-ray analysis. A rare example of metal chelate piperazine: cis-[PtCl₂(Me₂ppz)] Part 1. *Inorganica Chimica Acta*, 275: 410-418.

- Gharbi, C., Louis, H., Amodu, I.O., Benjamin, I., Fujita, W., Ben Nasr, C., Khedhiri, L., 2023. Single crystal X-ray diffraction analysis, spectroscopic measurement, quantum chemical studies, antimicrobial potency and molecular docking of a new $[\text{Co}(\text{NCS})_4]_2(\text{C}_6\text{H}_{17}\text{N}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ coordination compound based on piperazine-thiocyanate as co-ligand. *Journal of Molecular Structure*, 1298: 136997.
- Haider, S.Z., Malik, K.M.A., Ahmed, K.J., Kauffman, G.B., Karbassi, M., 1985. Metal complexes of saccharin. *Inorganic Syntheses*, 23: 47-51.
- İçsel, C., Yılmaz, V.T., Yeşilel, O.Z., Harrison, V.T.A., 2024. Metal complexes of saccharin and thiosaccharin as potential anticancer and antimicrobial agents. *European Journal of Medicinal Chemistry Reports*, 12: 100205.
- Jaziri, E., Louis, H., Gharbi, C., Lefebvre, F., Kaminsky, W., Agwamba, E.C. Egemonye, T.G.C., Unimuke, T.O., Ikenyirimba, O.J., Mathias, G.E., Ben Nasr, C., Khedhiri, L., 2023. Investigation of crystal structures, spectral (FT-IR and NMR) analysis, DFT, and molecular docking studies of novel piperazine derivatives as antineurotic drugs. *Journal of Molecular Structure*, 1278: 134937.
- Kamenar, B., Jovanovski, G., 1982. Manganese (II) saccharinate hexahydrate, $\text{Mn}(\text{C}_7\text{H}_4\text{NO}_3\text{S})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, and isomorphism with the analogous Fe, Co, Ni, Zn and Cd complexes. *Crystal Structure Communication*, 11: 257–261.
- Kant, R., Maji, S., 2023. Synthesis, characterization and biological evaluation of piperazine embedded copper complexes. *Inorganica Chimica Acta*, 552: 121515.
- Kant, R., Maji, S., 2024. Metal complex with piperazine ring-based ligand and their biological activities. *Materials Today: Proceedings*.
- Nadaf, A.Q.A., Najare, M.S., Garbhagudi, M., Mantur, S., Sunagar, M.G., Gaonkar, S., Joshi, S., Khazi, I.A.M., 2020. Synthesis of 6-[4-(4-propoxyphenyl) piperazin-1-yl]-9h-purine derivatives as antimycobacterial and antifungal agents: In vitro evaluation and in silico study. *Chemistry & Biodiversity*, 17(5): e2000053.
- Nemati, L., Keypour, H., Shahabadi, N., Hadidi, S., Gable, R.W., 2021. Synthesis, characterization and DNA interaction of a novel Pt(II) macroacyclic Schiff base complex containing the piperazine moiety and its cytotoxicity and molecular docking. *Journal of Molecular Liquids*, 337: 116292.
- Pait, M., Kundu, B., Kundu, S.C., Ray, D., 2014. Copper(II) complexes of piperazine based ligand: Synthesis, crystal structure, protein binding and evaluation of anti-cancerous therapeutic potential. *Inorganica Chimica Acta*, 418: 30-41.
- Ragab, M.S., Shehata, M.R., Shoukry, M.M., Haukka, M., Ragheb, M.A., 2022. Oxidative DNA cleavage mediated by a new unexpected $[\text{Pd}(\text{BAPP})][\text{PdCl}_4]$ complex (BAPP = 1,4-bis(3-aminopropyl)piperazine): crystal structure, DNA binding and cytotoxic behavior. *RSC Advances*, 12: 1871.
- Shehata, M.R., Shoukry, M.M., Mabrouk, M.A., Kozakiewicz, A., Van Eldik, R., 2019. Studies on Pd(1,4-bis(2-hydroxyethyl)piperazine)-dicarboxylic acid complexes as models for carboplatin with structural features enhancing the interaction with DNA. *Journal of Coordination Chemistry*, 72(12): 2035–2049.
- Shehata, M.R., Shoukry, M.M., Mabrouk, M.A., Van Eldik, R., 2016. Synthesis, X-ray structure, DFT and thermodynamic studies of mono- and binuclear palladium(II) complexes involving 1,4-bis(2-hydroxyethyl)piperazine, bio-relevant ligands and 4,4'-bipiperidine. *Journal of Coordination Chemistry*, 69(3): 522–540.
- Ulukaya, E., Ari, F., Dimas, K., İkitimur, E.I., Güney, R., Yılmaz, V.T., 2011. Anti-cancer activity of a novel palladium(II) complex on human breast cancer cells in vitro and in vivo. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 46: 4957-4963.

- Yılmaz, V.T., Güney, S., Kazak, C., 2008a. Copper(II)-saccharinato complexes with piperazine and *N*-(2-aminoethyl)piperazine ligands. *Polyhedron*, 27: 1381-1386.
- Yılmaz, V.T., Güney, S., Kazak, C., 2008b. *trans*-Bis[2-(piperazin-1-yl)ethanamine]bis(saccharinato)cobalt(II). *Acta Crystallographica E*, E64: 59-60.
- Yılmaz, V.T., Hamamci, S., Büyükgüngör, O., 2008c. One-dimensional silver coordination polymers generated from saccharinate, piperazine and *N,N'*-bis(2-hydroxyethyl)piperazine. *Polyhedron*, 27: 1761–1766.
- Zhao, X.J., Du, M., Wang, Y., Bu, X.H., 2004. Formation of cobalt(II)–piperazine supramolecular systems under different organic acid mediums: synthesis, characterization and crystal structures. *Journal of Molecular Structure*, 692: 155–161.

To Cite: Güney, S., 2025. Synthesis, Characterization, and Thermal Properties of Cd(II) and Hg(II) Complexes Containing *N,N'*-bis(2-hydroxyethyl)piperazine and Saccharinate. *MAS Journal of Applied Sciences*, 10(1): 102-109.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15094019>.



Detection of Soil Salinity Using Remote Sensing and Machine Learning: Innovative Approaches and Contributions

Fatma KAPLAN ^{1*}

¹ Harran University, Faculty of Agriculture, Soil Science and Plan Nutrition, Şanlıurfa

*Corresponding author: fatmakaplan@harran.edu.tr

Received: 10.01.2025

Accepted: 26.02.2025

Abstract

Soil salinity is a significant issue that threatens agricultural productivity and ecosystem balance worldwide. Analyzing soil salinity using traditional methods is a challenging, costly, and time-consuming process, as it relies on laboratory measurements, making it difficult to apply over large areas. Thus, there has been a rise in recent years in the trend toward utilizing remote sensing and machine learning methods to evaluate soil salinity quickly and effectively. Remote sensing can detect signs of salinity on the soil surface through spectral data obtained from satellites and aerial vehicles. Data from visible, near-infrared, and thermal bands, in particular, are widely used in mapping soil salinity. Machine learning algorithms process this spectral data to model complex relationships related to soil salinity and make predictions. Methods like Deep Learning, Artificial Neural Networks, Random Forests, and Support Vector Machines have attracted attention in this field due to their high accuracy rates. These methods hold great potential for monitoring changes in soil salinity, optimizing agricultural practices, and developing strategies to combat salinity. At the same time, they contribute to the advancement of sustainable agriculture by supporting soil management decisions, especially in large agricultural areas. In this context, the combination of machine learning and remote sensing technologies stands out as an effective solution for monitoring and managing soil salinity. Therefore, this research attempts to investigate the advantages and limitations of research conducted in this field and to provide a framework that can guide future studies.

Keywords: Detection of soil salinity, remote sensing, sustainable agriculture, machine learning

1. Introduction

Salinity of the soil is a significant environmental problem. Soil salinity does not have an immediate effect like some other environmental hazards do, but because of its long-term effects on human life, it is now regarded as a serious threat. Because it degrades soil quality and has an unfavourable effect on farm, water resources, and biodiversity, this condition poses a threat to food security and ecological sustainability (Kabiraj et al., 2022).

The negative consequences of salinization of soil are not limited to reducing agricultural productivity. This system can decrease the soil's ability to store and filter water, increase erosion, and disturb the structure of the soil. Additionally, natural habitats can be destroyed and biodiversity reduced by soil salinization (Peng et al., 2019). Furthermore, the increase in fertilizer use and human activities has significantly raised soil salinity levels. This further endangers agriculture, food security, water assets, and soil conservation (Ismaili et al., 2023). All things considered, conventional soil mapping techniques have frequently been expensive, minute, and inaccurate for current farm and ecological activities (Ismaili et al., 2024). As a result, the goal of research has been to use as little data as possible to predict soil properties fairly accurately. Consequently, they have significantly improved the efficiency and precision of soil property prediction by employing machine learning methods called smart mapping of soil (McBratney et al., 2003). The effectiveness of techniques for machine learning in predicting characteristics of soil has convinced numerous investigators to employ these techniques for estimating soil characteristics. Therefore, artificial neural networks, support vector machines, random forests, and other machine learning techniques have been used to increase forecast precision. (Padarian et al., 2019). These approaches enable more economical and effective monitoring of soil properties. As a result, it is possible to predict soil properties more accurately using DSM technology (Taghadosi et al., 2019). Due to the visibility of soil

salinization and the significant impact on near-infrared reflectance, numerous spectral indices have been developed (Ramos et al., 2020). Based on this information, many researchers have predicted the spatial distribution of soil salinity using remote sensing (RS) and DSM methods (Singh, 2021). For example, the Hetao region of Inner Mongolia's soil salinity was correctly predicted by Jia et al. (2022). Ge et al. (2022) used spectral indices obtained out of Sentinel-2 satellite images to predict the salinity of the soil in western China.

Furthermore, Kaya et al. (2022) showed that machine learning techniques could accurately forecast Türkiye's soil salinity using Sentinel-2 satellite data and environmental parameters derived from Digital Elevation Models (DEM). In conclusion, machine learning techniques, they have become useful instruments in soil salinity research due to their capacity to process vast volumes of data and spot intricate patterns. These techniques can provide accurate predictions of soil salinity by analyzing temperature, moisture, and other environmental factors in addition to the chemical composition of the soil (Suliman et al., 2023). The capacity of machine learning techniques to analyze vast amounts of information and determine intricate trends has made them popular instruments in soil salinity research. By analyzing moisture, temperature, soil chemical composition, and other environmental variables, they can provide accurate estimates of soil salinity. Machine learning and digital soil mapping techniques enable more precise and economical monitoring of soil salinity, becoming an essential tool for modern agricultural practices.

2. Soil salinity

Soil salinity, a common problem in arid and semi-arid regions, is a significant issue that both reduces agricultural productivity and disrupts environmental balance (Kaplan and Rufaioğlu, 2023). In these areas, low precipitation leads to the accumulation of dissolved salts in the soil, which degrades soil structure (Ülker et al., 2018). While soil salinization occurs in many parts of the world, the problem is more severe in arid regions with

low rainfall and high evaporation rates. This is because rainwater is insufficient to leach away the salts (Zinck and Metternicht, 2008).

3. Primary and secondary stages of salinization

As the global population grows rapidly, the demand for food production is also increasing. However, a significant amount of agricultural land has been abandoned due to primary and secondary soil salinization. Salt buildup in the soil brought on by natural cycles like physical and chemical weathering or the movement of salts from parent materials, geological

deposits, or groundwater is known as primary salinization. Traditional irrigation techniques and inadequate drainage systems are the main causes of secondary salinization (Daliakopoulos et al., 2016; Esetlili et al., 2018). This affects approximately 20% of irrigated land worldwide (Mayak et al., 2004). Zinck and Metternicht (2008) state that secondary salinization has damaged an area of about 77 million hectares. Figure 1 shows a simplified flow chart illustrating primary and secondary soil salinization.

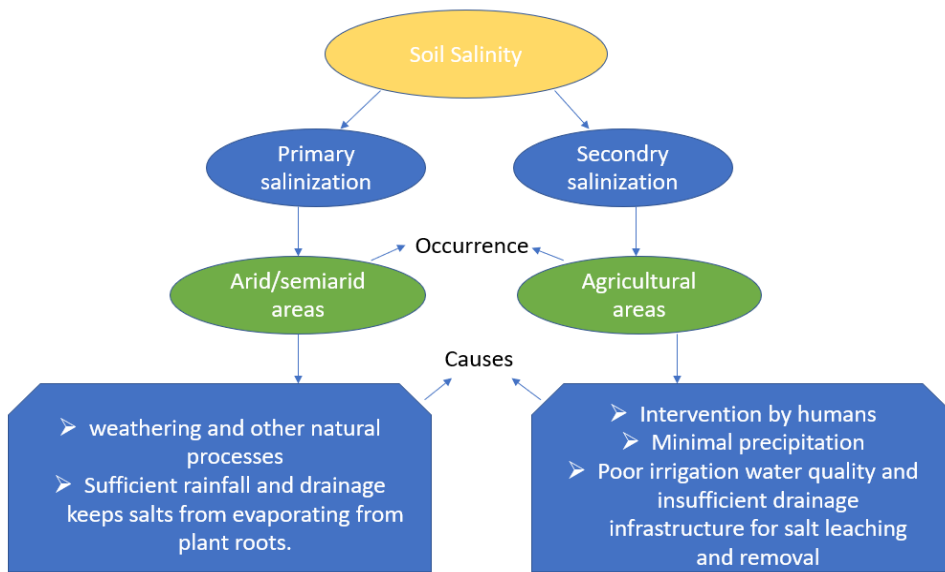
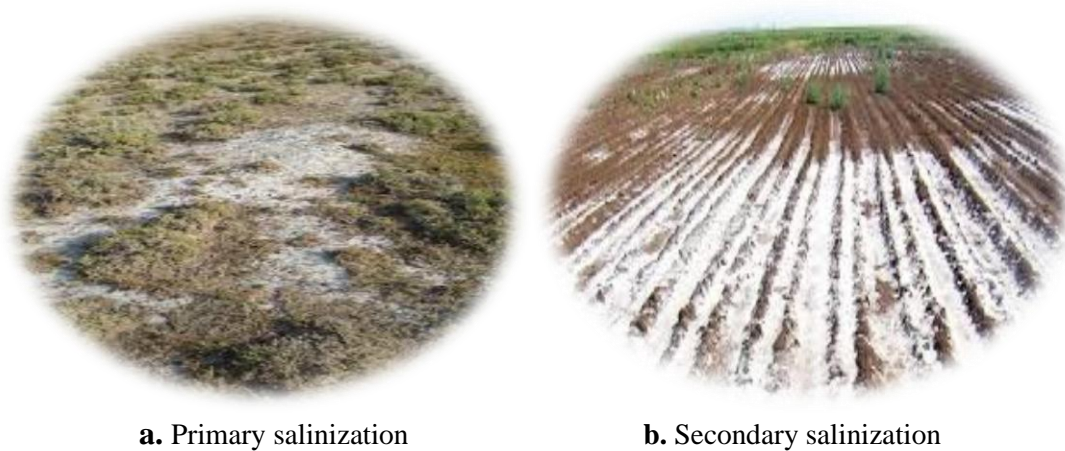


Figure 1. Flowchart showing the salinization of primary and secondary soils



a. Primary salinization

b. Secondary salinization

Figure 2. Soil salinity (Primary salinity develops through natural processes, while secondary salinity results from human activities) (Sezen, 2021).

4. The effect of soil salinity on farming

Agricultural efficiency is genuinely endangered by soil salinity, a major problem that is particularly prevalent in arid and semi-arid areas. Salinity occurs because of the accumulation of dissolved salts (like sodium, chloride, calcium, and magnesium) in the soil, which can result from inadequate drainage, improper irrigation practices, or natural geological processes. Saline soils hinder plants' water and nutrient uptake, restrict growth, degrade soil structure, and reduce agricultural production. To address this problem, strategies such as proper irrigation techniques, drainage systems, the use of salt-tolerant plant varieties, and soil improvement methods (e.g., gypsum application) are implemented. Effective management of soil salinity is crucial for sustainable agriculture and food security (Matinfar et al., 2013). As emphasized, traditional irrigation practices play a significant role in soil salinization and the degradation of soil quality, leading to adverse outcomes and restricting plant growth and germination. Furthermore, the demand for food production is increasing as the world experiences rapid population growth. Consequently, this will lead to the conversion of more arid land into agricultural areas, primarily increasing the risk of salinization caused by irrigation. However, continuous monitoring and assessment of saline soils are of great importance in mitigating harmful effects such as land degradation and reduced crop yield (Allbed and Kumar, 2013).

5. Detection of soil salinity using remote sensing and machine learning methods

Enhancing land use requires real-time soil salinity monitoring and early warning sign detection due to the growing global population and increased demand for large agricultural lands. (Zinck and Metternicht, 2008). Decisions regarding the reclamation and management of such lands must be made with knowledge based on ongoing salinity monitoring. Traditional methods for salinity measurement include both field studies and laboratory analyses. Mapping the soil salinity of a region spatially requires collecting

numerous samples, which is a challenging, costly, and labor-intensive process (Brunner et al., 2007; Haq et al., 2022; Ramzan et al., 2023). Approximately sixty-five years ago, information about different characteristics on the Earth's crust and soil salinity were measured using colored and black-and-white photos (Dale et al., 1986). Today, satellite-based remote sensing serves as a cost-effective tool for investigating salinity across various geographic and temporal scales. Remote sensing collects information about various objects by using electromagnetic energy represented from the surface of the Earth. This method facilitates soil salinity assessment. Remote sensing and geographic information systems methods have provided a technological opportunity to replace or complement traditional soil salinity assessment methods. Directly acquired spectral reflectance from detectors or spectral evolutions (Sahu et al., 2015), tasseled cap transformation (Li et al., 2016), and spectral indices (Dehni and Lounis, 2012; Wu, 2014) have yielded positive results in terms of prediction accuracy. Numerous researchers emphasize that spectral reflectance is highly significant in remote sensing studies and consider it a fundamental concept of the discipline (Ling et al., 2017; Aceves et al., 2019; Pandey et al., 2022). Many studies related to digital soil mapping have been conducted using various satellite data and geostatistical or statistical methods.

A study conducted in Uzbekistan found a relationship between vegetation temperature derived from MODIS data and soil salinity (Ivushkin et al., 2017). Hoa et al. (2019) produced a highly accurate model using Gaussian processes and contemporary machine learning models on SAR Sentinel-1 images, with an R^2 value of 0.808. This model successfully identified the relationship between EC and satellite data. Similarly, A study conducted in Morocco's Tafilalet plain showed that Landsat 8 OLI images could accurately determine the salinity of the soil (ElHafyani et al., 2019). Using a straightforward linear regression model, Hihi et al. (2019) found a moderate correlation (R^2

= 0.48) between EC and spectral indices obtained from Sentinel images. The usefulness of polarized images derived from the VH and VV polarizations of SAR Sentinel-1 data in assessing soil salinity was shown by Taghadosi et al. (2019) The Support Vector Regression (SVR) strategy using an RBF kernel produced the most accurate results.

5.1. Soil salinity indices

Remote sensing technologies have been employed for mapping and determine soil salinity using a variety of spectral indices. These indices are used to detect salt accumulation in the soil either directly or indirectly. Table 1 lists a few widely used soil salinity indices.

Table 1. Soil salinity and vegetation indices

Spectral indices	Expression	Reference
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	$(\text{NIR}-\text{R})/(\text{NIR}+\text{R})$	(Rouse et al., 1974)
Normalized Difference Salinity Index (NDSI)	$(\text{R}-\text{NIR})/(\text{R}+\text{NIR})$	(Khan et al., 2005)
Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)	$(\text{NIR}-\text{R})/(\text{NIR}+\text{R})+L*(1-L)$	(Huete, 1988)
Simple Ration (SR)	$(\text{R}-\text{NIR})/(\text{G}+\text{NIR})$	(Abbas and Khan, 2007)
Differential Vegetation Index (DVI)	$(\text{NIR}-\text{R})$	(Basso et al., 2000)
Ratio Spectral Index (RSI)	R/NIR	(Kahaer and Tashpolat, 2019)
Mosaic Simple Ratio (MSR)	NIR/R	(Vogelmann and Rock, 1985)
Vegetation Soil Salinity Index (VSSI)	$2*\text{G}-5*(\text{R}+\text{NIR})\text{G}-5*(\text{R}+\text{NIR})$	(Dehni and Lounis, 2012)
Salinity Index (SI1)	B/R	(Bannari et al., 2008)
Salinity Index (SI2)	$(\text{B}-\text{R})/(\text{B}+\text{R})$	(Abbas et al., 2013)
Salinity Index (SI3)	$(\text{G}*\text{R})/\text{B}$	(Abbas et al., 2013)
Salinity Index (SI4)	$\text{NIR}*\text{R}/\text{G}$	(Abbas et al., 2013)

5.2. Commonly used machine learning models for soil salinity detection

Machine learning models are widely utilized to determine and map soil salinity. Among these models, Random Forest Regression (RFR) provides high accuracy in complex datasets such as spectral indices and soil properties, while Support Vector Regression (SVR) is preferred for modeling nonlinear relationships. Artificial Neural Networks (ANN) and Deep Learning Models yield effective results, especially with hyperspectral and high-resolution satellite images. Gradient Boosting Machines (GBM) and AdaBoost Regression (ABR) combine weak models to make strong predictions, while Partial Least Squares Regression and Ridge Regression (RR) analyze the connection among soil salinity and spectral data by addressing multicollinearity issues. Decision

Tree Regression (DTR) is used as a simple and fast model for basic predictions, while Gaussian Processes (GP) provide uncertainty estimation with SAR data, as demonstrated in some studies using these models (Kaplan et al., 2023; Das et al., 2023; He et al., 2024). These models enable effective monitoring and management of soil salinity by integrating remote sensing technologies and ground measurements. Remote sensing and Landsat 8 OLI data offer an effective method for monitoring soil salinity. In their study, Haq et al. (2023) found that the Random Forest Regression (RFR) model carried out the strongest ($R^2 = 0.94$). Spectral indices such as DVI, SAVI, and NDVI showed strong correlations with salinity, while SI1-SI4 were ineffective in vegetated areas. These findings can support farmers against climate change by enabling the development of web-based applications for mapping soil salinity.

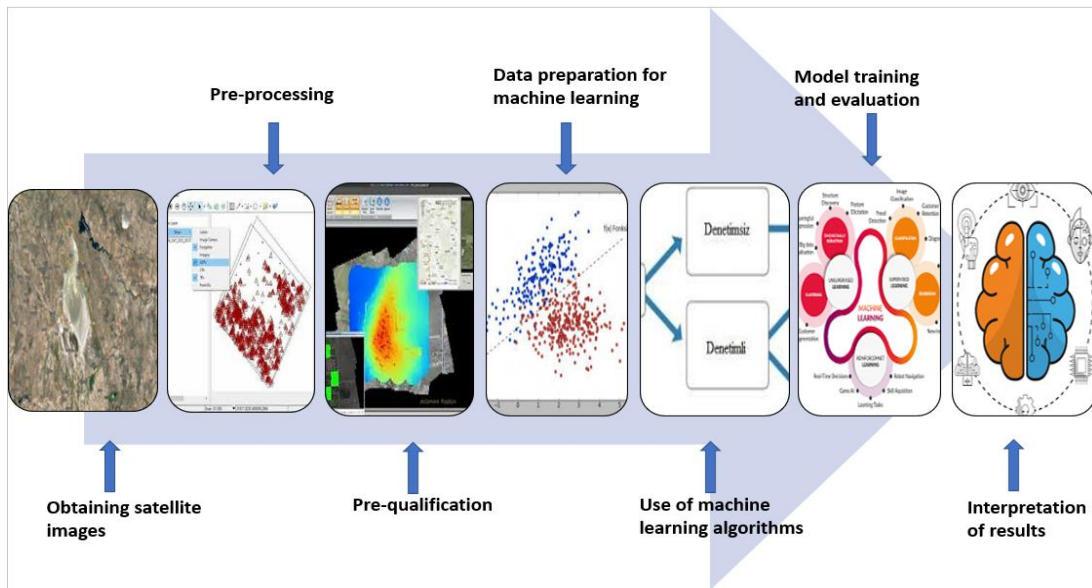


Figure 3. Steps followed when using satellite imagery in machine learning

5.3. Error metrics used to test model accuracy

Metrics for evaluation are employed to measure the accuracy and error rate of a model. The primary performance evaluation metrics used in soil salinity studies are as follows.

5.3.1. Mean squared error (MSE)

The mean of the squared differences among the expected and true numbers is used to calculate the error rate, or MSE (Mean Squared Error). Because it penalizes larger errors more severely, MSE is a metric that is sensitive to the magnitude of errors (Chai and Draxler, 2014).

5.3.2. Root mean squared error (RMSE)

The magnitude of the forecast errors is better displayed by using the square root of MSE, or RMSE. RMSE is frequently used to assess the model's overall performance and shows how accurate yield forecasts are (Chai and Draxler, 2014).

5.3.3. Mean absolute error (MAE)

MAE averages the absolute values of the variations from the expected values and the true values. This metric helps understand the model performance by directly measuring the error rate of the model. This is especially useful in cases where there are no large errors (Willmott and Matsuura, 2005).

5.3.4. R² value

R² shows the variance ratio of the model by the independent variables. The fit of the model increases as the R² value approaches 1. It is used in plant breeding to evaluate how genetic and environmental variables affect plant yield (Montgomery and Peck, 2012).

5.3.5. Mean absolute percentage error (MAPE)

MAPE gives the error rate in proportion when comparing the estimated values with the real values. According to Makridakis and Hibon (2000), this metric shows the error rate of the model in percentage and allows comparison of data at various scales.

6. Conclusion

Soil salinity is a global issue that threatens agricultural productivity and ecosystem balance. Analyzing soil salinity using traditional methods is a time-consuming, costly, and challenging process to implement over vast regions. Then, in recent years, machine learning and remote sensing methods have increasingly been used to assess soil salinity quickly and effectively. Remote sensing technologies can detect signs of salinity on the soil surface through spectral data obtained from satellites and aerial vehicles, while machine learning algorithms

process this data to model complex relationships and provide high accuracy rates. Techniques like Artificial Neural Networks, Random Forests, Deep Learning, and Support Vector Machines hold significant potential for monitoring and managing soil salinity. These methods offer important advantages in optimizing agricultural practices, developing strategies to combat salinity, and contributing to the advancement of sustainable agriculture. However, more research and development efforts are needed to effectively implement these technologies. Future studies can provide more effective solutions in the fight against soil salinity by examining the advantages and limitations of these methods in greater detail. In this context, the integration of machine learning and remote sensing technologies stands out as an effective tool for monitoring and managing soil salinity.

References

- Abbas, A., Khan, S., 2007. Using remote sensing techniques for appraisal of irrigated soil salinity. Proceedings of the International Congress on Modelling and Simulation (MODSIM), Christchurch, New Zealand.
- Abbas, A., Khan, S., Hussain, N., Hanjra, M.A., Akbar, S., 2013. Characterizing soil salinity in irrigated agriculture using a remote sensing approach. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, (55): 43–52.
- Aceves, E.Á., Guevara, H.J.P., Enríquez, A.C., Gaxiola, J., Cervantes, M., Barrientos, J.H., Herrera, L.E., Guevara, V.M.P., Samuel, C.L., 2019. Determining salinity and ion soil using satellite image processing. *Polish Journal of Environmental Studies*, 28: 1549–1560.
- Allbed, A., Kumar, L., 2013. Soil salinity mapping and monitoring in arid and semi-arid regions using remote sensing technology: a review. *Advanced Remote Sensing*, 2(4): 373–85.
- Bannari, A., Guedon, A., El-Harti, A., Cherkaoui, F., El-Ghmari, A., 2008. Characterization of slightly and moderately saline and sodic soils in irrigated agricultural land using simulated data of advanced land imaging (EO-1) sensor. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 39: 2795–2811.
- Basso, F., Bove, E., Dumontet, S., Ferrara, A., Pisante, M., Quaranta, G., Taberner, M., 2000. Evaluating environmental sensitivity at the basin scale through the use of geographic information systems and remotely sensed data: An example covering the Agri basin (Southern Italy). *Catena*, 40: 19–35.
- Brunner, P., Li, H., Kinzelbach, W., Li, W., 2007. Generating soil electrical conductivity maps at regional level by integrating measurements on the ground and remote sensing data. *International Journal of Remote Sensing*, 28: 3341–3361.
- Chai, T., Draxler, R.R., 2014. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? – Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geoscientific Model Development*, 7(3): 1247–1250.
- Dale, P., Hulsman, K., Chandica, A., 1986. Classification of reflectance on colour infrared aerial photographs and sub-tropical salt-marsh vegetation types. *International Journal of Remote Sensing*, 7: 1783–1788.
- Daliakopoulos, I.N., Tsanis, I.K., Koutroulis, A., Kourgialas, N.N., Varouchakis, A.E., Karatzas, G.P., 2016. The threat of soil salinity: A European scale review. *Science of the Total Environment*, 573: 727–39.
- Das, A., Bhattacharya, B.K., Setia, R., Jayasree, G., Das, B.S., 2023. A novel method for detecting soil salinity using AVIRIS-NG imaging spectroscopy and ensemble machine learning. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 200: 191–212.
- Dehni, A., Lounis, M., 2012. Remote sensing techniques for salt affected soil mapping: Application to the Oran region of Algeria. *Procedia Engineering*, 33: 188–198.

- ElHafyani, M., Essahlaoui, A., El Baghdadi, M., Teodoro, A.C., Mohajane, M., El Hmaidi, A., El Ouali, A., 2019. Modeling and mapping of soil salinity in Tafilalet plain (Morocco). *Arabian Journal of Geosciences*, 12: 1–7.
- Esetlili, M.T., Bektas Balcik, F., Balik Sanli, F., Kalkan, K., Ustuner, M., Goksel, C., 2018. Comparison of object and pixel-based classifications for mapping crops using Rapideye imagery: A case study of Menemen Plain, Turkey. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 5(2): 231–43.
- Ge, X., Ding, J., Teng, D., Wang, J., Huo, T., Jin, X., Wang, J., He, B., Han, L., 2022. Updated soil salinity with fine spatial resolution and high accuracy: the synergy of Sentinel-2 MSI, environmental covariates and hybrid machine learning approaches. *Catena*, 212, 106054.
- Haq, Y.U., Shahbaz, M., Asif, H.S., Al-Laith, A., Alsabban, W., 2023. Spatial mapping of soil salinity using machine learning and remote sensing in Kot Addu, Pakistan. *Sustainability*, 15(17): 12943.
- Haq, Y.U., Shahbaz, M., Asif, H.S., Al-Laith, A., Alsabban, W., Aziz, M.H., 2022. Identification of soil type in Pakistan using remote sensing and machine learning. *Peer J- Computer Science*, 8: e1109.
- He, Y., Yin, H., Chen, Y., Xiang, R., Zhang, Z., Chen, H., 2024. Soil salinity estimation based on Sentinel-1/2 texture features and machine learning. *IEEE Sensors Journal*, 24(9): 1–12.
- Hihi, S., Rabah, Z.B., Bouaziz, M., Chtourou, M.Y., Bouaziz, S., 2019. Prediction of soil salinity using remote sensing tools and linear regression model. *Advanced Remote Sensing*, 8: 77–88.
- Hoa, P.V., Giang, N.V., Binh, N.A., Hai, L.V.H., Pham, T.D., Hasanlou, M., Tien Bui, D., 2019. Soil salinity mapping using SAR Sentinel-1 data and advanced machine learning algorithms: A case study at Ben Tre Province of the Mekong River Delta (Vietnam). *Remote Sensing*, 11: 128.
- Huete, A.R., 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing Environment*, 25: 295–309.
- Ismaili, M., Krimissa, S., Namous, M., Abdelrahman, K., Boudhar, A., Edahbi, M., Lebrini, Y., Htitiou, A., Maimouni, S., Benabdelouhab, T., 2024. Mapping soil suitability using phenological information derived from MODIS time series data in a semi-arid region: a case study of Khouribga, Morocco. *Heliyon*, 10(2).
- Ismaili, M., Krimissa, S., Namous, M., Htitiou, A., Abdelrahman, K., Fnais, M.S., Lhissou, R., Eloudi, H., Faouzi, E., Benabdelouhab, T., 2023. Assessment of soil suitability using machine learning in arid and semi-arid regions. *Agronomy*, 13(1): 165.
- Ivushkin, K., Bartholomeus, H., Bregt, A.K., Pulatov, A., 2017. Satellite thermography for soil salinity assessment of cropped areas in Uzbekistan. *Land Degradation & Development*, 28: 870–877.
- Jia, P., Zhang, J., He, W., Yuan, D., Hu, Y., Zamanian, K., Jia, K., Zhao, X., 2022. Inversion of different cultivated soil types' salinity using hyperspectral data and machine learning. *Remote Sensing*, 14(22): 5639.
- Kaplan, F., Rufaioğlu, S.B., 2023. Toprak tuzluluğu. *Isarc 1. International Blacksea Scientific Research And Innovation Congress*, Kongre Bidiriler Kitabı, 23-24 Aralık, Trabzon.
- Kabiraj, S., Jayanthi, M., Vijayakumar, S., Duraisamy, M., 2022. Comparative assessment of satellite images spectral characteristics in identifying the different levels of soil salinization using machine learning techniques in Google Earth Engine. *Earth Science Informatics*, 15(4): 2275–2288.

- Kahaer, Y., Tashpolat, N., 2019 Estimating salt concentrations based on optimized spectral indices in soils with regional heterogeneity. *Journal of Spectroscopy*, 2402749.
- Kaplan, G., Gašparović, M., Alqasemi, A.S., Aldhaheeri, A., Abuelgasim, A., Ibrahim, M., 2023. Soil salinity prediction using machine learning and Sentinel-2 remote sensing data in hyper-arid areas. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 130: 103400.
- Kaya, F., Schillaci, C., Keshavarzi, A., Başıyigit, L., 2022. Predictive mapping of electrical conductivity and assessment of soil salinity in a Western Türkiye alluvial plain. *Land*, 11(12): 2148.
- Khan, N.M., Rastoskuev, V.V., Sato, Y., Shiozawa, S., 2005. Assessment of hydrosaline land degradation by using a simple approach of remote sensing indicators. *Agricultural Water Management*, 77: 96–109.
- Li, B., Ti, C., Zhao, Y., Yan, X., 2016. Estimating soil moisture with Landsat data and its application in extracting the spatial distribution of winter flooded paddies. *Remote Sensing*, 8: 38.
- Ling, C., Liu, H., Ju, H., Zhang, H., You, J., Li, W., 2017. A study on spectral signature analysis of wetland vegetation based on ground imaging spectrum data. *Journal of Physics: Conference Series*, 910: 12045.
- Makridakis, S., Hibon, M., 2000. The M3-Competition: results, conclusions and implications. *International Journal of Forecasting*, 16(4): 451-476.
- Matinfar, H.R., Alavi Panah, S.K., Zand, F., Khodaei, K., 2013. Detection of soil salinity changes and mapping land cover types based upon remotely sensed data. *Arabian Journal of Geosciences*, 6(3): 913–919.
- Mayak, S., Tirosh, T., Glick, B.R., 2004. Plant growth promoting bacteria confer resistance in tomato plants to salt stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 42(6): 565–72.
- McBratney, A.B., Santos, M.M., Minasny, B., 2003. On digital soil mapping. *Geoderma*, 117(1–2): 3–52.
- Montgomery, D.C., Peck, E.A., 2012. Introduction to Linear Regression Analysis. John Wiley & Sons.
- Padarian, J., Minasny, B., McBratney, A., 2019. Using deep learning to predict soil properties from regional spectral data. *Geoderma*, 16: e00198.
- Pandey, P., Singh, S., Khan, M.S., Semwal, M., 2022. Non-invasive estimation of foliar nitrogen concentration using spectral characteristics of menthol mint (*Mentha arvensis* L.). *Frontiers in Plant Science*, 13: 680282.
- Peng, J., Biswas, A., Jiang, Q., Zhao, R., Hu, J., Hu, B., Shi, Z., 2019. Estimating soil salinity from remote sensing and terrain data in southern Xinjiang Province, China. *Geoderma*, 337: 1309–1319.
- Ramzan, Z., Asif, H.S., Yousuf, I., Shahbaz, M., 2023. A multimodal data fusion and deep neural networks based technique for tea yield estimation in pakistan using satellite imagery. *IEEE*, 11: 42578–42594.
- Ramos, T.B., Castanheira, N., Oliveira, A.R., Paz, A.M., Darouich, H., Simionesei, L., Farzaman, M., Gonçalves, M.C., 2020. Soil salinity assessment using vegetation indices derived from Sentinel-2 multispectral data. Application to Lezíria Grande Portugal. *Agricultural Water Management*, 241: 106387.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W., 1974. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. NASA Special, Publications.
- Sezen, S., 2021. Topraklarımızdaki Tuzluluk. (<https://agrowy.com/yazilar/topraklarimizdaki-tuzluluk>), (Erişim tarihi: 02.01.2025).

- Sahu, S., Prasad, M., Tripathy, B., 2015. PCA Classification technique of remote sensing analysis of colour composite image of Chilika lagoon, Odisha. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 5: 513–518.
- Singh, A., 2021. Soil salinization management for sustainable development: a review. *Journal of Environmental Management*, 277: 111383.
- Sulieman, M.M., Kaya, F., Elsheikh, M.A., Başayığit, L., Francaviglia, R., 2023. Application of machine learning algorithms for digital mapping of soil salinity levels and assessing their spatial transferability in arid regions. *Land*, 12(9): 1680.
- Taghadosi, M.M., Hasanlou, M., Eftekhari, K., 2019. Soil salinity mapping using dual-polarized SAR Sentinel-1 imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 40(1): 237–252.
- Ülker, D., Ergüven, O., Gazioğlu, C., 2018. Socioeconomic impacts in a changing climate: case study syria. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 5(1): 84–93.
- Vogelmann, J., Rock, B., 1985. Spectral characterization of suspected acid deposition damage in red spruce (*Picea Rubens*) stands from Vermont. In Proceedings of the Airborne Imaging Spectrometer Data Analysis Workshop, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA, USA.
- Willmott, C.J., Matsuura, K., 2005. Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. *Climate Research*, 30(1): 79–82.
- Wu, W., 2014. The generalized difference vegetation index (GDVI) for dryland characterization. *Remote Sensing*. 6: 1211–1233.
- Zinck, J.A., Metternicht, G., 2008. Soil salinity and salinization hazard, Chapter 1. In *Remote Sensing of Soil Salinization: Impact on Land Management*. NY, USA: CRC. 3–60.

To Cite: Kaplan, F., 2025. Detection of Soil Salinity Using Remote Sensing and Machine Learning: Innovative Approaches and Contributions. *MAS Journal of Applied Sciences*, 10(1): 110-119.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15094133>.

Senirkent (Isparta) Çevresinin Mesozoyik Mikropaleontolojik VerileriAslı KARABAŞOĞLU ^{1*} ¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar*Sorumlu yazar (Corresponding author): aslik@aku.edu.tr**Geliş Tarihi (Received):** 10.01.2025**Kabul Tarihi (Accepted):** 26.02.2025**Özet**

Ispartanın kuzeyinde Senirkent ve çevresinde, Barla Dağı, Senirkent ve Kırdağ Anamas Birimlerine ait formasyonlar yer almaktadır. Bu çalışmada Senirkent kasabasının kuzeyi ve güneyi boyunca mostra veren kireçtaşlarından örneklemeler yapılmıştır. Uluğbey Formasyonu kalın katmanlı yer yer oolitle ve dolomitli kireçtaşlarından, Ergenli Formasyonu dolomitli seviyeler içeren gri renkli orta kalın katmanlı alglı kireçtaşlarından oluşur. Formasyonlar içinde saptanan *Orbitopsella* sp., *Lituosepta* sp., *Meandrovoluta asiagoensis*, *Everticyclammina* sp., *Siphovalvulina* sp fosillerine göre her iki formasyon için Liyas yaşı kullanılmıştır, sığ, gelgit düzlüğü ve lagün ortamıyla temsil edilir. Senirkent Kasabasının güneyinde Sulucandere ve Beşparmak kireçtaşı formasyonları yer almaktadır. Sulucandere Formasyonu pelajik kireçtaşlarıyla arakatlı, oolitle ve onkoidal kireçtaşlarından oluşmuştur. Birim içinde Doger yaşını veren *Gutnicella bizonorum*, *Gutnicella cayeuxi*, *Rectocyclammina* sp, *Callorbis minor*, *Andersenolina* sp, *Protopenoplis striata*, *Spiraloconulus* sp, *Mesoendothyra* sp. gibi karakteristik fosiller saptanmıştır. Bu fosil topluluğuna göre platform ile açık deniz arası kıta yamacı, şelf ortamını temsil ettiği söylenebilir. Beşparmak Kireçtaşı Formasyonu sığ denizi temsil eden rudist kırıntıları içeren kireçtaşlarıyla başlayıp, derin denizi temsil eden pelajik kireçtaşlarına doğru geçiş sunar. Formasyon içinde Kretase (Kampaniyen-Maastrichtiyen) yaşını veren *Globotruncana arca*, *Rotundata calcarata*, *Abathomphalus mayaroensis* ve *Globotruncana* sp., fosillerine göre platform ile açık deniz arası-pelajik ortamı karakterize ettiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Isparta, Senirkent, bentik foraminifer, jura, mikropaleontoloji**Mesozoic Micropaleontological Data of Senirkent (Isparta) Surroundings****Abstract**

In the north of Isparta, Senirkent and its surroundings, formations belonging to Barla Mountain, Senirkent and Kırdağ Anamas Units are located. In this study, samples were taken from limestones outcropping along the north and south of Senirkent town. Uluğbey Formation consists of thick-layered, occasionally oolitic and dolomitic limestones, Ergenli Formation consists of gray, medium-thick-layered algal limestones containing dolomitic levels. According to the fossils *Orbitopsella* sp., *Lituosepta* sp., *Meandrovoluta asiagoensis*, *Everticyclammina* sp., *Siphovalvulina* sp. detected in the formations, Liassic age was used for both formations, and it is represented by shallow, tidal flat and lagoon environment. Sulucandere and Beşparmak limestone formations are located in the south of Senirkent Town. Sulucandere Formation is composed of oolitic and oncoidal limestones intercalated with pelagic limestones. Characteristic fossils such as *Gutnicella bizonorum*, *Gutnicella cayeuxi*, *Rectocyclammina* sp, *Callorbis minor*, *Andersenolina* sp, *Protopenoplis striata*, *Spiraloconulus* sp, *Mesoendothyra* sp. giving Dogger age were determined in the unit. According to this fossil assemblage, it can be said that it represents the continental slope, shelf environment between the platform and the open sea. Beşparmak Limestone Formation starts with limestones containing rudist clasts representing the shallow sea and shows a transition towards pelagic limestones representing the deep sea. It was determined that the formation characterizes the pelagic environment between the platform and the open sea, according to the fossils of *Globotruncana arca*, *Rotundata calcarata*, *Abathomphalus mayaroensis* and *Globotruncana* sp., which give a Cretaceous (Campanian-Maastrichtian) age.

Keywords: Isparta, Senirkent, benthic foraminifera, jurassic, micropaleontology

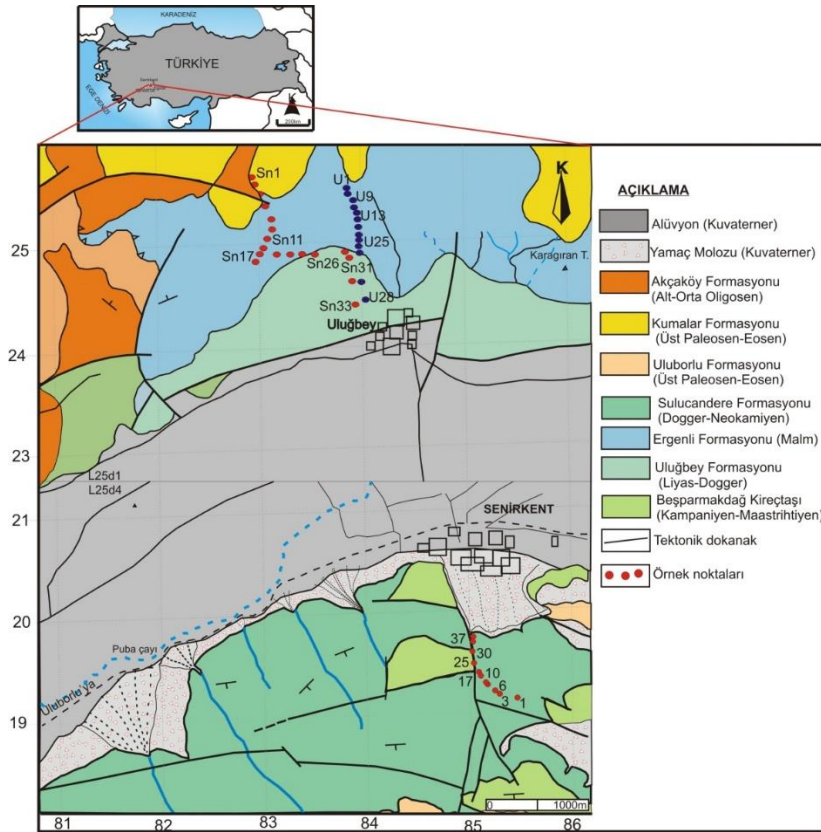
1. Giriş

Çalışma alanı ve çevresinde birçok yapısal ve stratigrafik araştırmalara yönelik çalışmalar yapılmıştır (Parajes, 1942; Gutnic, 1977; Demirkol, 1977; Koçyiğit, 1981, Yağmurlu, 1991; Turhan, 2002, Özgül ve ark., 1991 a, b; Dumont ve Kerey, 1975). Ispartanın kuzeyinde Şuhut (Afyon) güneyinde, Barla dağı, Eğirdir, Senirkent ve çevresi naplı yapıya sahip olup Kırdag-Anamas-Akseki ve Beydağı otoktonuna ait birimler, Beyşehir Hoyran napları, Likya, Antalya napları yer alır (Balcı, 2011). Çalışma alanında Kırdag-Anamas-Akseki otoktonuna ait Senirkent Birimi; Sulucandere, Beşparmak kireçtaşı ve Uluborlu Formasyonları yer alır. Kırdag-Anamas Dağ birimine ait diğer formasyonlar ise Tatarlı, Menteşe, Karacaören, Uluğbey, Ergenli, Gök hacıdağ, Büyükkırtepe, Dereköy ve Akçaköy formasyonlarıdır (Balcı, 2011).

Anamas-Akseki otoktonu Dumont (1976) tarafından birlik olarak Anamas-Akseki Birliği olarak, Özgül (1976) tarafından Geyikdağı Birliği olarak adlandırılmıştır. Özgül (1991b) çalışmasında, otoktonu Sultan Dağı, Kırdag-Anamas Dağı, Homa-Akdağ- Senirkent ve Barla Dağı birimleri olarak beş birime ayırmışlardır.

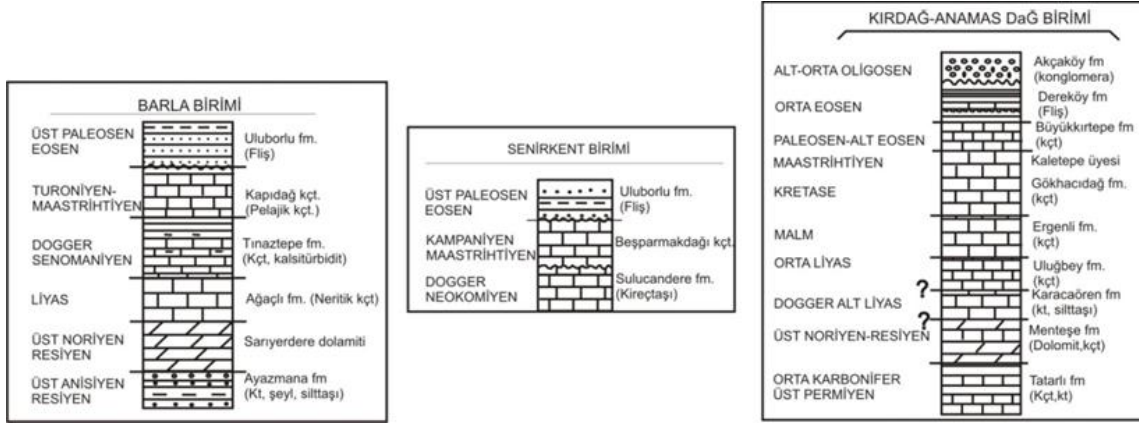
2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada Senirkent Biriminden; Sulucandere ve Beşparmak Kireçtaşı Formasyonu, Kırdag-Anamas Biriminden; Uluğbey Formasyonu ve Ergenli Formasyonlarından 70 kayaç örneği alınmıştır (Şekil 1). Alınan örneklerin Maden Tetkik Ve Arama Genel Müdürlüğünde ince kesitleri yaptırılmış, mikroskop altında incelenmiş, fotoğraflandırılmış ve paleontolojik kataloglar yardımıyla cins ve türler saptanmıştır



Şekil 1. Proje alanı yerbulduru, jeoloji ve örnek haritası (Balcı, 2011, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü)

Figure 1. Project area location, geology and sample map (Balcı, 2011, General Directorate of Mineral Research and Exploration)



Şekil 2. Çalışma alanındaki birimleri oluşturan formasyonların genelleştirilmiş stratigrafi kesitleri (Balıcı, 2011, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü)

Figure 2. Generalized stratigraphic sections of the formations forming the units in the study area (Balıcı, 2011, General Directorate of Mineral Research and Exploration)

3. Bulgular

Kırdağ Anamas Birimine ait formasyonlar çalışma alanında Senirkent kasabasının kuzeyinde yer alır ve birime ait Uluğbey ve Ergenli Formasyonlarından örnekler alınmıştır (Şekil 3, 4). Uluğbey Formasyonu yer yer oolitik ve dolomitik özellikteki

kireçtaşlarından oluşur. Birim Turhan (2002) tarafından adlandırılmıştır. Altta dolomitik, üstte gri renkli kalın tabakalı, yer yer masif görümlü kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşları gözlenir (Şekil 4). Birim Malm yaşlı Ergenli formasyonu tarafından uyumlu olarak örtülür. Birimin Orta Liyas-Doger yaşında olduğu belirtilmiştir (Turhan, 2002).

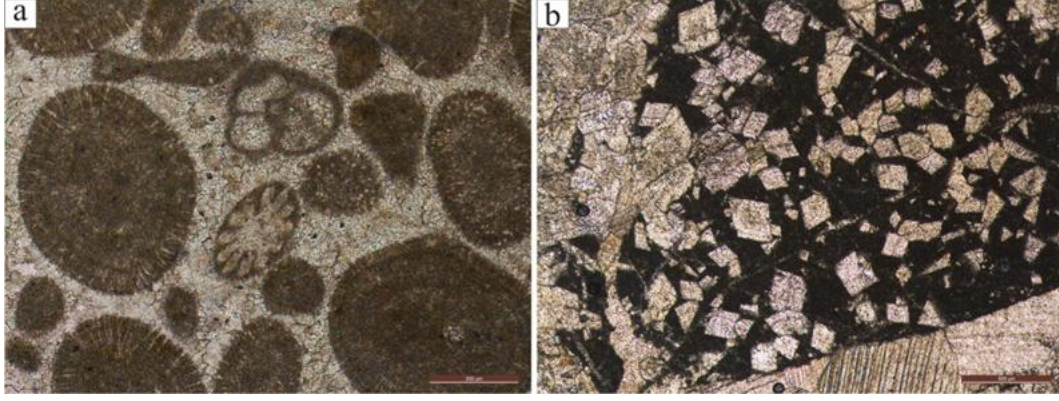


Şekil 3. Uluğbey-Ergenli formasyonlarına ait birimler

Figure 3. Units belonging to Uluğbey-Ergenli formations

Ergenli Formasyonu Koçyiğit (1980) tarafından adlandırılmıştır. Birim gri, bej renkli orta kalın tabakalı dolomit mercek ve ara seviyeleri içeren, oolit ve algli kireçtaşlarından oluşur (Şekil 4, 5). Formasyon Gök hacıdağ

Formasyonu tarafından uyumlu olarak üzerlenir. Birimin yaşı içerdiği fosil içeriğine göre Malm yaşlıdır (Öztürk, 1989). Platform, olası gelgit düzlüğü şelf lagünü ortamını temsil eder.



Şekil 4. a) Uluğbey Formasyonu kireçtaşları içinde gözlenen oolitler, b) Ergenli Formasyonuna ait dolomitlerin ince kesit görünümü

Figure 4. Oolites observed in the limestones of the Uluğbey Formation, b) Thin section view of the dolomites of the Ergenli Formation



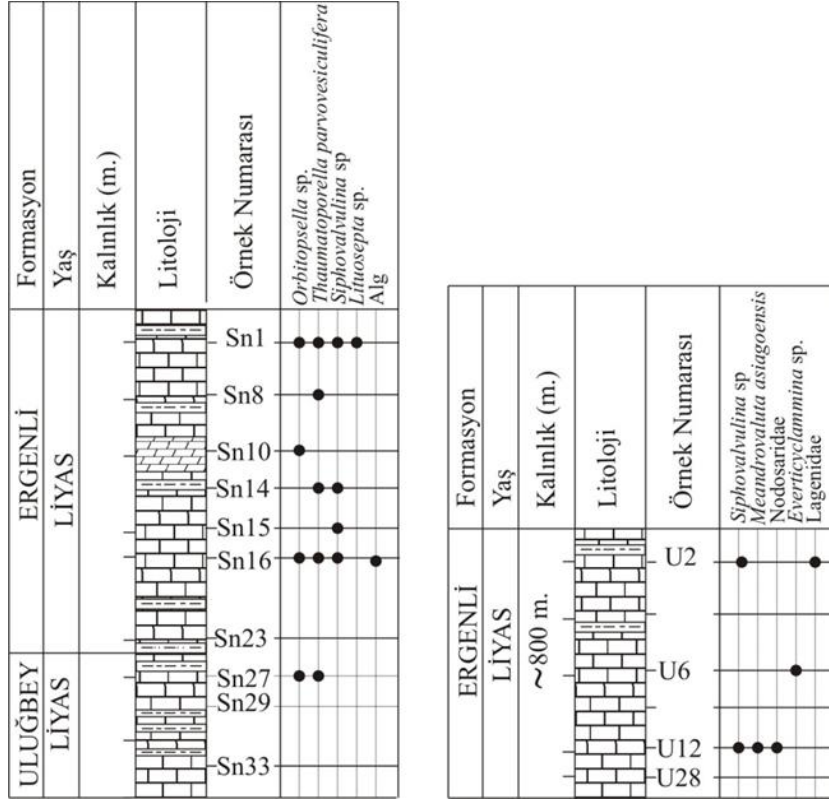
Şekil 5. a,b) Ergenli Formasyonuna ait kireçtaşları, c,d) birim içindeki biyoklastlar

Figure 5. a,b) Limestones of the Ergenli Formation, c,d) bioclasts within the unit

3.1. Uluğbey dikme kesiti

Proje alanının kuzeyinde Uluğbey Köyü ve çevresinde 2 stratigrafik kesit alınmıştır. Sn kesiti Ergenli Resifal Kireçtaşlarıyla başlamaktadır ve 33 örnek alınmıştır. Formasyon yer yer dolomitli gri, açık renkli orta- kalın tabakalı algli kireçtaşlarından oluşmaktadır. Formasyonun paleontolojik tayinlerinde elde edilen *Orbitopsella* sp, *Siphovalvulina* sp, *Lituosepta* sp., bentik

foraminiferlerine ve *Thaumatoporella parvovesiculifera* alg fosillerine göre Liyas yaşı kullanılmıştır. U kesitinde Ergenli resifal kireçtaşları kesilmiş 28 örnek alınmıştır. *Siphovalvulina* sp., *Meandrovoluta asiagoensis*, *Everticyclammina* sp., Nadosaridae, Lagenidae gibi sınırlı sayıda fosil elde edilmiş ve bu fosil topluluğuna göre Liyas yaşı kullanılmıştır. Formasyonun yaklaşık kalınlığı 800 metredir (Şekil 6, 12).



Şekil 6. Uluğbey Köyü kuzeyinden alınan dikme kesitler (Uluğbey Kesiti)

Figure 6. Column sections taken from the north of Uluğbey Village (Uluğbey Section)

3.2. Senirkent dikme kesiti

Senirkent Birimi içinde yer alan Sulucandere Formasyonu çalışma alanının güneyinde Barla Dağı eteklerinde yer almaktadır. Gri renkli, orta katmanlı pelajik kireçtaşlarıyla arakatkılı, yer yer oolit ve onkoidli kireçtaşlarıyla temsil edilir (Özgül, 1991a). Önceki çalışmalarda fosil içeriğine göre formasyonun çökme yaşı Doger-Erken Kretase olarak belirtilmiştir (Gutnic, 1977; Özgül ve ark., 1991a).

Beşparmak Kireçtaşı Senirkent güneyinde Sulucandere Formasyonu ile faylı dokanaklı olarak yer almaktadır. Gutnic (1977) tarafından adlandırılmış olup çörtlü, kalın tabakalı, rudist kavkıları olan kireçtaşlarıyla başlayıp mikritik kireçtaşlarıyla devam eder. Önceki çalışmalarda fosil içeriğine göre birime Kampaniyen-Maastrichtiyen yaşı verilmiştir (Gutnic, 1977).



Şekil 7. Sulucandere Formasyonuna ait kireçtaşları (Barla Dağı Kuzey yamaçları)

Figure 7. Limestones of the Sulucandere Formation (Northern slopes of Barla Mountain)



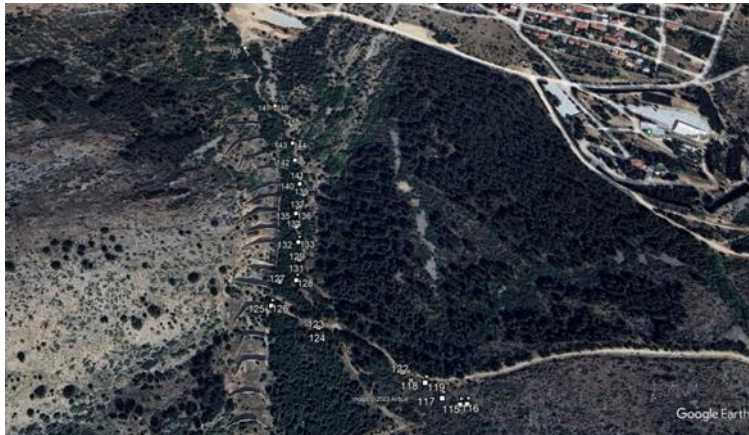
Şekil 8. Beşparmak Kireçtaşı Formasyonuna ait kireçtaşları (Senirkent Kasabası güneyi)

Figure 8. Limestones belonging to the Beşparmak Limestone Formation (south of Senirkent Town)



Şekil 9. Beşparmak Kireçtaşı Formasyonuna ait bivalvia ve rudist kavkıları

Figure 9. Bivalvia and rudist shells from the Beşparmak Limestone Formation



Şekil 10. Senirkent kesiti koordinatlı örnek noktaları (Google Earth)

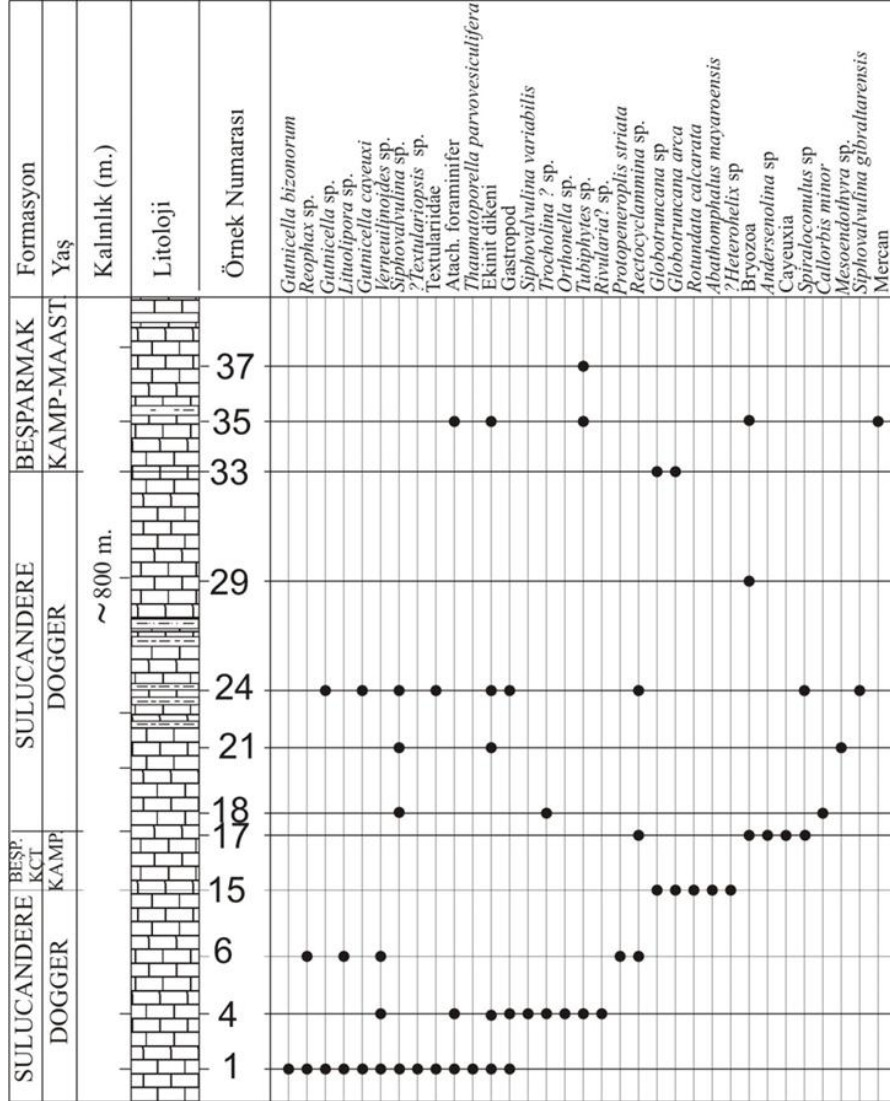
Figure 10. Senirkent section coordinated sample points (Google Earth)

Çalışma alanının güney bölümünü oluşturan örnekler Senirkent ilçesinin güneyinden Barla Dağı boyunca alınmıştır. Arazinin çok sarplık oluşu ve güvenlik önlemleri nedeniyle setlerle kapanmış olması kesit alımını zorlaştırmıştır. Bu çalışma da Sulucandere Formasyonu ve

Beşparmak Formasyonları örneklendirilmiştir. Kesit Sulucandere Formasyonu ile başlar. Birim gri renkli orta katmanlı, yer yer pelajik ara düzeyler içeren kireçtaşlarından oluşmaktadır. Birim içinde *Gutnicella bizonorum*, *Reophax* sp., *Gutnicella* sp.,

Lituolipora sp., *Gutnicella cayeuxi*,
Verneulinoides sp., *Siphovalvulina* sp.,
Textulariopsis sp., Textularidae,
Thaumatoporella parvovesiculifera,
Siphovalvulina variabilis, *Rectocyclammina*

sp., *Spiraloconulus* sp., *Callorbis minor*,
Siphovalvulina gibraltarensis, bentik
foraminiferleri ve *Orthonella* sp., *Rivularia* sp.
algleri saptanmış ve Doger yaşı kullanılmıştır
(Şekil 11, 13, 14).



Şekil 11. Senirkent stratigrafik dikme kesiti

Figure 11. Senirkent stratigraphic columnar section

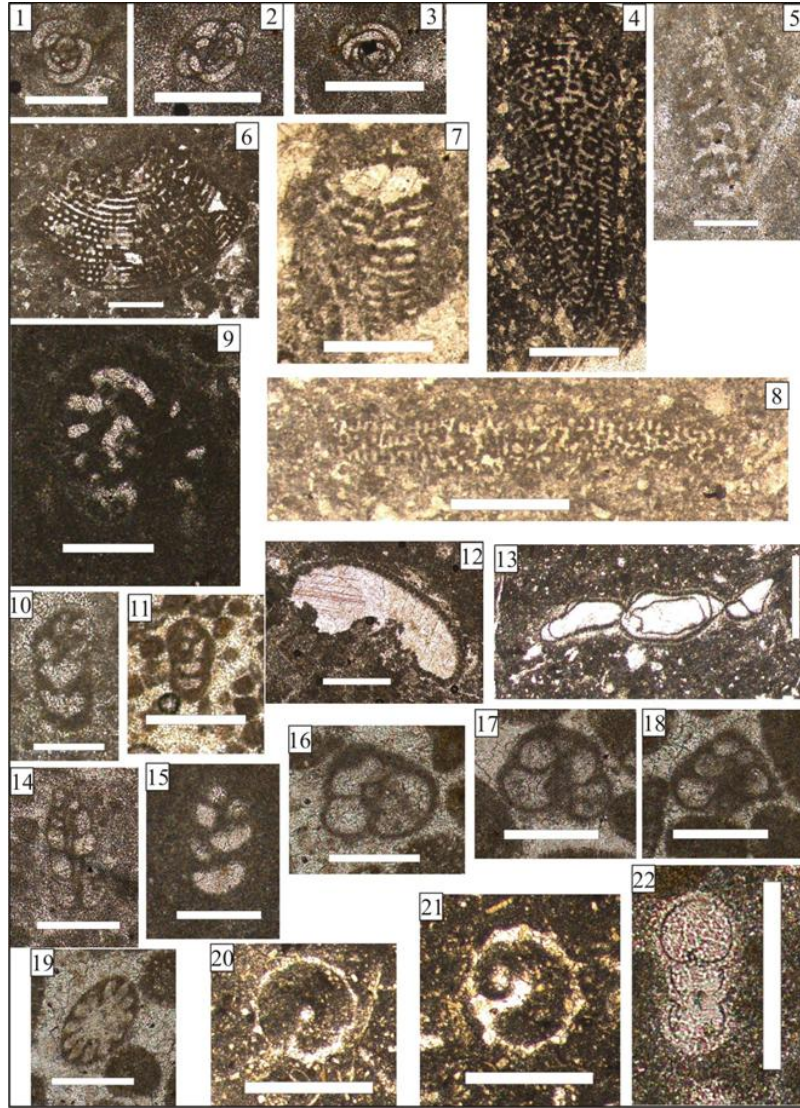
Bu kesitte gözlenen *Gutnicella cayeuxi*'nin yaşı Bajosiyene kadar çıkar, *Spiraloconulus* sp. nin yaşı Bajosiyen'den Kalloviyen'e devam eder. Güney Apeninler'de *Gutnicella cayeuxi* alt zonu olarak De Castro (1991) tarafından Toarsiyen-Aaleniyen zaman aralığında, Gran Sasso (İtalya) 'da Chiocchini ve ark. (1994) tarafından *Gutnicella cayeuxi* menzil zonu olarak Aaleniyen-Bajosiyen zaman aralığında, *Gutnicella cayeuxi* menzil zonu olarak Hardenbol ve ark. (1998)

tarafından Erken Bajosiyen'nin üstü-Erken Bajosiyen'nin altı zaman aralığında tanımlanmıştır. *Spiraloconulus perconigi* Allemann ve Shroeder (1972) tarafından Bathoniyen zaman aralığında, BouDagher-Fadel (2008)'de Bajosiyen-Kalloviyen zaman aralığında tanımlanmıştır.

Bu kesitin Doger bölümün önemli çıktıklarından birini tüm bu Doger yaş verisini kullanabildiğimiz fosillerle birlikte *Siphovalvulina gibraltarensis*'in aynı

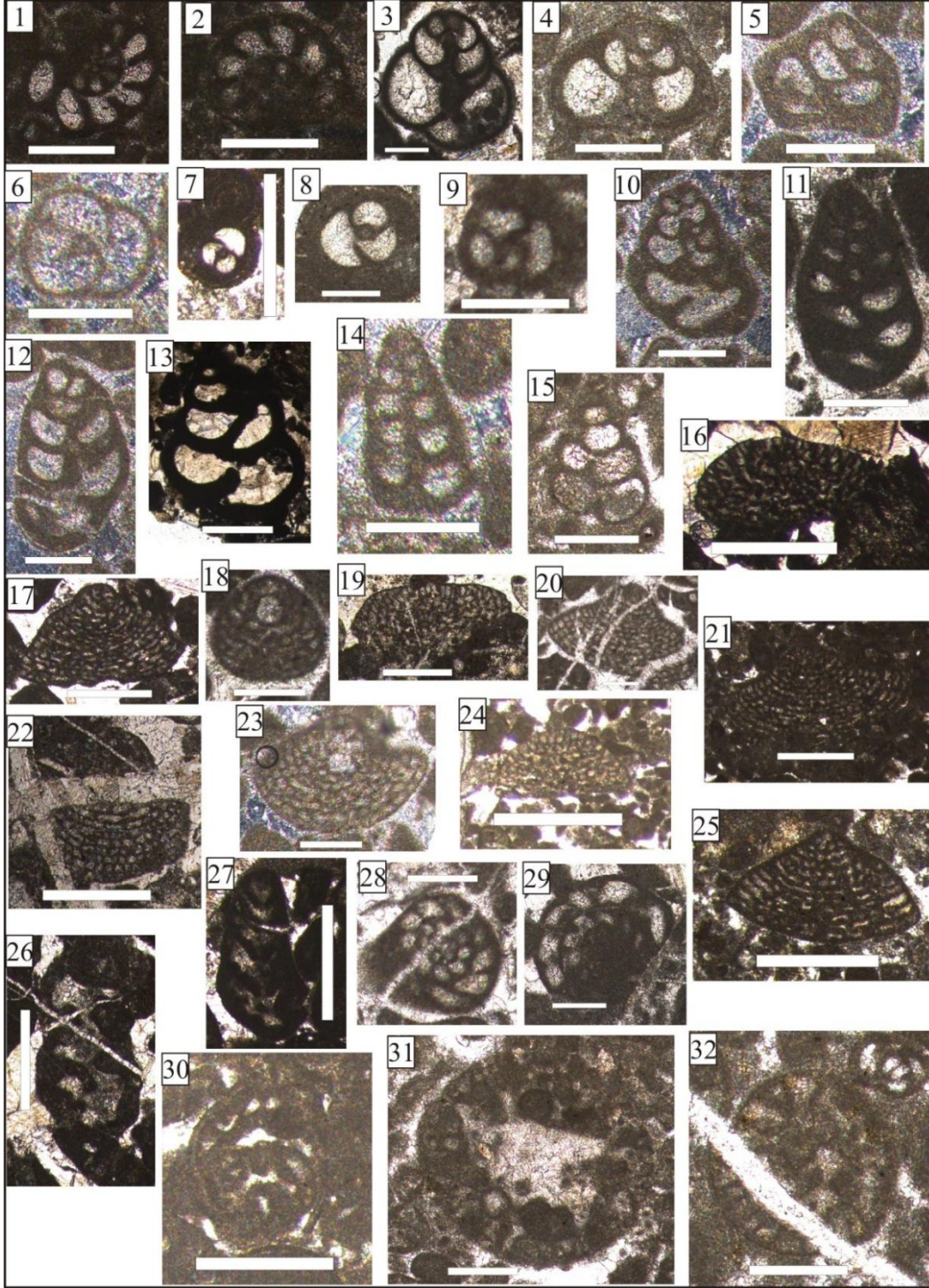
kesitlerde görülmesidir. *Siphovalvulina gibaltarensis* M.K. Boudagher-Fadel'e göre *Siphovalvulina colomi* biyozonu içinde Erken Sinemurian yaş aralığında tanımlanmışken bu kesitte Doger yaşı kullanılan ve önceki biyozonlarda da Doger aralığında bulunduğu kabul edilen foraminiferlerle birlikte gözlenmiştir. Dolayısıyla *Siphovalvulina gibaltarensis*'in stratigrafik seviyesi daha genç bir yaş aralığında da gözlenmiştir.

Arazi kesit güzergahındaki faylı dokanaktan dolayı Beşparmak kireçtaşı olarak tanımlanan birim 2 defa kesilmiştir. Beşparmak kireçtaşı birimi gri renkli mikritik, orta tabakalı yer yer çörtlü kireçtaşlarından oluşmaktadır. Birim içinde saptanan *Globotruncana arca*, *Globotruncana calcarata*, *Globotruncana mayaroensis*, ?*Heterohelix* sp fosillerine göre Kretase (Kampaniyen- Maastrichtiyen) yaş aralığı kullanılmıştır (Şekil 11, 13, 14).



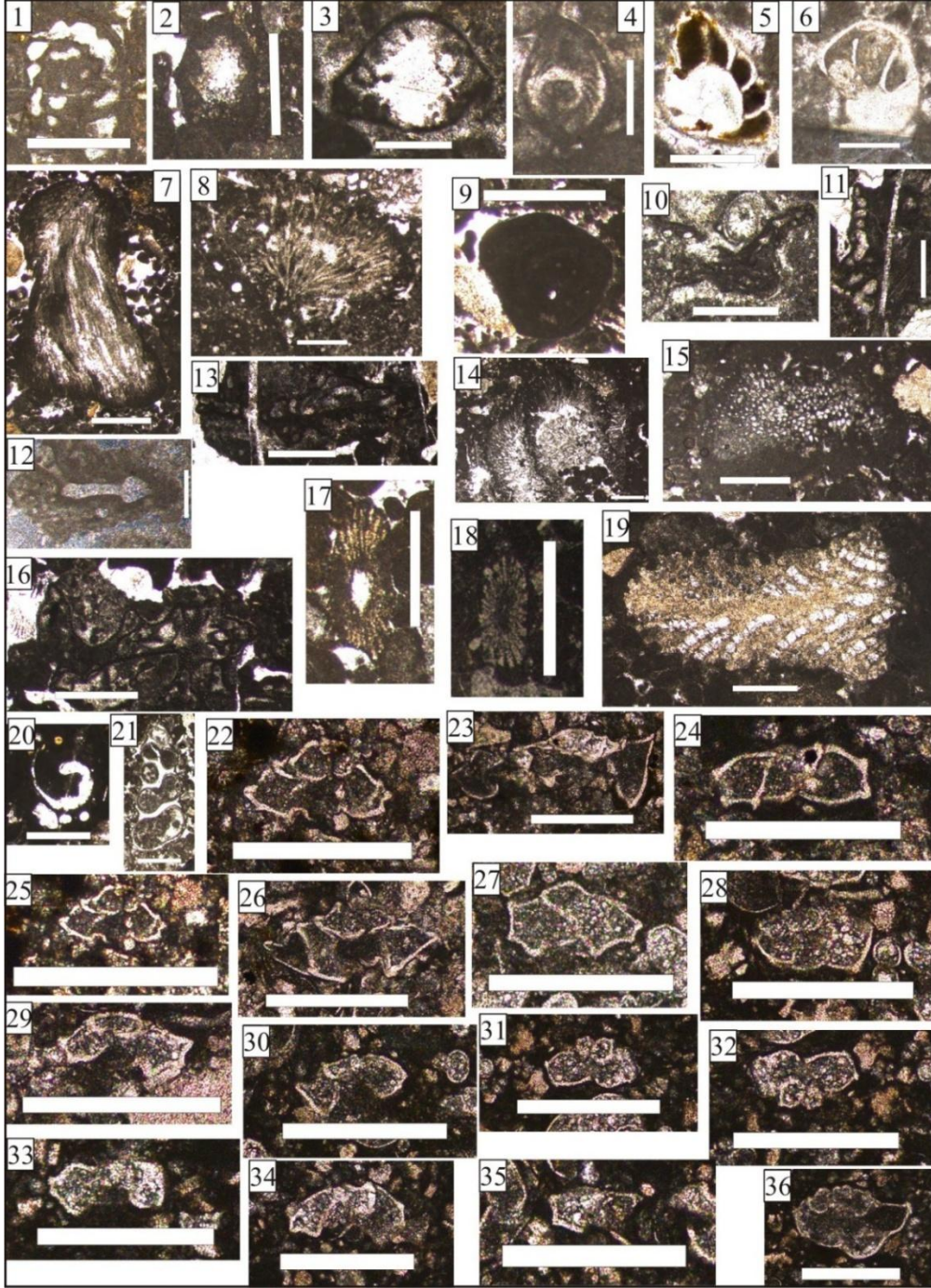
Şekil 12. Ulugbey Kesiti, 1, 2, 3. *Meandrovoluta asiagoensis*, 4, 5, 6, 7, 8. *Orbitopsella* sp., 9. *Lituosepta* sp., 10, 11. *Everticyclammina praevirguliana*, 12, 13. *Thaumotoparella parvovesiculifera*, 14. *Siphovalvulina variabilis*, 15, 16, 17, 18. *Siphovalvulina* sp., 19. Ekinin dikenini, 20, 21. Gastropod, 22. Nadosaridae, (ölçek çubuğu: 500µ)

Figure 12. Ulugbey Section, 1, 2, 3. *Meandrovoluta asiagoensis*, 4, 5, 6, 7, 8. *Orbitopsella* sp., 9. *Lituosepta* sp., 10, 11. *Everticyclammina praevirguliana*, 12, 13. *Thaumotoparella parvovesiculifera*, 14. *Siphovalvulina variabilis*, 15, 16, 17, 18. *Siphovalvulina* sp., 19. *Echinacea thorn*, 20, 21. Gastropod, 22. Nadosaridae, (scale bar: 500µ)



Şekil 13. Senirkent Kesiti, 1, 2. *Callorbis minor*, 3. *Siphovalvulina variabilis*, 4. *Siphovalvulina gibraltarensis*, 5, 6, 7, 8, 9. *Siphovalvulina* sp, 10. *Textulariopsis* sp., 11, 12, 13, 14. *Verneuilinoides* sp., 15. Textularidae, 16. *Gutnicella bizonorum*, 17, 18, 19, 20, 21. *Gutnicella cayeuxi*, 22, 23, 24, 25. *Gutnicella* sp., 26. *Reophax* sp., 27. *Rectocyclammina* sp., 28, 29. *Lituolipora* sp., 30, 31, 32. *Spirolaconulus* sp. (?perconigi). (ölçek çubuğu: 500µ)

Figure 13. Senykent Section, 1, 2. *Callorbis minor*, 3. *Siphovalvulina variabilis*, 4. *Siphovalvulina gibraltarensis*, 5, 6, 7, 8, 9. *Siphovalvulina* sp, 10. *Textulariopsis* sp., 11, 12, 13, 14. *Verneuilinoides* sp., 15. Textularidae, 16. *Gutnicella bizonorum*, 17, 18, 19, 20, 21. *Gutnicella cayeuxi*, 22, 23, 24, 25. *Gutnicella* sp., 26. *Reophax* sp., 27. *Rectocyclammina* sp., 28, 29. *Lituolipora* sp., 30, 31, 32. *Spirolaconulus* sp. (?perconigi). (scale bar: 500µ)



Şekil 14. Senirkent Kesiti, 1. *Mesoendothyra* sp., 2. *Andersenolina* sp., 3. *Trocholina* sp., 4, 5, 6. *Protopenneroplis striata*, 7. *Rivularia* sp., 8. *Orthonella* sp., 9, 12. *Tubiphytes* sp., 10, 11, 13. Atach. Foraminifer, 14, 15. *Cayeuxia* sp., 16. *Thaumtoporella parvovesiculifera*, 17, 18. Ekinit dikenini, 19. Bryozoa, 20, 21. Gastropod, 22. *Globotruncana arca*, 23. *Rotundata calcarata*, 24. *Abathomphalus mayaroensis*, 25-36. *Globotruncana* sp. (ölçek çubuğu: 500µ)

Figure 14. Senykent Section, 1. *Mesoendothyra* sp., 2. *Andersenolina* sp., 3. *Trocholina* sp., 4, 5, 6. *Protopenneroplis striata*, 7. *Rivularia* sp., 8. *Orthonella* sp., 9, 12. *Tubiphytes* sp., 10, 11, 13. Atach. Foraminifera, 14, 15. *Cayeuxia* sp., 16. *Thaumtoporella parvovesiculifera*, 17, 18. Echinid spine, 19. Bryozoa, 20, 21. Gastropod, 22. *Globotruncana arca*, 23. *Rotundata calcarata*, 24. *Abathomphalus mayaroensis*, 25-36. *Globotruncana* sp. (scale bar: 500µ)

4. Sonuçlar

✓ Bu çalışmada Senirkent güneyi Barla Dağı eteklerinden ve Senirkent kuzeyi Uluğbey Köyü ve çevresinden 70 örnek alınmış ve ince kesitleri incelenmiştir. Önceki çalışmalarda paleontolojik veriler oldukça sınırlıdır. Bu çalışmada 11 tür, 30 cins saptanmıştır.

✓ Senirkent Birimi Sulucandere Formasyonu ve Beşparmak Kireçtaşı birimi birbiriyle uyumsuz dokanaktır. Sulucandere Formasyonu yer yer plakette oolitli kireçtaşlarından oluşur ve Doger yaşlıdır. Platform ile açık deniz arası kıta yamacı şelf ortamında çökelmiştir. Beşparmak kireçtaşı birimi rudist kavkıları içeren kireçtaşlarıyla başlayıp orta tabakalı pelajik karakterli Krease (Kampaniyen-Maastrichtiyen) yaşlı bol Glotruncana ve cinsleri içeren mikritik kireçtaşlarından oluşur ve çökelme ortamı platform ile açık deniz arası pelajik ortamını karakterize eder.

✓ Sulucandere Formasyonu bentik foraminifer bakımından oldukça zengindir. Bu çalışmanın önemli sonuçlarından biri Doger yaşını vurgulayan Spiraloconulus cinsiyle önceki çalışmalarda Sinemuriyen-Pliensbahiyen (Erken Jura) yaş aralığında olduğu kabul edilen *Siphovalvulina gibraltarensis* türünün aynı kesitte yer almasıdır.

✓ *Siphovalvulina gibraltarensis* ilk olarak İspanya Alt Jurasında (González-Donoso ve ark., 1974), Balear Adalarında (Colom, 1980) ve Cebelitarık Kireçtaşı Üyesi (BouDagher-Fadel ve ark., 2001) tarafından Erken Jura'da kullanılmıştır. Ayrıca yine BouDagher-Fadel tarafından Buffedero Üyesi, Cebelitarık Kireçtaşı Üyesi (Sinemurian), Cebelitarık; Gavilán Formasyonu, Lomo Prieto (Sinemuriyen-Erken Pliensbahiyen), Betic Cordillera, İspanya Labradas Formasyonu (Orta Sinemuriyen), İber Sıradağları, İspanya; Jebel Rat Formasyonu (Sinemuriyen – Pliensbahiyen), Fas; Oust Formasyonu (Erken Orta Sinemurian), Jebel Aziz, Dorsales Sıradağları, Tunus; Kalkar Massiccio (Sinemuriyen – Pliensbahiyen), Monte Bove güneyi, Sibillini Dağları, orta İtalya; Pantokrator Formasyonu (Sinemuriyen-

Pliensbahiyen) yaşları kullanılmış ancak Senirkente Doger yaşını veren foraminiferlerle aynı kesitte yer alması önemli bir veridir.

✓ Uluğbey ve Ergenli formasyonlarının dokanakları uyumlu olup oolitli, dolomitli ve alg fosilleriyle birlikte, çökelme ortamı sığ, gelgit düzlüğü ve lagün ortamını işaret eder. Birimler içinde saptanan *Orbitopsella* sp., *Lituosepta* sp., *Meandrovoluta asiagoensis*, *Everticyclammina* sp., *Siphovalvulina* sp. fosillerine göre Liyas yaşı kullanılmıştır.

Açıklama

Bu çalışma Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje Numarası: 21.MUH.01

Kaynaklar

- Allemann, F., Schroeder, R., 1972. *Spiroconulus perconigi* n. sp. a new Middle Jurassic foraminifer of Oman and Spain. *Revista Espanola de Micropaleontologia*, 30: 199–209.
- Balcı, V., 2011. 1/100 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları. No:161, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- BouDagher-Fadel, M.K., 2008. Evolution and geological significance of larger benthic foraminifera. *Developments in Palaeontology and Stratigraphy*, 21: 1-544.
- BouDagher-Fadel, M.K., Rose, E.P.F., Bosence, D.W.J., Lord, A.R., 2001. Lower Jurassic Foraminifera and calcified microflora from Gibraltar, western Mediterranean. *Palaeontology*, 44(4): 601–621.
- Chiocchini, M., Farinacci, A., Mancinelli, A., Molinari, V., Potetti, M., 1994. Biostratigrafia a foraminiferi, dasicladali e calcipionelle delle successioni carbonatiche mesozoiche dell'Appenninocentrale (Italia). In: Mancinelli, A., (Ed.), Biostratigrafia dell'Italia centrale. Studi Geologici Camerti.

- Colom, G., 1980. Estudios sobre las litofacies y micropaleontologia del Lías inferior de la Isla de Cabrera (Balears). *Revista Española de Micropaleontología*, 47–64.
- De Castro, P., 1991. Mesozoic, 5th *International Symposium on fossil algae, Capri*, 7-12 April, Napol, pp. 21-38.
- Demirkol, C., 1977. Yalvaç-Akşehir dolayının jeolojisi. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Konya.
- Dumont, J.E., Kerey, E., 1975. Eğirdir Gölü Güneyinin Jeolojisi, T.J.K. 169-175.
- Dumont, J.F., 1976. Etudes geologiques dans les Taurides occidentales, Les formations Paleozoiques et Mesozoiques de la couplede Karacahisar (Province d'Isparta, Turquie). These 3 cycle Univ. Paris-Sud, Orsay, p. 213.
- González-Donoso, J.M., Linares, A., Rivas, P., 1974. El Lías inferior y medio de Poloria (serie del Zegri, Zona Subbética, norte de Granada). *Estudios Geológicos*, 30: 639–654.
- Gutnic, M., 1977. Geologie du Taurus Pisidien au Nord d'Isparta (Turquie). Trv. Lab., Geol. Hist. Univ., Paris, XI, 112 p.
- Hardenbol, J., Thierry, J., Farley, M.B., Jacquin, T., De Gracianski, P.C., Vail, P.R., 1998. Mesozoic and Cenozoic sequence stratigraphic framework of European Basins. In: P.C. De Gracianski, J. Hardenbol, J. Thierry, P.R. Vail, (Eds.), Mesozoic and Cenozoic sequence stratigraphy of European Basins. SEPM Special Publication, pp. 60.
- Koçyiğit, A., 1981. Isparta büklümü'nde (batı toroslar) toros karbonat platformunun evrimi. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 24: 15-23.
- Özgül, N., 1976. Torosların bazı temel jeoloji özellikleri. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 19: 65–78.
- Özgül, N., Bölükbaşı, S., Alkan, H., Öztaş, Y., Korucu, M., 1991a. Kırdag-Barla Dağları-Davras Dağı yöresinin jeolojisi. Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Genel Müdürlüğü Rapor No 3149. Ankara.
- Özgül, N., Bölükbaşı, S., Alkan, H., Öztaş, Y., Korucu, M., 1991b. Göller Bölgesinin Tektono-Stratigrafik Birlikleri, Ozan Sungurlu Sempozyumu Bildirileri. Ozan Sungurlu Bilim, Eğitim ve Yardım Vakfı, Ankara.
- Öztürk, E.M., 1989. Balçıkhisar karaadilli (Afyon) dereköy (Isparta) dolayının jeolojisi. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Parajes, E., 1942. Sandıklı-Dinar-Burdur ve Eğirdir bölgesinde yapılan löveler hakkında rapor. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Rapor No. 1390, Ankara.
- Turhan, N., 2002. 1/500 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Yağmurlu, F., 1991. Yalvaç-Yarıkkaya Neojen havzasının stratigrafisi ve depolanma ortamları. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 34: 9-19.

Atf Şekli: Karabaşolu, A., 2025. Senirkent (Isparta) Çevresinin Mesozoyik Mikropaleontolojik Verileri. *MAS Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 10(1): 120-131.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15094896>.

To Cite: Karabaşoğlu, A., 2025. Mesozoic Micropaleontological Data of Senirkent (Isparta) Surroundings. *MAS Journal of Applied Sciences*, 10(1): 120-131.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15094896>.

Veteriner Hekimlik Eğitiminde Sosyal Medyanın Etkisi: Veteriner Parazitoloji Eğitiminde Sosyal Medya Kullanımının Öğrenme Sürecine KatkılarıMeral AYDENİZÖZ ^{1*}, Pınar AYVAZOĞLU DEMİR ²¹ Kırıkkale Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Parazitoloji Anabilim Dalı, Kırıkkale² Kırıkkale Üniversitesi Veteriner Fakültesi, Hayvan Sağlığı Ekonomisi ve İşletmeciliği Anabilim Dalı, Kırıkkale*Sorumlu yazar (Corresponding author): pinardemir80@hotmail.com**Geliş Tarihi (Received):** 11.01.2025**Kabul Tarihi (Accepted):** 26.02.2025**Özet**

Bu çalışmada, Veteriner Fakültesi öğrencilerinin parazitoloji dersi bağlamında sosyal medya ve internet kullanım alışkanlıkları ile bu platformların öğrenme süreçlerine etkileri analiz edilmiştir. Çalışma kapsamının genişliği nedeniyle Demir Ayvazoğlu ve Aydenizöz (2024)'ün yayımlanmış olan araştırmasının devamı niteliğinde olan bu çalışmada, katılımcıların sosyal medyayı Veteriner hekimlik eğitiminde %56.8'inin görselleştirilmiş vaka örneklerine ulaşmak, %27.2'sinin hastalıkların teşhis ve tedavi süreçleriyle ilgili hızlı bilgi almak, %16'sının ise hastalıktan korunma ve kontrol programlarını öğrenmek amacıyla kullandıkları belirlenmiştir. Ayrıca, parazitoloji ders içerikleri özelinde internet kullanım nedenleri arasında, %40.3 oranında parazit görsellerini incelemek, %25.1 oranında sınavlara hazırlanmak ve %22.2 oranında ders slaytlarına ulaşmak yer almıştır. Katılımcıların sosyal medyada en çok Google (%59.1) ve YouTube'u (%20.5) tercih ettiği belirlenmiştir. Öğrencilerin sosyal medya kullanım sıklığı, bireysel tercihlerine ve dersin içeriğine bağlı olarak farklılık gösterdiği ancak parazitoloji dersi özelinde sosyal medya kullanım oranı %21.1'inin sık sık, %46.2'sinin bazen kullandığı tespit edilmiştir. Çalışmada ayrıca öğrencilerin yaklaşık %94'nün internet ortamındaki bilgilere tamamen güvenmek yerine seçici davranmayı tercih ettikleri ve bilgiyi değerlendirmek için çeşitli kriterler kullandıkları belirlenmiştir. Sonuç olarak, internet ve sosyal medyanın, özellikle görsel öğrenme ve bilgiye hızlı erişim sağlama konularında parazitoloji dersinde öğrenciler için önemli bir öğrenme aracı olduğu ortaya konmuştur. Bununla birlikte, güvenilir bilgi kaynaklarının teşviki ve dijital okuryazarlığın geliştirilmesi, öğrencilerin bu araçlardan daha etkili bir şekilde faydalanabilmesi için kritik öneme sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Sosyal medya, internet kullanımı, veteriner hekimlik eğitimi, parazitoloji**The Impact of Social Media in Veterinary Education: Contributions of Social Media Use to the Learning Process in Veterinary Parasitology Education****Abstract**

In this study, the social media and internet usage habits of Veterinary Faculty students in the context of the parasitology course and the effects of these platforms on their learning processes were analyzed. As an extension of the research conducted by Demir Ayvazoğlu and Aydenizöz (2024) due to the broad scope of the topic, this study identifies that 56.8% of participants use social media in veterinary education to access visualized case examples, 27.2% to obtain quick information about the diagnosis and treatment of diseases, and 16% to learn about disease prevention and control programs. Specifically, regarding the use of the internet for parasitology course content, 40.3% of participants reported using it to examine parasite images, 25.1% to prepare for exams, and 22.2% to access lecture slides. Google (59.1%) and YouTube (20.5%) were identified as the most preferred platforms among students for these purposes. The frequency of social media usage varied depending on individual preferences and course content, with 21.1% of students reporting frequent use and 46.2% reporting occasional use specifically for the parasitology course. Additionally, approximately 94% of students stated that they prefer to be selective rather than fully trusting information found on the internet and use various criteria to evaluate the reliability of the information. In conclusion, the study highlights that the internet and social media serve as important learning tools for students in the parasitology course, especially in terms of visual learning and quick access to information. Nevertheless, fostering digital literacy and ensuring access to reliable information sources are essential for optimizing students' engagement with these educational tools.

Keywords: Social media, internet use, veterinarian education, parasitology

1. Giriş

Sosyal medya (SM), “kullanıcıların bilgi, fikir paylaşmak ve insanlarla bağlantı kurmak için çevrimiçi topluluklar oluşturabildiği web siteleri veya sosyal ağ uygulamaları gibi elektronik tabanlı herhangi bir iletişim aracı” olarak tanımlanmaktadır (Liu ve ark., 2017; Taher ve Ali, 2024). İnsanların zaman mefhumu ve yer kavramı olmaksızın Facebook, WhatsApp, Messenger, Instagram vb. gibi çeşitli sosyal ağ sitelerinde birbirleriyle fikir paylaşımı yaptıkları alanlardır. Dünyanın her yerinde ve hayatın her anında kullanılabilen platformlardır. Akıllı telefonların, tabletlerin, dizüstü bilgisayarların ve diğer akıllı cihazların kullanılabilirliği, öğrencilerin sosyal medyaya olan günlük yoğun bağımlılığını artırmıştır. Öğrencinin yaşamı, sosyal etkileşimi, akademik başarısı ve hatta öz kavramı bile bu bağımlılıktan etkilenir hale gelmiştir (Taher ve Ali, 2024).

Yaşadığımız 21. yüzyılda sosyal medya araçları iletişimde kullanıldığı gibi, birçok meslek kuruluşları için de ulaşılması kolay bilgi kaynağı haline gelmiştir. Günümüzde artık somut kitap, dergi kaynaklı yayımlar, dijital ortamda basılmaya çalışılmakta, dünya genelinde insanların dijital sisteme geçmesi, kolaylığı ve rahat ulaşılabilir olmasından gelmektedir. Sosyal medyanın özellikle sağlık hizmetlerinde bir devrim gerçekleştirmesi; insanların öncelikli başvurdukları kaynak haline gelmiş, aynı zamanda hekimlerin de yaygın olarak kullandığı görülmüştür (Hamm ve ark., 2013).

İnsanların çevrim içi yaşamları günümüzde giderek artmaktadır. İnternet kullanımı artık toplumun her kesimine yayılmıştır. Veteriner Fakültesi öğrencileri ders materyali olarak çevrimiçi kaynakları ve sosyal medyayı kullanmaktadırlar. Bu durum özellikle öğrencilerin öğrenme deneyiminde bir dizi avantaj ve olumlu sonuçla ilişkilendiriliyor (Ellaway ve ark., 2005; Siegford ve ark., 2005; Cockram ve ark., 2007; McGreevy, 2007; Roshier ve ark., 2011; Sadeh ve ark., 2021).

Parazitoloji öğretimi, özellikle Veteriner Fakültesi öğrencileri için klinik bilimleri

eğitiminin temel bir bileşenini temsil eder (Denecke ve ark., 2009; Hamm ve ark., 2013). Klinik bilimleri içerisinde yer alan parazitolojinin desteği iç hastalıkları dersinde güçlü bir temel, hastalıkları oluşturan parazitlerin morfoloji, biyoloji, teşhis ve tedavi, korunma yollarını anlamak için gereklidir. Bu nedenle, parazitoloji öğrenimi öğrencileri başarılı klinisyen olmaya hazırlamak için çok önemlidir.

20 yıl öncesinde diğer fakültelerdeki gibi Veteriner Fakültesinin diğer birçok dersleri arasında yer alan Parazitoloji dersi geleneksel klasik öğretim imkanları olan tepe göz, slayt makineleri için hazırlanan dökümanlarla öğretilmeye çalışılırdı (Çiçek, 2018). Dolayısıyla öğretim görevlisinin bilgiyi doğrudan öğrenciye anlatması ile pasif öğrenme tarzında gerçekleştirilmekteydi (Denecke ve ark., 2009; Avcı ve ark., 2015). Ancak diğer bilim alanlarındaki dersler gibi Parazitoloji derslerinde de çevrimiçi kaynakların artan kullanımıyla karakterize edilen daha teknolojik olarak geliştirilmiş öğretim uygulamalarına doğru hızlı bir evrim geçiriyor. Zaman zaman video uygulamalarının yer aldığı YouTube çevrim içi uygulamalar da etkili bir kaynak olmuştur. Facebook, Blogger, Twitter, Instagram, Wikipedia, gibi sosyal medya platformları da lisans düzeyinde tek sağlık eğitiminin öğretim sürecine entegre edilmiştir (Denecke ve ark., 2009; Hamm ve ark., 2013; Avcı ve ark., 2015).

Parazitoloji eğitiminde öğrenciler özellikle görsel olarak parazitlerin ergin formunun morfoloji, yumurta ya da oocytlerinin morfolojisi, biyolojik siklusları için interneti kullanmaktadır. Paraziter hastalıkların klinik semptomlarının ne olabileceği konusunda bilgi edindikten sonra teşhis ve tedavide de ne tür ilaçların kullanılacağı konusunda bilgi sahibi olma yoluna gitmektedirler. E-öğrenme diyebileceğimiz bu durum yüksek öğrenimde öğrenci öğrenme deneyimini kökten dönüştürdü ve artan esneklik ve kendi kendine yönlendirilen çalışma potansiyeli sunmuştur. Parazitoloji derslerinde de internetteki bilgi doğruluğu kesinleşmiş belirli sitelerden,

çevrim içi kaynaklar mutlak surette yararlanmanın öğreticilik açısından olumlu faydaları olduğu kesindir. Öğrencilerin de çevrim içi kaynaklarla birbirleriyle iletişim halinde ders konusunda yararlandıkları gerçeği mevcuttur (Gledhill ve ark., 2017).

Demir Ayvazoğlu ve Aydenizöz, (2024)'ün çalışmasının devamı niteliğinde olan bu çalışmanın amacı, Kırıkkale Üniversitesi Veteriner Fakültesi öğrencilerinin Parazitoloji dersleri özelinde sosyal medya ve internet kullanım alışkanlıkları ile bu platformların öğrenme süreçlerine etkilerini belirlemektir.

2. Materyal ve Yöntem

Bu araştırmanın örneklem ve veri toplama süreci, "Veteriner Hekimlik Eğitiminde Sosyal Medyanın Etkisi" başlıklı çalışmada (Demir Ayvazoğlu ve Aydenizöz, 2024) detaylı olarak sunulmuştur. Araştırmanın geniş kapsamı göz önünde bulundurularak, bu çalışma söz konusu araştırmanın devamı niteliğindedir. Çalışmaya başlangıçta 192 katılımcı dahil edilmiştir. Ancak, çalışmanın bu bölümünde parazitoloji dersine ilişkin sorular yer aldığından, söz

konusu dersi henüz almamış olan birinci sınıf öğrencileri çalışma dışında tutulmuş ve analizler üst sınıflardaki 171 öğrenci üzerinden gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler, frekans dağılımı ve/veya yüzde olarak tablolar halinde sunulmuştur.

3. Bulgular

Çalışmaya katılan öğrencilerin sınıf düzeylerine göre dağılımı incelendiğinde, katılımcıların %17,2'sinin (35 kişi) 2. sınıf, %27,6'sı (53 kişi) 3. sınıf, %20,3'ü (39 kişi) 4. sınıf ve %22,9'u (44 kişi) ise 5. sınıf öğrencisi olduğu tespit edilmiştir. Buna göre çalışmaya katılan öğrencilerin sınıf düzeylerinin dengeli bir şekilde dağıldığı ve farklı sınıflardan öğrencilerin araştırmaya dahil edildiği söylenebilir. Ancak çalışmanın bu bölümünde parazitoloji dersine özel sorular sorulduğu için bu dersi almayan 1. sınıflar bu çalışmaya dahil edilmemiştir (21 kişi). Veteriner Fakültesi öğrencilerinin, veteriner hekimlik eğitiminde sosyal medyayı en sık kullandıkları dersler ve kullanım oranları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Veteriner hekimlik eğitiminde sosyal medyanın en sık kullandığı dersler
Table 1. The most frequent uses of social media in veterinary education

Bölgümler	Katılımcı Sayısı	Yüzde (%)
Klinik Bilimleri Dersleri	81	47.4
Klinik Öncesi Bilimleri Dersleri	35	20.5
Temel Bilimleri Dersleri	32	18.7
Zootekni ve Hayvan Besleme Bölüm Dersleri	16	9.3
Gıda ve Besin Hijyeni Dersleri	7	4.1
Toplam	171	100

Tablo 1 incelendiğinde, Veteriner hekimlik eğitimi gören öğrencilerin sosyal medyayı en fazla kullandıkları derslerde klinik bilimleri derslerinin (%47.4) ön plana çıktığı görülmektedir. Sosyal medya kullanımının en yaygın olduğu diğer dersler ise sırasıyla Klinik Öncesi Bilimler Dersleri (%20.5), Temel Bilimler dersleri (%18.7) olup, sosyal medyanın en az kullanıldığı dersler; Zootekni ve Hayvan Besleme Bölümü dersleri (%8.33) ile Gıda ve Besin Hijyeni dersleri (%3.65) olarak tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada veteriner hekimlik eğitiminde öğrencilerin

bilgi eksikliği yaşadıkları bir konuyla karşılaştıklarında sergiledikleri davranışları belirlemeye yönelik yanıtları analiz edildiğinde, öğrencilerin çoğunluğunun başvurdukları kaynaklar arasında farklı tercihlerde buldukları gözlemlenmiştir. Anket sonuçlarına göre, katılımcıların %40.9'u (70 kişi) ders kitabını okumayı tercih etmekte, %27.5'i (47 kişi) dersin hocalarına sorarak açıklama almayı seçmektedir. İnternette araştırma yapmayı tercih edenlerin oranı ise %31.6 (54 kişi) olarak belirlenmiştir. Bu bulgular, öğrencilerin anlamadıkları

konularda farklı bilgi kaynaklarına başvurduklarını ve en yaygın olarak ders kitabı ve interneti kullandıklarını göstermektedir. Yapılan çalışma sonuçlarına göre, katılımcıların parazitoloji dersinde ve

Veteriner klinik uygulamalarında hastalıkların teşhis ve tedavisinde sosyal medyanın kullanım sıklığına ilişkin veriler Tablo 2’de verilmiştir

Tablo 2. Parazitoloji dersinde ve klinik uygulamalarında sosyal medya kullanımı sıklığı

Table 2. Frequency of social media use in parasitology courses and clinical practice

Parazitoloji Dersinde Sosyal Medya Kullanım Sıklığı			Klinik Uygulamalarında Sosyal Medya Kullanım Sıklığı		
	Frekans (n)	Yüzde (%)		Frekans (n)	Yüzde (%)
Evet, sık sık	36	21.1	Evet sık sık	56	32.8
Evet, bazen	79	46.2	Bazen	69	40.4
Evet, nadiren	47	27.5	Nadiren	37	21.6
Kullanmıyorum	9	5.2	Kullanmıyorum	9	5.2
Toplam	171	100	Toplam	171	100

Tablo 2’de, parazitoloji dersinde sosyal medyanın kullanım sıklığına ilişkin öğrenci yanıtları incelendiğinde, katılımcıların %21.1’sinin (n=36) sosyal medyayı sık sık kullandıkları, %46.2’sinin (n=79) sosyal medyayı bazen kullandıkları görülmüştür. Buna karşın katılımcıların, %27.5’i (n=47) sosyal medyayı nadiren kullandığını, %5.2’si (n=9) ise parazitoloji dersinde sosyal medyayı kullanmadığını belirtmiştir. Bu veriler doğrultusunda, katılımcıların sosyal medya kullanım alışkanlıklarının farklılık gösterdiği ve her öğrencinin kullanım sıklığının değişkenlik arz ettiği tespit edilmiştir. Tablo 2’te katılımcıların, veteriner klinik uygulamalarında sosyal medya kullanımına ilişkin görüşleri incelendiğinde, katılımcıların %32.8’sinin (n=56) sık sık kullandığı görülmektedir. Çalışmada %40.4’lük bir grup

(n=69) bazen kullandığını belirtirken, %21.6’sı (n=37) nadiren kullandığını dile getirmiştir. Katılımcıların yalnızca %5.2’si (n=9) interneti teşhis ve tedavi süreçlerinde kullanmadığını ifade etmiştir. Ayrıca, sosyal medyanın veteriner kliniklerinde hangi amaçlarla kullanıldığına dair sorulan soruda, katılımcıların %56.8’i (n=71) görselleştirilmiş vaka örneklerine ulaşmak için, %27.2’si (n=34) hastalıkların teşhis ve tedavi sürecine ilişkin hızlı bilgiye ulaşmak için, %16’sı (n=20) hastalıktan korunma ve kontrol programlarını öğrenmek için sıklıkla kullanıldığı belirlenmiştir. Çalışmada katılımcılara parazitoloji dersi eğitiminde ders içeriğiyle ilgili en çok hangi internet kanalını kullandıkları sorulmuştur. Elde edilen bulgular Tablo 3’te sunulmuştur.

Tablo 3. Parazitoloji dersi eğitiminde kullanılan internet kanalları

Table 3. Internet channels used in parasitology course education

İnternet Kanalları	Kullanım Sayısı (n)	Yüzde (%)
Google	101	59.1
YouTube	35	20.5
Instagram	19	11.1
Wikipedia	16	9.3
Toplam	171	100

Tablo 3 incelendiğinde katılımcıların parazitoloji ders içeriklerinde en fazla kullanılan kanal Google (%59.1) olup, onu YouTube’un (%20.5) takip ettiği

görülmektedir. Instagram’ın kullanım oranı ise %11 olup, Wikipedia’nın %9.3’lük bir tercih oranına sahip olduğu belirlenmiştir. Çalışmada Parazitoloji dersi kapsamında katılımcıların

interneti en çok hangi amaçla kullandığını ortaya koymak için sorulan soruya katılımcıların verdikleri cevaplar Tablo 4'te verilmiştir. Tablo 4 incelendiğinde, katılımcıların büyük bir kısmı interneti, parazitlere ilişkin görselleri görmek amacıyla kullandıkları (%40.3) görülmektedir. Bunu

sırasıyla, sınavlara hazırlık amacıyla kullananlar (%25.1) ve ders slaytlarına ulaşmak için kullananlar (%22.2) izlemektedir. Bilimsel amaçlar için internet kullananların oranı %7.1, ödev yapmak amacıyla kullananların oranı ise %5.3 olarak belirlenmiştir.

Tablo 4. Parazitoloji dersi eğitiminde internetin kullanım amaçları

Table 4. Purposes of using the internet in parasitology course education

Kullanım Amacı	Kullanıcı Sayısı	Yüzde (%)
Görseller	69	40.3
Sınava hazırlık	43	25.1
Ders Slaytları	38	22.2
Bilimsel Amaçlı	12	7.1
Ödev	9	5.3
Toplam	171	100

Araştırmanın amacı doğrultusunda, katılımcıların bilgiye erişim süreçlerinde internet ortamındaki kaynaklara yönelik güven algıları incelenmiştir. Araştırma kapsamında, katılımcıların internet ortamındaki bilgilere güven durumlarını etkileyen kriterler Tablo 5'te verilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, katılımcıların %5.9'u internet ortamındaki bilgilere genel olarak güvendiklerini

belirtmiştir (n=10). Bununla birlikte, çoğunluğun sitenin adına ve güvenilirliğine dikkat ederek bilgiye güvenmeyi tercih ettikleri (%49.1; n=84) görülmektedir. Katılımcıların %29.2'si (n=50), bilginin ders kitabı veya slaytlarla uyumlu olup olmadığına dikkat ettiğini, %15.8'lik bir grup (n=27), ise bilginin kim tarafından yazıldığına önem verdiğini belirtmiştir.

Tablo 5. Parazitoloji eğitiminde internet ortamındaki bilgiye güven durumları

Table 5. Trust in information on the internet in parasitology education

	(n)	(%)
İnternetteki bilgilere genel olarak güvenirim	10	5.9
Sitenin adına ve güvenilirliğine bakarım	84	49.1
Ders kitabı veya slayt olup olmadığına bakarım	50	29.2
Bilginin kim tarafından yazıldığına bakarım	27	15.8
Toplam	171	100

4. Tartışma

Veteriner fakültesi öğrencilerinin derslerde sosyal medya kullanımını değerlendiren çalışmalar, sosyal medyanın öğrenme ve bilgi paylaşımı için etkili bir araç olabileceğini ortaya koymaktadır (Joshi ve ark., 2018). Veteriner hekimlik eğitimi gören öğrencilerin sosyal medya kullanım alışkanlıklarının ders içerikleriyle olan ilişkisi değerlendirmek için yapılan çalışmada Veteriner hekimlik eğitimi gören öğrencilerin, sosyal medya kullanımında özellikle klinik bilimlerle ilgili derslerini belirgin bir şekilde ön planda tuttukları, bunu

klinik öncesi bilimleri dersleri ile temel bilimler derslerinin izlediği tespit edilmiştir. Bu çalışma bulgusuna paralel olarak Slegford ve ark. (2005) ile McGreevy ve ark. (2007), yaptıkları çalışmada klinik bilimlerde sosyal medya kullanımının artış gösterdiğini ve bu platformların vaka bazlı öğrenmeyi destekleyen görsel materyallerin paylaşımında etkili olduğunu bildirmişlerdir. Özellikle vaka analizleri ve klinik durumlara yönelik eğitici içeriklerin sosyal medyada paylaşılması, öğrenciler arasında bilgi alışverişini artırmaktadır. Özellikle temel bilimler derslerinin sosyal medya kullanımında daha

geri planda kalması ise, bu derslerin teorik yapısının ağır basmasından ve teorik bilginin sosyal medya üzerinden yayılmasının daha az etkili olmasıyla açıklanabilir. Bu bağlamda temel bilimlerdeki bilgilerin görselleştirilmesi veya popülerleştirilmesi sosyal medya kullanımını artırabilir.

Yapılan çalışmada, Veteriner hekimlik eğitimi alan öğrencilerin bilgi eksikliği yaşadıklarında sergiledikleri davranışlar, öğrenme stratejileri ve bilgiye erişim yolları açısından farklı öğrenme yaklaşımlarını ve kaynak tercihlerini ortaya koymaktadır. Ders kitabının %40.9 ile en çok tercih edilen bilgi kaynağı olması, öğrencilerin geleneksel bilgi kaynaklarına olan güvenini yansıtmaktadır. Bu çalışma bulgusuna paralel olarak, Dewhurst ve ark. (2015) çalışmalarında, Veteriner hekimlik öğrencilerinin bilgiye erişimde özellikle karmaşık veya teknik konuların anlaşılması açısından güvenilir ve detaylı açıklamalar sunan kaynakları tercih ettiklerini belirtmektedir. Çalışmada internetin %31,6 oranında tercih edildiği belirlenmiş olup, genellikle öğrencilerin bilgiye hızlı erişim ihtiyacı duyduklarında kullandıklarını göstermektedir. Saadeh ve ark. (2021) çalışmasında, internetin esnekliği ve erişim kolaylığı nedeniyle öğrenciler arasında yaygın bir bilgi kaynağı olduğu, ancak, çevrimiçi kaynakların doğruluğu ve güvenilirliğinin sorgulanması gerektiği vurgulanmıştır. Bu bulgular, öğrencilerin bilgi eksikliği durumlarında birden fazla kaynağa başvurduklarını ve bu kaynaklar arasında seçim yaparken güvenilirlik, erişim kolaylığı ve kapsamlı açıklama gibi kriterleri dikkate aldıkları şeklinde yorumlanmıştır. İnternetin giderek daha fazla tercih edilmesine rağmen, ders kitabının ve dersin hocasına başvurma oranının yüksek olması hala geleneksel eğitim materyallerinin önemini koruduğunu göstermektedir. Zira Gledhill ve ark. (2017) araştırmalarında, öğretmenlerin birebir iletişimdeki rehberliklerinin öğrencilerin konuları daha iyi kavramasında kritik rolüne sahip olduklarını bildirmişlerdir. Bu durum, özellikle öğrencilerin güvenilir bir açıklama ve yönlendirme aradıkları durumlarda öne çıktığı söylenebilir. Parazitoloji dersinde sosyal

medyanın kullanım sıklığına ilişkin bu veriler, sosyal medyanın öğrenme süreçlerindeki yerini belirlemek açısından önemli olup yapılan çalışmada katılımcıların sosyal medyayı %21.1'sinin sık sık, %46.2'sinin bazen, %27.5'inin nadiren kullandığı belirlenmiştir. Parazitoloji dersinde sosyal medya kullanımındaki farklılıklar, öğrencilerin öğrenme stilleri, bilgiye erişim alışkanlıkları ve dersin yapısı ile ilişkilendirilebilir. Görsel ve interaktif içeriklerin sosyal medyada sunulması, öğrenciler için önemli bir avantaj sağlarken, platformların doğruluğu ve akademik uygunluğu konusunda endişeler, kullanım sıklığını etkileyebilir. Nitekim Gledhill ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada, öğrencilerin bir kısmının bilgiye erişim için hala geleneksel kaynakları (ders kitapları ve hocalar) tercih ettiğini ve interneti yalnızca ek bir kaynak olarak gördüklerini ortaya koymaktadır. Parazitoloji gibi teknik bilgilerin ağırlıklı olduğu bir derste, öğrencilerin ders kitaplarına ve eğitmenlere daha fazla yönelmeleri, bu oranların temel nedenlerinden biri olabileceği söylenebilir.

Veteriner fakültesi öğrencilerinin parazitler hastalıklarının teşhis ve tedavisinde sosyal medya kullanımını incelendiğinde, katılımcıların %32.8'sinin interneti sık sık, %40.4'ünün bazen, %21.6'sının nadiren kullandığı belirlenmiştir. Bu çalışma bulgusuna paralel olarak Joshi ve ark. (2017), özellikle klinik uygulamalar ve teşhis süreçlerinde internetin önemli bir araç olduğunu ve öğrenciler arasında popüler bir bilgi kaynağı haline geldiğini bildirmiştir. Özellikle Veteriner hekim adaylarının, hızlı bilgiye ihtiyaç duyulan durumlarda interneti sıkça tercih ettikleri tespit edilmiştir (McGreevy ve ark. 2007). Buna karşın çalışmada interneti nadiren ve/veya hiç kullanmayanların belli bir oranda (%26.8) olması, öğrencilerin sosyal medyayı öğrenme süreçlerinde seçici olarak kullandıklarını göstermektedir. Saadeh ve ark. (2021), sosyal medyanın, özellikle akademik platformlarda doğru ve güvenilir bilgi sunulması durumunda daha yaygın bir şekilde tercih edildiği vurgulanmıştır. Bu çalışmada, sosyal medyanın veteriner klinik

uygulamalarında daha çok hangi amaçla kullanıldığına dair sorulan soruda, katılımcıların %56.8'i (n=71) görselleştirilmiş vaka örneklerine ulaşmak için, %27.2'si (n=34) hastalıkların teşhis ve tedavi sürecine ilişkin hızlı bilgiye ulaşmak için, %16'sı (n=20) hastalıktan korunma ve kontrol programlarını öğrenmek için kullandıklarını bildirmişlerdir. Bu çalışma bulgusuna paralel olarak Joshi ve ark. (2017) sosyal medyanın, güncel tedavi yöntemleri ve protokollere ulaşmada hız ve esneklik sunduğunu ve bu nedenle öğrenciler arasında popüler bir bilgi kaynağı haline geldiğini bildirmiştir. McGreevy ve ark. (2007) ise çalışmalarında Veteriner hekim adaylarının, özellikle görselleştirilmiş vaka örnekleri ve tedavi protokollerine kolay erişim sağlaması bakımından sosyal medyayı kullandıklarını ifade etmişlerdir. Ancak burada dikkat edilmesi gereken husus, teşhis ve tedavi süreçlerinde hızlı bilgiye ulaşım ve hastalıktan korunma programlarının sosyal medya üzerinden öğrenilmesi, bu platformların akademik içeriklerin doğruluğunun yanı sıra güvenilirlik açısından da dikkatle değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Yapılan çalışmada katılımcıların parazitoloji ders içerikleri için en fazla Google (%59.1) ve YouTube'u (%20.5) kullandıkları belirlenmiştir. Bu çalışma bulgusuna benzer olarak Joshi ve ark. (2017), Google'ın çok çeşitli kaynakları bir arada sunmasından dolayı öğrenciler için bir avantaj olduğunu, McGreevy ve ark. (2007) ile Gledhill ve ark. (2017) ise YouTube'un görselleştirilmiş içerikler ve öğretici videolar sunarak öğrencilerin öğrenme süreçlerine katkıda bulunduğunu ve bir öğrenme aracı olarak daha çok tercih edildiğini bildirmişlerdir. Ancak bu platformda yer alan bilgilerin doğruluğu konusunda dikkatli olunması gerektiği bahsi geçen literatürlerde vurgulanmıştır.

Çalışmada parazitoloji dersi özelinde katılımcıların büyük bir kısmı dijital platformları, parazitlere ilişkin görselleri görmek amacıyla (%40.3), sınavlara hazırlık amacıyla (%25.1) ve ders slaytlarına ulaşmak

için (%22.2) kullandıkları belirlenmiştir. Bu bulgulara paralel olarak Slegford ve ark. (2005) çalışmasında, görselleştirilmiş vaka örneklerinin öğrencilerin kavrayışını artırmada etkili olduğu ve internetin bu tür materyaller için sıkça tercih edildiği ifade etmiştir. Zira dijital platformların, öğrencilerin ders materyallerine zaman ve mekandan bağımsız olarak hızlı bilgi erişimi sağlaması ve geniş bir kaynak çeşitliliği ile kısa ve özet bilgileri görselleştirilmiş vaka örnekleri ile sunması nedeniyle öğrencilerin kavrayışını artırmada etkili oldukları ve internetin bu tür materyaller için sıkça tercih edildikleri bildirilmektedir (Gledhill ve ark., 2017; Slegford ve ark., 2005).

Yapılan çalışmada öğrencilerin yaklaşık %94'nün internet ortamındaki bilgilere tamamen güvenmek yerine seçici davranmayı tercih ettikleri ve bilgiyi değerlendirmek için çeşitli kriterler kullandıkları belirlenmiştir. Çalışmada özellikle sitenin güvenilirliğine dikkat etme oranının yüksek olması (%50) öğrencilerin farkındalığının yüksek olduğunu göstermektedir. Çalışmada ayrıca katılımcıların bilginin kim tarafından yazıldığına önem vermesi, kaynakların otoritesine ve uzmanlığına güven duyulan sitelere bakmaları, dijital medya okuryazarlığı ve bilgi doğrulama becerileri kazandıkları şeklinde yorumlanmıştır.

5. Sonuçlar

Günümüzde internet ve sosyal medya, öğrencilerin eğitim ve akademik yaşamlarında giderek daha etkili bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada elde edilen bulgular, sosyal medyanın öğrenciler için öğrenme süreçlerini destekleyen ve bilgiye erişimi kolaylaştıran bir kaynak olarak önemli bir yer tuttuğunu ortaya koymaktadır. Özellikle parazitoloji dersinde sosyal medyanın kullanım sıklığının, öğrencilerin bireysel tercihlerine, ders içeriğine ve eğitim sürecindeki ihtiyaçlarına göre farklılık gösterdiği, ancak genel olarak dersin eğitim sürecinde önemli bir araç haline geldiği tespit edilmiştir. Sosyal medya, parazitoloji gibi görselleştirme ve pratik bilgi gerektiren derslerde öğrencilerin öğrenme

süreçlerini destekleyen etkili bir öğrenme aracı olarak kullanılmaktadır. Bu bağlamda, dijital kaynakların geleneksel eğitim yöntemleriyle birleştirilerek etkin bir şekilde kullanılması, öğrencilerin öğrenme çıktılarının geliştirilmesine katkı sağlayabilir. Özellikle sosyal medyanın eğitsel potansiyelini en üst düzeye çıkarmak için, öğrencilere güvenilir bilgi kaynaklarını belirleme ve interneti etkin kullanma becerileri kazanmaları, sosyal medyada karşılaştıkları bilgileri eleştirel bir şekilde değerlendirebilmeleri ile akademisyenlerin, öğrencileri güvenilir ve mesleki uygulamalarla uyumlu internet sitelerine yönlendirmeleri, bilgi kirliliği riskini azaltarak öğrenme süreçlerini destekleyecektir. Sonuç olarak, sosyal medyanın eğitime entegrasyonu, özellikle görsel ve pratik bilgi gerektiren derslerde öğrenme deneyimini iyileştirecek bir potansiyel taşımaktadır. Sosyal medyanın bu potansiyelinin etkili bir şekilde kullanılması, hem öğrencilerin bilgiye erişim süreçlerini hızlandıracak hem de akademik başarılarını desteklemesi bakımından önemlidir. Bu nedenle, dijital teknolojilerin eğitimde daha verimli bir şekilde kullanılmasına yönelik dijital medya okuryazarlığının geliştirilmesi gerekmektedir.

Yazarların Katkı Beyanı

Yazarlar makaleye eşit katkıda bulduklarını, makalenin yayına hazır son halini gördüklerini/okuduklarını ve onayladıklarını beyan ederler.

Çıkar Çatışması Beyanı

Tüm yazarlar, bu çalışma için herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Etik Kurul Onayı

Araştırma için Kırıkkale Üniversitesi Girişimsel Olmayan Araştırmalar Etik Kurulu'ndan 26.06.2024 tarihinde 2024.06.28 karar ile etik kurul onayı alınmıştır.

Kaynaklar

Avcı, K., Gerek Çelikden, S., Eren, S., Aydenizöz, D., 2015. Assessment of medical students' attitudes on social media

use in medicine: a cross-sectional study. *BMC Medical Education* 15: 18.

Cockram, M.S., Altchison, K., Colle, D.D.S., Goodman, G., Murray, J.A., 2007. Animalhandling teaching at the royal (DICK) school of veterinary studies, University of Edinburgh. *Journal Veterinary Medical Education*, 34(5): 554-560.

Çiçek, T., 2018. Güzel sanatlar fakültesi öğrencilerinin sosyal medyaya ilişkin tutumlarının incelenmesi. *Adıyaman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 30: 992-1018.

Demir Ayvazoğlu, P., Aydenizöz, M., 2024. Veteriner hekimlik eğitiminde sosyal medyanın etkisi. *MAS Journal of Applied Sciences*, 9(Özel Sayı): 956-964.

Denecke, K., Nejd, W., 2009. How valuable is medical social media data? Content analysis of the medical web. *Information Science*, 179(12): 1870-80.

Ellaway, R., Pettigrew, G., Rhind, S., Dewhurst, D., 2005. The Edinburgh electronic veterinary curriculum: an online program-wide learning and support environment for veterinary education. *Journal Veterinary Medical Education*, 32(1): 38-46.

Gledhill, L., Dale, V.H.M., Powney, S., Gaitskell-Phillips, G.H.L., Nick, R.M., Short, N.R.M., 2017. An international survey of veterinary students to assess their use of online learning resources. *JVME*, 44(4).

Hamm, M.P., Chisholm, A., Shulhan, J., Milne, A., Scott, S.D., Given, L.M., Hartling, L., 2013. Social media use among patients and caregivers: a scoping review. *BMJ Open*, 3(5): e002819.

Joshi, N.H., Patel, A.R., Vaidya, A.C., 2017. Usefulness of latest social media in veterinary field as felt by veterinarians. *Gujarat Journal of Extension Education. Special Issue on National Seminar*.

- Liu, J.S., Ho, M.H.C., Lu, L.Y., 2017. Recent themes in social networking service research. *PLoS One*, 12(1): e0170293.
- McGreevy, P., Shaw, T., Burn, D., Miller, N., 2007. Oliver: An online library of images for veterinary education and research. *Journal Veterinary Medical Education*, 34(4): 510-516.
- Roshier, A.L., Foster, N., Jones, M.A., 2011. Veterinary students' usage and perception of video teaching resources. *BMC Medical Education*, 11:1.
- Saadeh, K., Henderson, V., Paramasivsam, S.J., Jeevaratman, K., 2021. To what extent do preclinical veterinary students in the UK utilize online resources to study physiology. *Advances in Physiology Education*, 45: 160–171.
- Siegford, J.M., Bernardo, T.N., Malinowski, R.P., Laughlin, K., Zanella, A.J., 2005. Integrating animal welfare into veterinary education: using an online, interactive course. *Journal Veterinary Medical Education*, 32(4): 497-503.
- Sivakumar, A., Jayasingh, S., Shaik, S., 2023. Social media influence on students' knowledge sharing and learning: an empirical study. *Education Sciences*, 13(7): 745.
- Taher, T.M.J., Ali, D.M., 2024. Impact of Internet and social media on academic performance, social interaction, and mental health among a sample of iraqi university students. *Kufa Medical Journal*, 20(1).

Atf Şekli: Aydenizöz, M., Ayvazoğlu Demir, P., 2025. Veteriner Hekimlik Eğitiminde Sosyal Medyanın Etkisi: Veteriner Parazitoloji Eğitiminde Sosyal Medya Kullanımının Öğrenme Sürecine Katkıları. *MAS Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 10(1): 132-140.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15097671>.

To Cite: Aydenizöz, M., Ayvazoğlu Demir, P., 2025. The Impact of Social Media in Veterinary Education: Contributions of Social Media Use to the Learning Process in Veterinary Parasitology Education. *MAS Journal of Applied Sciences*, 10(1): 132-140.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15097671>.

Enhancing EMG Signals for Amputee People with Deep Neural Network and Optimization Algorithms

Çağdaş ÖZER ^{1*}, Zeynep ORMAN ¹

¹ Istanbul University-Cerrahpaşa, Muhendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul

*Corresponding author: cagdas.ozler@ogr.iuc.edu.tr

Received: 12.01.2025

Accepted: 26.02.2025

Abstract

Individuals with amputations often rely on prosthetic limbs to maintain daily functionality; however, over time, the performance of these devices can be compromised by wear, signal degradation, or other technical issues. In this study, we investigate the enhancement of electromyography (EMG) signals to mitigate changes in signal characteristics associated with long-term use by amputees. Our approach employs deep neural networks (DNN) integrated with various optimization algorithms. Data were acquired using an MYO Armband on the right arms of seven volunteers performing repeated fist clenching until muscle fatigue set in. The acquired data were augmented using synthetic data generation techniques and subsequently processed with a DNN that incorporated methods such as Principal Component Analysis (PCA), low variance and high correlation filters, nonlinear convolution layers, ensemble learning, bagging, batch normalization, and optimization algorithms including Stochastic Gradient Descent (SGD), Adagrad, RMSprop, Adam, and Particle Swarm Optimization (PSO). The performance was evaluated using metrics such as accuracy, precision, recall, and F-measure. Without optimization, the precision was 0.76; however, after extensive testing of various algorithmic combinations and synthetic data augmentation, the best configuration achieved a precision of approximately 0.98. These findings demonstrate that, with carefully selected deep learning and optimization strategies, EMG signals can be processed in near real-time, thereby significantly reducing the impact of mobility limitations.

Keywords: EMG signals, deep neural networks, optimization, data preprocessing

1. Introduction

Since the 1970s, prosthetic limbs have been instrumental in restoring mobility for millions of individuals with limb losses (Fukuda et al., 1998). Advances in prosthetic technology have enabled improved functionality and greater independence for users. Early work, such as that by Wiener, introduced the concept of using electromyogram (EMG) signals for real-time control of prosthetic arms. Today, EMG signals—owing to their natural correlation with muscle contraction and relaxation (Artemiadis et al., 2007; Li-Zhi et al., 2018)—remain a cornerstone for controlling advanced prosthetic systems, including the Boston Arm (MIT) and the Utah Artificial Arm (Moradi et al., 2008).

In this study, we employ an MYO Armband, a device that utilizes wireless gesture and motion control technology, to capture EMG signals from the right arms of seven volunteers. Our primary objective is to maximize the detection of muscle signals during prolonged use, particularly when signal characteristics change due to muscle fatigue. To address these challenges, we propose a machine learning framework that leverages deep neural networks (DNN) combined with advanced preprocessing and optimization techniques.

The collected dataset is first subjected to preprocessing steps, including removal of redundant entries, elimination of low-variance and highly correlated features, normalization, and Principal Component Analysis (PCA). These steps are designed to enhance the quality of the data and reduce training time while improving classification accuracy. Subsequently, the preprocessed data are input into a DNN that integrates various methods such as low variance filtering, data augmentation, nonlinear convolution layers, ensemble learning, bagging, batch normalization, and multiple optimization algorithms including Stochastic Gradient Descent (SGD), Adagrad, RMSprop, Adam, and Particle Swarm Optimization (PSO). The results of this integrated approach are discussed in the Results and Discussion

section. Overall, our study demonstrates that with appropriate machine learning and optimization strategies, EMG signals can be processed accurately and in near real-time, thereby significantly mitigating the impact of signal degradation on prosthetic control.

The interpretation and processing of EMG signals have evolved significantly over the past decades. Early studies, such as those by Hardyck and colleagues and J.G. Kreifeldt (Kreifeldt, 1971), pioneered the use of surface EMG for signal amplification and noise reduction. Initial methods focused on enhancing the signal-to-noise ratio and involved techniques like low-pass filtering and autoregressive-moving average models (Graupe et al., 1975; Nelder et al., 1994). Subsequent research further advanced prosthetic control systems. For example, D. Graupe et al. (1975, 1989) and Peter C. Doerschuk et al. (1983) demonstrated the feasibility of using EMG signals for the control of prosthetic limbs by applying digital signal processing techniques. These studies laid the groundwork for understanding the role of EMG in translating muscle activity into control commands for devices such as the Boston Arm and the Utah Artificial Arm (Moradi et al., 2008).

Throughout the 1980s and 1990s, researchers investigated various methods to enhance EMG signal processing. Hershler and Milner (1978) analyzed EMG characteristics during locomotion, while studies by Saridis et al. (1982) and Doerschuk et al. (1983) focused on minimizing the cognitive load required for prosthetic control. Subsequent work by Hultman and Sjöholm (1983), Studer et al. (1984), and Gerber et al. (1984) introduced more sophisticated frameworks for quantitative EMG analysis and optimal filterbank adaptation. Advances continued with contributions such as Zhou et al. (1986), who proposed methods for deriving intramuscular EMG signals from surface measurements, and Paiss and Inbar (1987), who utilized autoregressive models for spectral analysis of EMG data. In the late 1980s and early 1990s, research by Winter and Yack

(1987) and Reucher et al. (1987) further refined EMG modeling by applying spatial filtering and statistical analysis techniques. The 1990s saw an increased focus on applying neural network techniques to EMG signal classification. Early work by Hiraiwa et al. (1989) and subsequent studies by Park and Lee (1998) employed neural networks to classify EMG patterns for prosthetic control. These approaches were later augmented with fuzzy systems and wavelet transforms (Zhang et al., 2002; Vuckovic et al., 2002), enhancing the robustness of EMG-based interfaces.

More recent studies have concentrated on real-time applications and advanced optimization methods. Chang et al. (1996) and Fukuda et al. (1997, 1998) explored EMG discrimination systems for human-machine interfaces, while later work by Ouyang (2013) and Goen (2014) addressed dynamic signal properties and neuromuscular disorder evaluation. Despite the considerable progress, relatively few studies have integrated advanced machine learning techniques with a comprehensive set of optimization algorithms for EMG signal enhancement. Our work extends this body of literature by combining deep neural networks with a suite of preprocessing and optimization techniques. By incorporating methods such as PCA, low variance and high correlation filtering, and various optimization algorithms (SGD, Adagrad, RMSprop, Adam, and Particle Swarm Optimization), our study aims to improve EMG signal prediction accuracy, even in scenarios involving significant signal degradation. This approach not only builds on prior research but also introduces novel algorithmic combinations that enhance the overall performance of prosthetic control systems.

2. Materials and Methods

In this study, muscle signal measurements were performed with MYO Armband produced by Thalmic Labs. MYO Armband is a wristband with 8 EMG electrodes, a three-axis accelerometer, a three-axis gyroscope, and

a three-axis magnetic force measurement. The ARM Cortex M4 processor manages the armband operation, while the data transmission is performed through the BLE NRF51822 chip, which exchanges data with the HM-11 BLE module mounted on the bottom side of the prosthesis driving/control unit. The MYO armband has 8 separate electromyography (EMG) sensors, which are used to read the muscles and figure out what the limb is doing at that moment. This wrist strap can also show the orientation of the arm in 3-dimensional space. The orientation data from the wristband is transmitted to the computer via wireless communication (Bluetooth). After the data is processed with the software prepared in Python programming language, it is sent to the computer in real-time via TCP / IP communication (Erin and Boru, 2018). The EMG data is 200Hz, while the IMU data is 50Hz. Those speeds are constant and cannot be changed. And this collection only works while working with a single armband. Dataset collected by MYO Armband is processed and used by Deep Neural Network with PCA, Low variance Filter, Data Augmentation, Nonlinear Convolution Layers, Data Augmentation, Ensembling, Bagging, Batch Normalization, SGD, Adagrad, RMSprop, Adam and Particle Swarm optimization. The main idea is to classify these data properly and prepare the prediction models based on this accurate classification. Since there are 8 sensors, there are 8 fields in the data showing as emg1, emg2, emg3, emg4, emg5, emg6, emg7, and emg8. These fields can be seen from the sample dataset given in Figure 2. You can see the device and a little bit of data distribution from the device in the picture Figure 1 and the data distribution from the graphical Figure 7 below. From the sample row of the dataset, as we can see in Figure 7, 8 different sensors have different values according to the movement of the arm between the timestamp of start and the end. These sensor values have a minimum value of -128 and a maximum value of 127.



Figure 1. MYO Device (Bernhardt, 2015)

2.1. Used techniques

2.1.1. Principal component analysis

Principal component analysis (PCA) is a statistical procedure that uses an orthogonal transformation to transform the observation set of interrelated variables into values of linearly unrelated variables called principal components. The number of major components is less than or equal to the number of original variables or observations. This transformation is defined perpendicular to the previous components such that the first principal component has the largest possible variance, and the resulting components all have the highest possible variance under constraint. The resulting vectors are a set of unrelated orthogonal principal components. PCA is sensitive to the relative scaling of the original variables. Analysts often use PCA as a tool for data analysis and building predictive models. It is often used to visualize genetic distance and the relationship between populations. PCA can be done by eigenvalue decomposition of a data matrix, a data covariance matrix, or singular value decomposition after the mean average of the data matrix for each feature. Results of a PCA are often discussed in terms of factor scores and component scores called loading. PCA is the simplest of true eigenvector-based multivariate analysis. It is often thought that their work reveals the internal structure of the data in a way that best explains the variance in the data. If a multivariate data set is visualized as a set of coordinates in a high dimensional

data field, the PCA can present a sub-dimensional picture of this object, a projection from the most informative point of view. This is done by using only the first few basic components, thus reducing the dimensionality of the converted data.

2.1.2. Low variance filter

The Low Variance Filter node calculates each column variance and removes those columns with variance values below a specified threshold.

2.1.3. High correlation filter

This technique establishes the specification of a description step that will potentially remove variables that have large absolute correlations with other variables.

2.1.4. Data augmentation

Data augmentation is a useful technique that is used in almost every cutting-edge machine learning model in applications such as image and text classification. Heuristic data augmentation schemes are often set manually by human experts with extensive domain knowledge, resulting in inadequate augmentation policies. This resulted in new algorithms to automate the search process of transformation functions, new theoretical knowledge that enhances the understanding of various enhancement techniques widely used in practice, and a new framework for harnessing data enhancement to patch a flawed model and improve performance on the key data subpopulation.

2.1.5. Ensemble learning

Ensemble methods work best when algorithms are independent of each other. One way to get different classifiers is to train those using different algorithms. This increases the likelihood of making different types of mistakes, which increases the accuracy of the group. Ensemble itself is a supervised learning algorithm because it can be trained and then used to make predictions. Therefore, the trained ensemble represents a single hypothesis. However, this hypothesis is not necessarily included in the hypothesis space of the models from which it is constructed. Thus, it can be shown that ensembles have more flexibility in the functions they can represent. Theoretically, this flexibility enables them to fabricate education data more than a single model. Still, some ensemble techniques (especially bagging) tend to mitigate problems associated with overfitting training data in practice. Empirically, ensembles tend to show better results when there is significant variation between patterns. Therefore, many community methods try to encourage diversity among the models they combine. However, it

has been shown that using a variety of powerful learning algorithms is more effective than using techniques that try to simplify models to encourage diversity.

2.1.6. Bagging (variance improving)

Bagging is a technique that does boot clustering. One way to reduce the variance of an estimate is to average multiple guesses. For example, we can train M different trees on different subsets of data (randomly selected by replacement) and compute the ensemble. Bagging uses boot sampling to obtain subsets of data to train basic students. It uses the voting for bagging, classification, and the average for regression, to gather the outputs of the core learners.

Given a training set $D = \{(x_1, y_1), \dots (x_n, y_n)\}$

Sample T sets of elements from D (with replacement) $D_1, D_2, \dots D_T \rightarrow T$ quasi replica training sets.

train a machine on each $D_i, i= 1, \dots, T$ and obtain a sequence of T outputs $f_1(x), \dots f_T(x)$.

The final aggregate classifier can be
For Regression:

$$\underline{f}(x) = \sum_{i=1}^T f_i(x) \tag{1}$$

the average of f_i for $i= 1, \dots, T$;

For Classification

$$\underline{f}(x) = \text{sign}(\sum_{i=1}^T f_i(x)) \tag{2}$$

2.2. Optimization algorithms

In deep learning applications, the absolute minimum value of the error function must be found for the learning process to result healthily. This process is carried out using optimization methods. Optimization is the method used to make the difference between the output value produced by the network and the actual value, the error to the smallest. One of the most used methods for optimizing artificial neural networks is gradient descent. There are three gradient descent methods (Mini-Batch Gradient Descent, Stochastic Gradient Descent, and Batch Gradient Descent) depending on the size of the data set

used in a single iteration. Various algorithms (Rmsprop, Adagrad, Adam, etc.) are based on the gradient descent method (Kurt, 2018). While training data, calibrating the learning coefficient is critical in terms of optimization. However, it is not possible to fully adjust the learning coefficient in the model with every algorithm. Various gradient methods have been proposed to solve this problem (Li, 2017).

2.2.1. Adagrad

Adagrad makes different updates for each parameter by using t different learning coefficients for each step. Thus, it eliminates the need to adjust the learning coefficient manually. In Adagrad, each parameter has its

learning speed. The learning coefficient becomes excessively smaller because of the growth of the expression in which the learning coefficient value is divided in the update process during training (Çarkacı, 2018). Adagrad uses a different learning rate for every parameter θ_i at every time step t ; first, it is being shown that Adagrad's per-parameter update, which then is vectorized. For brevity, g_t has been used to denote the gradient at time step t . $g_{t,i}$ is then the partial derivative of the objective function w.r.t. to the parameter θ_i at time step t :

$$g_{t,i} = \nabla \theta J(\theta_{t,i}). \quad (3)$$

The SGD update for every parameter θ_i at each time step t then becomes:

$$\theta_{t+1,i} = \theta_{t,i} - \eta \cdot g_{t,i}. \quad (4)$$

In its update rule, Adagrad modifies the general learning rate η at each time step t for every parameter θ_i based on the past gradients that have been computed for θ_i :

$$E[g^2]_t = 0.9E[g^2]_{t-1} + 0.1g^2, \theta_{t+1} = \theta_t - \eta / \sqrt{E[g^2]_t + \epsilon} g_t \quad (7)$$

Rmsprop is similar to AdaGrad, and the difference is that the denominator is also decayed.

2.2.3. Adam optimization

ADAM, Adaptive Moment Estimation, is a more widely used method that adds momentum to the RMSprop method. Momentum updating is done with the exponential moving average, and when dealing with β , it is not necessary to change the learning rate. Like in RMSprop, here, the exponential moving average of the gradient square is taken. At the beginning of the training process of neural networks, SGD often goes in the wrong direction, while RMSprop is heading in the right direction. However, RMSprop is also affected by a noise like classical SGD, i.e. jumps around optimum when it finds a local minimum, leading to critical consequences. Just as we add momentum to the SGD, the same improvement

$$\theta_{t+1,i} = \theta_{t,i} - \eta / \sqrt{G_{t,ii} + \epsilon} \cdot g_{t,i}. \quad (5)$$

$G_t \in \mathbb{R}^{d \times d}$ here is a diagonal matrix where each diagonal element i , i is the sum of the squares of the gradients w.r.t. θ_i up to time step t , while ϵ is a smoothing term that avoids division by zero (usually on the order of $1e-8$). As G_t contains the sum of the squares of the past gradients w.r.t. to all parameters θ along its diagonal, it can now be vectorized for the implementation by performing a matrix-vector product \odot between G_t and g_t :

$$\theta_{t+1} = \theta_t - \eta / \sqrt{G_t + \epsilon} \odot g_t. \quad (6)$$

2.2.2. Rmsprop

Rmsprop has been developed as a solution to the problem of over-minimizing the learning coefficient in the Adagrad algorithm. Instead of using all the values obtained from the squares of all past slopes in Adagrad, it restricts the value amount to a certain frame size (Kurt,2018; Ruder,2016).

is achieved with ADAM. The ADAM Algorithm was also generally regarded as quite robust in choosing hyperparameters (Studer et al.,1984).

$$m_t = \beta_1 m_{t-1} + (1 - \beta_1) g_t \quad (8)$$

$$v_t = \beta_2 v_{t-1} + (1 - \beta_2) g_t^2 \quad (9)$$

This update rule is like the RMSProp. The difference is that the cumulative history of gradients is being looked at as well(m_t). ADAM is required to train some networks while using language models. SGD or ADAM with momentum is generally preferred to optimize neural networks. However, ADAM's theory in publications is not well understood, and it has some drawbacks. In elementary test problems, the method does not converge. It is known to give generalization errors. If the neural network is trained to provide zero loss in data used for training, it will not lose zero in other data points it has never seen before. It is

quite common to get worse generalization errors, especially when using SGD for image problems. For example, ADAM or factors in its structure may include finding the closest local minimum, i.e. being less noisy. While we need 3 buffers in ADAM, SGD requires 2 buffers. It is not very important unless we train a model that is a few gigabytes in size, but in such a case, it may not fit into memory. Instead of 1, 2 momentum parameters should be set. In this method, in addition to using the exponentially weighted averages (A_t) of the squares of past slopes, as is done in Rmsprop, it also stores the momentum changes (mt) in the cache. So, it combines Rmsprop and momentum. The default values are 0.9 for β_1 ; It is stated as 0.999 for β_2 and 10^8 for epsilon (Li, 2017; Çarkacı, 2018).

2.2.4. Stochastic gradient descent

SGD is an iterative optimization technique that uses mini data stacks to generate the expectation of the gradient rather than the full gradient using all available data. A large dataset containing randomly sampled samples probably contains redundant data. The larger the batch size, the more likely the surplus becomes. Some redundancies can be useful for smoothing noisy gradients, but massive batches tend to be of much less predictive value than large batches (Song et al., 2013). What if we could get the correct average gradient for much less computation. We can predict a larger average from a much smaller average by picking random samples from our

dataset. Stochastic gradient descent (SGD) takes this idea to the extreme - using only one instance (batch size 1) for each iteration. Given enough iterations, SGD works but is too noisy. Stochastic means that a sample containing each batch is randomly selected. SGD performs a parameter update for each training example labeled $x(i)$ and $y(i)$:

$$\theta = \theta - \eta \cdot \nabla J(\theta; x(i), y(i)). \quad (10)$$

In the SGD algorithm, the calculation is made over a training sample instead of all training data. In this way, possible memory deficiency problems are prevented (Kurt, 2018).

2.2.5. Particle swarm optimization

In the search field, particles are presented as potential solutions, and the fitness function is proposed as the basic mechanism for driving particle movements. The PSO, which includes the following people who are part of a community, has an idea that is part of a "field of belief" (search space) shared by neighboring individuals. Individuals can change this "state of vision" based on three factors: environmental knowledge; the individual's previous state history, and previous situations of the individual's neighborhood. Considering the rules of interaction, PSO, individuals in society adapt their belief schemes to more successful social networks. The rules of one-dimensional particle motion are shown in equations as follows:

$$v_i^{t+1} = w * v_i^t + d_1 * \epsilon_1 * (p_{best} - x_i^t) + d_2 * \epsilon_2 * (g_{best} - x_i^t) \quad (11)$$

$$x_i^{t+1} = x_i^t + v_i^{t+1} \quad (12)$$

Where the local best configuration (p_{best}), global best (g_{best}), new velocities (v_{it+1}), and positions (x_{it+1}) where x_{it} and v_{it} are the current position and velocity. ϵ_1 and ϵ_2 are chosen randomly in between (0,1). The tendency of a particle to remain in its current position is called inertia coefficient denoted by w , d_1 , and d_2 (which can be modified as per requirement), which are referred to as the

individual coefficient of acceleration and global coefficient of acceleration, respectively.

2.3. Deep neural network

The deep neural network algorithms used in the study are multi-layered versions of artificial neural networks that are inspired by the information processing method of the human brain. Since the single-layer perceptron, which was first developed and

evaluated as the most primitive artificial neural network, is not sufficient in solving nonlinear problems, a multi-layer perceptron has been developed (Fernandez et al., 2006). Most machine learning and deep learning algorithms use the idea of gradient descent. And that is based on the Newton algorithm that is about finding the roots of a 2d function. To achieve that, a point is randomly picked and slide to the left or right along the x-axis, based on the positive or negative value of the derivative of the slope of this function at the chosen point until the value of the y axis function comes to zero. The same idea is used in gradient descent, where we move or descend along a given path in multidimensional weight space. The cost function continues to decrease and stops when the error rate stops decreasing. Newton's method tends to get stuck at the local minimum if the derivative of the function at the current point is zero. Similarly, this risk exists when gradient descent is used on a non-convex function. The effect is multidimensional (each dimension represents a weight variable) and is amplified in the multilayer environment of DNN, resulting in a non-optimal weight set. In standard SGD, the learning rate is used as a constant multiplier of the gradient to calculate step size or update weight. This can cause the update to exceed a potential minimum if the slope is too steep or delay convergence if the slope is noisy. Using the concept of momentum in physics, the momentum algorithm presents a velocity variable v that is structured as an exponentially decreasing mean of the gradient. This helps prevent costly landings in the wrong direction. In the equation below, a ξ $[0; 1)$ is the momentum parameter, and ε is the learning rate. The multi-layer perceptron contains three layers which is the input layer, hidden layer(s), and an output layer. Unlike the single-layer sensor, nonlinear classification can be made. Depending on the nature of the problem solved, the number of hidden layers and the number of neurons in these layers may change. To create a good generalization in the modeling process of architecture, the input data set is divided into two or three separate parts (Fukuda et al., 1998; Cichosz, 2015, Matt et al., 2015). In

deep neural network algorithms, the entire data set is generally divided into two datasets called training data set and test data set (testing). The role of the training data set is to calculate the estimates of the weights in the neural network, and the role of the test data set is to test the accuracy of the obtained weight values with data hidden from the model (Priddy and Keller, 2005; Okut, 2018) works with. In the first stage of the backpropagation algorithm, variables are presented to the training network. By assigning a weight value for each neuron of each variable, after the values are multiplied by the weights and summed, it is sent to all neurons in the next layer by an activation function in the neurons in the hidden layer by adding the bias value (Moradi et al., 2008; Song et al., 2013). These values constitute the input values for the neurons in the output layer. After similar operations are performed in the output layer, an output value is obtained, the output and the actual value are compared, and the error value is obtained. In the second stage, errors obtained from the output layer are propagated to other layers in a backward direction. These errors are used to calculate the slope of the loss function relative to the weights in the network. Then, to update the weights for the idea of minimizing the loss function, optimization methods are used (Okut et al., 2011; Li, 2017). In this process, the partial derivative of the error according to the weights is made by using the chain rule in the derivative. The incoming information $x = [x_1, x_2, \dots, x_M]$.

The weights $w = [w_1, w_2, \dots, w_M]$ at the incoming connections and the bias b for the neuron, both of which constitute the parameters of the neuron. An intermediate processing step within the body of the neuron is implemented simply as a linear combination of the incoming data x using the weights w and bias b . The activation function $\sigma(\cdot)$ of the neuron, which applies a nonlinear transformation to the intermediate result z , thus creating the neuron's output information, y . Therefore, the output of the ANN model can be viewed as

$$y = \sigma(w^t x + b).$$

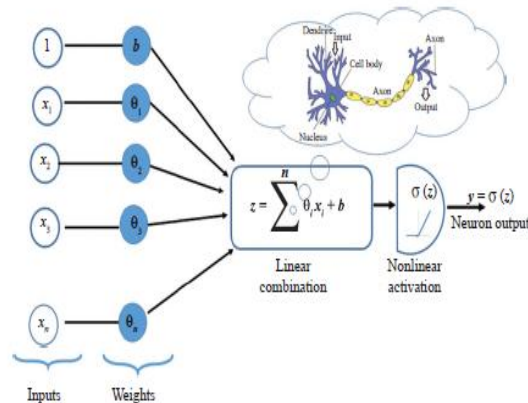


Figure 2. Single ANN Model (Gürbüz, 2020)

Figure 2 shows a representation of an artificial neuron, pointing out its following main components. Some highly used activation functions, namely sigmoid, tangent hyperbolic, and rectified linear unit, are shown in Figure 5, which also provides their definitions. The weights and bias of each

neuron are parameters to learn to approach optimal matching between input and output data samples. Nonlinear activation functions are particularly important to allow more complex nonlinear mappings to be represented by a network of simple neurons.

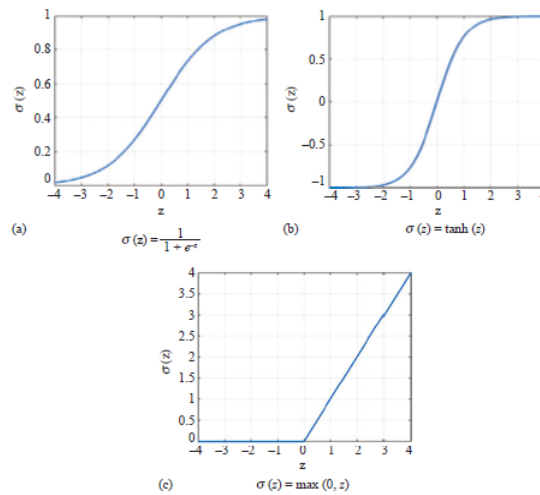


Figure 3. Three of the most commonly used activation functions: (a) sigmoid $\sigma(z) = \frac{1}{1+e^{-z}}$, (b) tangent hyperbolic $\sigma(z) = \tanh(z)$, and (c) rectified linear unit (ReLU) $\sigma(z) = \max(0, z)$ (Gürbüz, 2020)

An ANN consists of interconnections of neurons in a layered structure. The first layer of neurons takes data samples as input, while the last layer produces output samples, whether classification or regression results. There are

one or more hidden layers that progressively transform the first layer neuron activations into final output samples. Figure 4 shows an ANN example with two hidden layers.

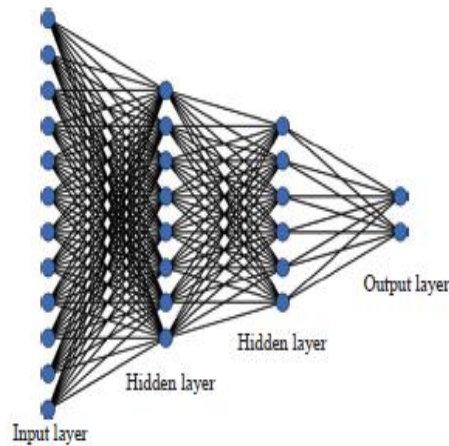


Figure 4. An ANN structure with two hidden layers

As the number of hidden layers increases, the ANN structure gets deeper and turns into a DNN. Although ANNs with many hidden layers are called DNN in the literature, deep learning and DNN structures are mostly related to the ability to learn features from raw sensor data and the models and structures that facilitate this ability.

2.4. Proposed work

It is aimed to use optimization algorithms to the fullest to accurately predict EMG signals with the proposed deep learning model. In this section, the processes in the proposed model will be explained in detail. The pseudocode of the deep learning framework used in the study is as shown below in Figure 5:

```

1 {
2 Identify the deep learning framework.
3 Ensure relevant instrumentation data is generated.
4 Decide upon the batch, epoch and iteration sizes.
5
6 Start the training.
7 Plot the training accuracy versus iteration values.
8 Is prescribed accuracy attained?
9   If yes,
10  { Go for testing
11  }
12  Else
13  { Start improvement
14    Switch method
15    Improve upon Data:
16      Look for co-relation and distinction.
17    Improve upon Algorithm Tuning:
18      Decide batch size, learning rate, weights etc.
19    Use Ensemble:
20      Use other models:
21    Default:
22      Goto Training
23  }
24  Save The Neural Network Model
25 }

```

Figure 5. Pseudo-code of the deep learning framework

The parameters that it has been used are 60% training 20% test, 20% validation, 100 epochs, 0.2 learning rate, Sigmoid activation function, low signal data as the input value, and to predict the correct signal data as the

output value. Multiple approaches with many epochs and learning rates have been tried to find the optimized parameters. The result obtained from the proposed model is the calculated mean of those many tries; therefore,

it can be seen that this result was not for one time and was calculated mathematically to show its robustness.

Step 1. To prepare for better results, preprocessing was done before the model. At

$$X_{\text{scaled}} = (x - \min(x)) / (\max(x) - \min(x))$$

X represents a single feature/variable vector.

Since there are no missing values from the dataset that we have taken from the MYO Armband device, no techniques are needed to fill them.

Step 2. When the feature scaling is over, the following techniques were applied to enhance the results further. These techniques are PCA, low variance filter, high correlation filter, data augmentation, ensemble learning, and bagging.

Step 3. In this step, data is divided into training, testing, and validation. This process is not random, as the data is handpicked to avoid the randomness of the results.

Step 4. To see the prediction values from the Deep Neural Network, a standard model was applied without any optimization model or preprocessing techniques. It can be seen the accuracy result of the current data, with the correct picking of weights (random at first) and the number of hidden layers (in our case, it seems 8) and using the different activation functions (in our case, sigmoid worked the best) and the modifying the learning rates and the weights with the help of backpropagation algorithm to reach the upper numbers of the prediction.

Step 5. After the model gives a prediction result, it is time to use optimization algorithms and preprocessing techniques to increase the prediction value of the model further. This is the step that took most of the time in the research. First, it started with one optimization algorithm only, and that is Adam Optimization because it has been known before that Adam Optimization works well with Neural

the start, Min-Max feature scaling was applied because this step is also a requirement for standardization. So, the data of EMG signals were normalized with the formula below.

Networks. After that, many Optimization algorithms were applied single, and then combinations of these optimization algorithms were tested to reach the best result; this step took 916 tries. And the best-combined result in the model with the dataset comes from the combination of Adagrad, RMSProp, Adam Optimization, Stochastic Gradient Descent, and PSO with Deep Neural Networks.

3. Findings and Discussion

The Deep Neural Network and all other techniques were implemented via Python, and the results are shown in Table 1 and Table 2. Table 1 shows the results of the Deep Neural Network, without any of the preprocessing and optimization methods applied. It can be seen from Table 1 that the raw data results are not considered high enough to be useful. Table 2 shows the results of the Deep Neural Network with PCA, Low variance Filter, Data Augmentation, Nonlinear Convolution Layers, Data Augmentation, Ensembling, Bagging, Batch Normalization, SGD, Adagrad, RMSprop, Adam and Particle Swarm optimization. It can be seen from Table 2 that with more Synthetic data, and more specified hidden layers, with the help of preprocessing optimization methods, results are reached a point where they could be seen as reasonable. Future work can test and study more classification techniques, optimization methods, and different movements. Also, more feature extraction methods and other machine learning algorithms can be chosen to improve the results, or these methods can be used in a situation other than EMG signals.

Table 1. Model results before proposed method (DNN only)

Model	Accuracy	F Measure	Precision	Recall
Deep Neural Network	0.74	0.73	0.76	0.71
	Standard Deviation	Standard Deviation	Standard Deviation	Standard Deviation
	0.002	0.005	0.009	0.003

Table 2. Model combination results

Model	Accuracy	F Measure	Precision	Recall
Deep Neural Network	0.74	0.73	0.76	0.71
	Standard Deviation	Standard Deviation	Standard Deviation	Standard Deviation
	0.002	0.005	0.009	0.003
Deep Neural Network + Preprocessing	0.77	0.76	0.79	0.74
	Standard Deviation	Standard Deviation	Standard Deviation	Standard Deviation
	0.004	0.007	0.007	0.005
Deep Neural Network + Preprocessing + Adam	0.82	0.81	0.84	0.76
	Standard Deviation	Standard Deviation	Standard Deviation	Standard Deviation
	0.004	0.008	0.007	0.006
Deep Neural Network + Preprocessing + SGD	0.8	0.79	0.77	0.73
	Standard Deviation	Standard Deviation	Standard Deviation	Standard Deviation
	0.003	0.007	0.009	0.006
Deep Neural Network + Preprocessing + SGD + PSO	0.84	0.83	0.82	0.78
	Standard Deviation	Standard Deviation	Standard Deviation	Standard Deviation
	0.004	0.003	0.008	0.005
Deep Neural Network (With Synthetic Data) + Preprocessing + SGD + Adam	0.87	0.84	0.86	0.81
	Standard Deviation	Standard Deviation	Standard Deviation	Standard Deviation
	0.004	0.008	0.004	0.005
Deep Neural Network (With Synthetic Data) + Preprocessing + SGD + RMSProp + PSO	0.91	0.9	0.91	0.88
	Standard Deviation	Standard Deviation	Standard Deviation	Standard Deviation
	0.004	0.007	0.009	0.006

From Figure 7, you can see the differences between the normal model and the proposed model graphically.

Metric based results are accuracy,

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

While

True Positive (TP): is where the signal is strong, and our model correctly predicts a strong signal

True Negative (TN) is where the signal is weak, and our model correctly predicts a weak signal

Accuracy defines the distance between the actual value and the measured value (Sammut and Webb, 2015).

False Positive (FP): is where the signal is strong, and our model predicts a weak signal

False Negative (FN): is where the signal is weak, and our model predicts a strong signal

Precision,

Precision defines the distance between the measured values (Sammut and Webb, 2015).

$$Precision = \frac{(TP)}{(TP + FP)}$$

Recall,

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

and F Measure.

$$F\ Measure = \frac{(2 * TP)}{(2 * TP + FP + FN)}$$

It can be seen from Table 1 that with the dataset of 152,842 rows, our Deep Neural Network Model has shown 0,74 Accuracy, 0,73 F Measure, 0,76 Precision and 0,71 Recall results before techniques (with 152,842 rows)

In Table 2, results of some of the combination that has been made can be seen. Including parameter tuning, preprocessing steps, optimization algorithm applications, and everything that is included in this search took

a total of 916 tries. With the creation of synthetic data for further training, the dataset reached 24,728,319 rows. The best result, with the combination of the selected Optimization Algorithms, our model shows 0,93 Accuracy, 0,96 F Measure, 0,98 Precision, and 0,92 Recall. The significant improvement of the results within the model can be seen in Table 3.

Table 3. Model results after the proposed method (AdaGrad + RMSProp, adam, stochastic gradient descent + PSO + DNN)

Model	Accuracy	F Measure	Precision	Recall
Deep Neural Network (With Synthetic Data) + Adam + Adagrad + RMSProp + SGD + PSO	0.93	0.96	0.98	0.92
	Standard Deviation	Standard Deviation	Standard Deviation	Standard Deviation
	0.005	0.017	0.009	0.01

From Figure 6, it can be seen that, between the proposed model and the raw results, there is a big difference. It shows that with more

data, preprocessing and optimization algorithm combinations make a big difference in the prediction result of the model.

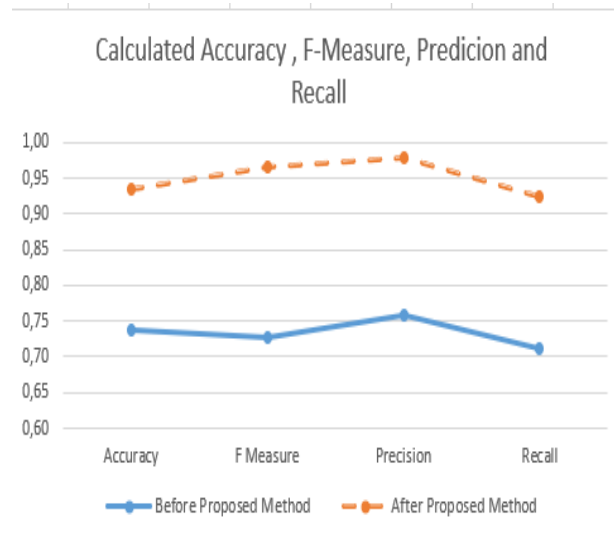


Figure 6. Calculated accuracy, f-measure, precision and recall

Column1	Column2	Column3	Column4	Column5	Column6	Column7	Column8	Column9
timestamp	emg1	emg2	emg3	emg4	emg5	emg6	emg7	emg8
1570174405084153	-1	-4	-5	-5	0	-3	0	-1
1570174405084153	-1	2	11	5	1	2	0	-2
1570174405090136	-6	-3	-17	-10	-4	0	-2	-2
1570174405090136	5	4	4	2	1	1	0	0
1570174405090136	-2	-3	-1	-1	1	-2	-2	-2
1570174405090136	-2	-2	-1	-4	-8	0	-2	0
1570174405092131	1	-1	-4	-2	-8	0	2	0
1570174405092131	-3	-4	-2	-2	-4	-3	-1	0
1570174405103177	1	-8	-16	-8	-3	1	-2	0
1570174405103177	2	6	18	14	7	-1	0	-1
1570174405114074	-1	-1	-2	-2	-2	-2	-2	-2
1570174405114074	-8	-9	-9	-6	-1	-1	-2	-3
1570174405118321	-1	2	2	-1	0	1	0	1
1570174405118321	-2	1	-20	-11	-2	-4	-3	-3
1570174405134082	-1	-2	14	4	3	1	1	1
1570174405134082	-2	0	-1	2	4	0	0	-3
1570174405142098	-1	-6	-2	1	-5	-2	0	-1
1570174405142098	-3	-7	-5	-1	0	-2	-1	0
1570174405157106	-1	0	3	0	1	-3	-2	-3

Figure 7. Sample from the dataset numeric

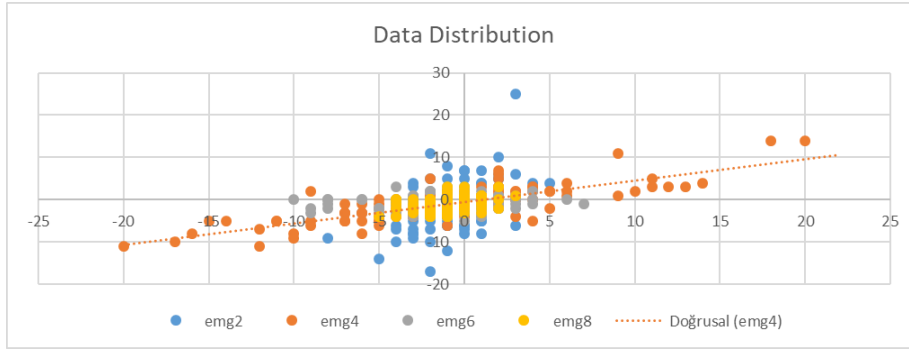


Figure 8. Data Distribution of 100 rows from dataset graphical

4. Conclusion

This study demonstrates that integrating deep neural networks with advanced preprocessing and optimization techniques significantly enhances the prediction of electromyography (EMG) signals. By employing methods such as Principal Component Analysis, low variance and high correlation filters, data augmentation, and ensemble approaches, combined with optimization algorithms—including Adagrad, RMSprop, Adam, Stochastic Gradient Descent, and Particle Swarm Optimization—we achieved substantial improvements in performance metrics. In particular, the precision of the model improved from 0.76 without optimization to approximately 0.98 after applying the proposed methodology. The results indicate that robust EMG signal processing can be achieved in near real-time, potentially reducing the impact of signal degradation on the control of prosthetic devices. This advancement not only contributes to the field of prosthetic control but also opens avenues for further research on real-life implementations using compact hardware platforms such as Arduino or Raspberry Pi. Future work will explore alternative classification techniques, additional optimization methods, and further refinements in feature extraction to enhance model performance. The promising results of this study underscore the potential for machine learning applications to improve the quality of life for individuals with amputations by ensuring more reliable and accurate prosthetic control.

References

- Abel, E.W., Zacharia, P.C., Forster, A., Farrow, T.L., 1996. Neural network analysis of the EMG interference pattern. *Medical Engineering and Physics*, 18(1): 12-17.
- Andreas, G., Studer, R.M., de Figueiredo Rui J.P., Moschytz George, S., 1984. A new framework and computer program for quantitative emg signal analysis. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 31(12).
- Artemiadis, P.K., Kyriakopoulos, K.J., 2007. EMG-based position and force control of a robot arm: Application to teleoperation and orthosis. *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, pp:6.
- Bernhardt, P., 2015. MYO Developer Blog. (<https://developerblog.myo.com/>), (Access Date: 03.01.2025).
- Bodruzzaman, M., Devgan, S., Kari, S., 1992. Chaotic classification of electromyographic (EMG) signals via correlation dimension measurement. *IEEE Proceedings of South-East Conference*, Birmingham, pp. 95-98.
- Cichosz, P., 2015. *Data Mining Algorithms: Explained Using R*. United States: John Wiley & Sons.
- Çarkacı, N., 2018. Derin öğrenme uygulamalarında en sık kullanılan hiper parameteler. (<https://medium.com/deep-learning-turkiye/derin-ogrenme-uygulamalarinda-en-sik-kullanilan-hiper-parameteler-ece8e9125c4>), (Accessed: 05.01.2025).

- Daniel, G., William, K.C., 1975. Functional separation of EMG signals via ARMA identification methods for prosthesis control purposes. *Conference Proceedings of Systems, Man and Cybernetics International Conference on IEEE*, pp. 252-259.
- Doerschuk Peter, C., Donald E., Gustafon, A., Willsky, S., 1983. Upper extremity limb function discrimination using EMG signal analysis. *Biomedical Engineering*, 18-29.
- Dwyer, G., Noguchi, Y., Szeto, H.H., 1989. EMG burst waveform recognition procedure. *Proceedings of the 1989 Fifteenth Annual Northeast on Bioengineering Conference*, 27-28th March, Boston, MA, pp. 235-236.
- Edward, A., Clancy Neville H., 1995. Multiple site electromyograph amplitude estimation. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 42(2).
- Erin, K., Boru, B., 2018. Real-time control of industrial robot arm with EMG and gyroscope data. *Sakarya University Journal of Science*, 22(2): 509-515.
- Farina, D., Merletti, R., 2000. Comparison of algorithms for estimation of EMG variables during voluntary isometric contractions. *Journal of Electro-myography and Kinesiology*, 10(5): 337-349.
- Fernandez, C., Soria, E., Martin, J.D., Serrano, A.J., 2006. Neural networks for animal science applications: Two case studies. *Expert Systems With Applications*. 31: 444-450.
- Friedman, J.H., 2001. Greedy function approximation: A gradient boosting machine. *The Annals of Statistics*, 29(5): 1189-1232.
- Fukuda, O., Tsuji, T., Ohtsuka A., Kaneko, M., 1998. EMG-based human-robot interface for rehabilitation aid. *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Proceedings Book, pp. 3492-3497.
- Fukuda, O., Tsuji, T., Kaneko, M., 1997. An EMG controlled robotic manipulator using neural networks. *6th IEEE International Workshop on Robot and Human Communication*, Proceedings Book, 29 September-1 October, pp.442-447.
- Fukuda, O., Tsuji, T., Ohtsuka, A., Kaneko, M., 1998. EMG-based human-robot interface for rehabilitation aid. *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Proceedings Book, 16-20 May, pp. 3492-3497.
- Geoffrey, L.S., 2012. Application of time-varying analysis to diagnostic needle electromyography, *Medical Engineering & Physics*, 34(2): 249-255.
- Goen, A., 2014. Classification of EMG signals for assessment of neuromuscular disorders. *International Journal of Electronics and Electrical Engineering*, 2(3).
- Graupe, D., 1989. EMG Pattern analysis for patient-responsive control of fes in paraplegics for walker-supported walking. *IEEE Transactions on Bio-medical Engineering*, 36(7): 711-721.
- Graupe, D., Kohn, K.H., Basseas, S.P., 1989. Control of electrically-stimulated walk-ing of paraplegics via above- and below-lesion EMG signature identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 34(2): 130-138.
- Gurbuz, S., 2020. Deep Neural Network Design for Radar Applications. The Institution of Engineering and Technology: Stevenage, UK.
- Gut, R., Moschytz George S., 2000. High-precision EMG signal decomposition using communication techniques. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 48(9): 2487-2494.
- Gwo-Ching, C., Wen-Juh, K., Jer-Junn, L., Cheng-Kung, C., Jin-Hae-Jeong, P., Sung-Hoon, K., Hee-Chan K., Kwang-Suk, P., 1999. Adaptive EMG-driven communication for the disabled. *Proceedings of Engineering in Medicine and Biology, 21st Annual Conference and of the Bio-medical Engineering Society Conference*, 13-16 October, Atlanta, GA.

- Hefftner, G., Zucchini, W., Jaros, G.G., 1988. The electromyogram (EMG) as a control signal for functional neuromuscular stimulation. I. Autoregressive modeling as a means of EMG signature discrimination. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 35(4): 230-237.
- Henneberg, K.A., Plonsey, R., 1993. Boundary element analysis of the directional sensitivity of the concentric EMG electrode. *IEEE Transactions on Bio-medical Engineering*, 40(7), 621-631.
- Hershler, C., Morris M., 1978. An optimality criterion for processing electromyographic (EMG) signals relating to human locomotion. *Biomedical Engineering, IEEE Transactions*, pp. 413-420.
- Hiraiwa, A., Yukio Tokunaga, K.S., 1989. EMG Pattern Analysis and Classification by Neural Network. *Conference Proceedings of Systems, Man and Cybernetics International Conference on IEEE*, pp. 1113-1115.
- Hultman, E., Sjöholm, H., 1983. Electromyogram, force and relaxation time during and after continuous electrical stimulation of human skeletal muscle in situ. *The Journal of Physiology*, 33-40.
- Ito, K., Tsuji, T., Kato, A., Ito, M., 1992. An EMG controlled prosthetic forearm in three degrees of freedom using ultrasonic motors. *14th Annual International Conference of the IEEE on Engineering in Medicine and Biology Society*, Oct 29-Nov 1, Paris, pp.1487-1488.
- Jingdong, Z., Zongwu, X., Li, J., Hegao, C., Hong, L., Hirzinger, G., 2006. EMG control for a five-fingered prosthetic hand based on wavelet transform and autoregressive model. *Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, 25-28 June, Luoyang, Henan, pp.1097-1102.
- Jun-Uk C., Inhyuk, M., Yun-Jung, L., Shin-Ki, K., Mu-seong, M., 2007. A supervised feature-projection-based real-time EMG pattern recognition for multifunction myoelectric hand control. *IEEE/ASME Transactions on-Mechatronics*.
- Kamen, G., Caldwell Graham E., 1996. Physiology and interpretation of the electromyogram. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 13(5): 366-384.
- Kang, W.J., Cheng, C.K., Lai, J.S., Shiu, J.R., Kuo, T.S., 1996. A comparative analysis of various EMG pattern recognition methods. *Medical Engineering & Physics*, 18(5): 390-395.
- Kermani, M.Z., Tehran, Iran., Badie, K., 1989. An intelligent strategy for motion interpretation in an EMG-controlled prosthesis. *International Conference of the IEEE Engineering in Engineering in Medicine and Biology Society*, 9-12 November, 5: 1682-1683.
- Kreifeldt John, G., 1971. Signal versus noise characteristics of filtered EMG used as a control source. *Biomedical Engineering, IEEE Transactions*, 16-22.
- Kurt, F., 2018. Evrişimli sinir ağlarında hiper parametrelerin etkisinin incelenmesi Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara, Türkiye.
- Kutlu, H., 2018. Biyoistatistik temelli bilimsel araştırmalarda derin öğrenme uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi, Yakınoğu Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Lefkoşa, Kıbrıs.
- Lee, S., Sankai, Y., 2002. Power assist control for walking aid with HAL-3 based on EMG and impedance adjustment around knee joint. *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2: 1499-1504.
- Li, P., 2017. Optimization algorithms for deep learning. department of systems engineering and engineering management.
- Li-Zhi, L., Yi-Li, T., Hsin-Han, C., 2018. EMG-based control scheme with svm classifier for assistive robot arm. *International Automatic Control Conference (CACs)*, pp.1-5.

- Maksutov, R., 2018. Deep study of a not very deep neural network. part 3b: choosing an optimizer. (<https://medium.com/@maksutov.rn/deep-study-of-a-not-very-deep-neural-network-part-3b-choosing-an-optimizer-de8965aaf1ff>), (Accessed: 05.01.2025).
- Manabe, H., Zhang, Z., 2004. Multi-stream HMM for EMG-based speech recognition. *26th Annual International Conference of the IEEE engineering in Medicine and Biology Society*, San Francisco, pp.4389-4392.
- Matt, F., Somesh, J., Thomas, R., 2015. Model Inversion Attacks that Exploit Confidence Information and Basic Countermeasures. In *ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security*.
- Mesin, L., Farina, D., 2005. A model for surface EMG generation in volume conductors with spherical inhomogeneities. *IEEE Transactions of Biomedical Engineering*, 52(12): 1984-1993.
- Moradi, M., Hashtrudi-Zaad, K., Mountjoy, K., and Morin, E., 2008. An EMG-based force control system for prosthetic arms. *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, pp.1737-1742.
- Morita, S., Kondo, T., Ito, K., 2001. Estimation of forearm movement from EMG signal and application to prosthetic hand control. *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp.3692-3697.
- Nikolic, Z.M., Popovic, D.B., Stein, R.B., Kenwell, Z., 1994. Instrumentation for ENG and EMG recordings in FES systems. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 41(7): 706.
- Nishikawa, D., Wenwei, Yu., Yokoi, H., Kakazu, Y., 1999. EMG prosthetic hand controller using real-time learning method. *Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, 12-15 October, Tokyo, pp.153-158.
- Nishikawa, D., Wenwei, Yu., Yokoi, H., Kakazu, Y., 1999. EMG prosthetic hand controller discriminating ten motions using real-time learning method. *Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Kyongju, pp.1592-1597.
- Okut, H., 2018. Machine learning methods for big data and genomic selection: r application. *Workshop Material, International Agricultural Congress*, 8 May, Van, Turkey.
- Okut, H., Gianola, D., Rosa, G.J.M., Weigel, K.A., 2011. Prediction of body mass index in mice using dense molecular markers and a regularized neural network. *Genetics Research*, 93(3): 189-201.
- Ouyang, G., Zhu, X., Ju, Z., Liu, H., 2013. Dynamical characteristics of surface EMG signals of hand grasps via recurrence plot. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 257-265.
- Paiss, Omry., Inbar, G.F., 1987. Autoregressive modeling of surface EMG and its spectrum with application to fatigue. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 34(10): 761-770.
- Paul, G.M., Fan, Cao., Torah, R., Kai, Yang., Beeby, S., Tudor, J., 2014. A smart textile based facial EMG and EOG computer interface. *Sensors Journal*, 14(2): 393-400.
- Priddy, K.L., Keller, P.E., 2005. *Artificial neural network: An Introduction*, 1st. Ed., Spie Press, Washington.
- Reucher, H., Silny, J., Rau, G., 1987. Spatial filtering of noninvasivemultielec-trode EMG: Part II-filter performance in theory and modeling. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 34(2): 106-113.
- Ruder, S., 2016. An overview of gradient descent optimization algorithms. (<http://adsabs.harvard.edu/abs/2016arXiv160904747R>), (Accessed: 05.01.2025).

- Sammut, C., Webb, G.I., 2015. Encyclopedia of machine learning and data mining, Springer.
- Sang-Hui, P., Seok P., 1998. EMG pattern recognition based on artificial intelligence techniques. *IEEE Transactions On Rehabilitation Engineering*, 6(4).
- Saridis George N., Thomas, P., 1982. EMG pattern analysis and classification for a prosthetic arm. *Biomedical Engineering, IEEE Transactions*, 6: 403-412.
- Sharma, A., 2017. Understanding activation functions in neural networks. (<https://medium.com/the-theory-of-everything/understanding-activation-functions-in-neural-networks-9491262884e0>), (Accessed: 05.01.2025).
- Shin, L., Jia-Jin, J., Chen Te-Son, K., 1996. Real-time implementation of electromyogram pattern recognition as a control command of man-machine interface. *Medical Engineering and Physics*, 18(7): 529-535.
- Song, S., Chaudhuri K., Sarwate, A.D., 2013. Stochastic gradient descent with differentially private updates. *IEEE Global Conference on Signal and Information Processing*, Austin, pp. 245-248.
- Stefan Karlsson, J., Karin, R., Christer G., Andreas, H., Nils Ö., 1887. Signal processing of the surface electromyogram to gain insight into neuromuscular physiology. *Medical Engineering and Physics*, Elsevier.
- Studer, R.M., de Figueiredo Rui J.P., Moschytz George S., 1984. An algorithm for sequential signal estimation and system identification for emg signals. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 31(3): 285-295.
- Su, H., Nelder, J.A., Spence, R., Ismail, M., 1994. Generalized linear models for empirical performance modeling in circuit design. *Proceedings of APCCAS'94-Asia Pacific Conference on Circuits and Systems*.
- Şengöz, N., 2017. Yapay sinir ağları. (<http://www.derinogrenme.com/author/nilgunesengoz/>), (Accessed: 08.01.2025).
- Tsuji, T., Shigeyoshi, H., Kaneko, M., 2000. Bio-mimetic impedance control of an EMG-controlled prosthetic hand. *Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 31 October – 5 November, Takamatsu, pp.377-382.
- Vuckovic, M., Sijiang, D., 2002. Classification of prehensile EMG patterns with simplified fuzzy ARTMAP networks. *Proceedings of the 2002 International Joint Conference on Neural Networks*, 12-17 May, Honolulu, HI. pp.2539-2544.
- Winter, D.A., Yack, H.J., 1987. EMG profiles during normal human walking: stride-to-stride and inter-subject variability. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 67: 402-411.
- Xiaowen, Z., Yupu, Y., Xiaoming, X., Ming Z., 2002. Wavelet-based neuro-fuzzy classification for EMG control. *IEEE 2002 International Conference on Communications, Circuits, and Systems and West Sino Expositions*, 29 June- 1 July, pp.1087-1089.
- Yitong, Z., Chellappa, R., Bekey, G., 1986. Estimation of intramuscular EMG signals from surface EMG signal analysis. *Acoustics, Speech, and Signal Processing, IEEE International Conference on ICASSP*, pp.1805-1808.
- Zahedi, E., Farahani, H., 1995. Graphical simulation of artificial hand motion with fuzzy EMG pattern recognition. *14th Conference of the Biomedical Engineering Society of India an International Meeting*.
- Zardoshti-Kermani, M., Badie, K., Hashemi, R.M., 1995. EMG feature evaluation for movement control of upper extremity prostheses. *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, 3(4): 324-333.

Zennaro, D., Wellig, P., Koch, V.M., Moschytz George, S., Laubli, T., 2003. A software package for the decomposition of long-term

multichannel EMG signals using wavelet coefficients. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 50(1): 58-69.

To Cite: Özer, Ç., Orman, Z., 2025. Enhancing EMG Signals for Amputee People with Deep Neural Network and Optimization Algorithms. *MAS Journal of Applied Sciences*, 10(1): 141-160.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15099262>.

Motor Montaj Fabrikasında Subap Sarma Sorunu Üzerine Proses Hata Türleri ve Etkileri Analizi (PFMEA) ve İyileştirmeleri Çalışması

Taha Cüneyd MENDİ ^{1*}, Hasan AYDOĞAN ²

¹ Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya

² Selçuk Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya

*Sorumlu yazar (Corresponding author): tahamendi@icloud.com

Geliş Tarihi (Received): 12.01.2025

Kabul Tarihi (Accepted): 26.02.2025

Özet

Bu çalışma, motor montaj fabrikasında içten yanmalı motorların üretim sürecinde karşılaşılan hataları analiz ederek iyileştirme çalışmaları gerçekleştirmektedir. Üretim sürecinde ortaya çıkan hataların tespiti, değerlendirilmesi ve minimize edilmesi amacıyla Proses Hata Türleri ve Etkileri Analizi (PFMEA) yöntemi kullanılmıştır. PFMEA'nın etkinliğini artırmak için 6M analizi, Ishikawa diyagramı, kök neden analizi ve istatistiksel proses kontrol (SPC) gibi kalite yönetim tekniklerinden yararlanılmıştır. Özellikle silindir kapağı montaj sürecinde meydana gelen supap sarması problemi ele alınmış, hataların kök nedenleri belirlenerek önleyici ve düzeltici aksiyonlar uygulanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, kritik hatalar önemli ölçüde azaltılmış, süreç verimliliği artırılmış ve hata kaynaklı yıllık maliyetlerde düşüş sağlanmıştır. Çalışma, otomotiv sektöründe kalite yönetimi ve üretim süreçlerinde sürekli iyileştirme sağlamak adına önemli katkılar sunmaktadır. PFMEA'nın sistematik uygulanması ile hataların önceden belirlenmesi, süreçlerin daha kontrollü yönetilmesi ve kalite standartlarının iyileştirilmesi hedeflenmektedir. Bu kapsamda elde edilen sonuçlar, benzer üretim süreçlerinde kalite yönetim sistemlerinin geliştirilmesine yönelik yol gösterici bir çerçeve sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: İçten yanmalı motorlar, motor montaj fabrikası, üretim montaj süreçleri

Process Failure Modes and Effects Analysis (PFMEA) and Improvements on Valve Seizure Issue in Engine Assembly

Abstract

This study analyzes and improves defects encountered in the production processes of internal combustion engines in an engine assembly plant. Process Failure Modes and Effects Analysis (PFMEA) was utilized to detect, assess, and minimize these defects. To enhance its effectiveness, 6M analysis, Ishikawa diagrams, root cause analysis, and statistical process control (SPC) techniques were applied. The research primarily focuses on the valve seizure issue in the cylinder head assembly process, identifying root causes and implementing preventive and corrective actions. As a result, critical defects were significantly reduced, process efficiency improved, and annual defect-related costs decreased. This study provides valuable insights into quality management and continuous improvement in the automotive industry. The systematic application of PFMEA enables proactive error detection, better process control, and enhanced quality standards. Findings contribute to developing a structured framework for quality management in similar manufacturing environments.

Keywords: Internal combustion engines, engine assembly factory, production assembly processes

1. Giriş

Dünya genelinde otomotiv sektörüne yönelik faaliyet gösteren 1700'den fazla montaj tesisi bulunmaktadır (Wang ve Hodges, 2021). Bu işletmelerin, rekabet avantajlarını sürdürebilmek için ürünlerini tasarım aşamasından satış sonrası hizmetlere kadar güvence altına almaları gerekmektedir. Ürün güvenilirliğini sağlamanın en etkili yollarından biri ise yüksek kalite standartlarına ulaşmaktır (Bowles ve Pelaez, 1995). Otomotiv endüstrisinde faaliyet gösteren ana üreticiler, üretim süreçlerini hızlandırmayı, maliyetleri düşürmeyi ve ürün kalitesini artırmayı hedeflemektedir. Bu gelişmelerin sağlanabilmesi için, belirlenen kalite anlayışının tedarikçi firmalara da aktarılması büyük önem taşımaktadır. Üretim süreçlerinde meydana gelen hataların hızla tespit edilerek çözülmesi ve gerekli iyileştirmelerin etkin bir şekilde uygulanabilmesi için tedarikçiler ile ana üreticiler arasında güçlü bir koordinasyon gerekmektedir. Bu tür kalite yönetimi uygulamalarını desteklemek amacıyla otomotiv sektöründe APQP (İleri Ürün Kalite Planlaması) ve IATF 16949 gibi belirli standartlar geliştirilmiştir (Johnson ve Khan, 2003; Corporation ve ark., 2008). ISO standartları birçok sektörde yeterli görülse de, otomotiv endüstrisinde bu standartlar yetersiz kabul edilmektedir. Bu nedenle Ford, GM ve Chrysler, ISO kalite standartlarının eksikliklerini gidermek amacıyla 1988 yılında harekete geçerek QS-9000 adlı bir el kitabını ABD'de yayınlamıştır. Bunu takiben, Alman Verband der Automobilindustrie (VDA) VDA standardını, İtalyan Associazione Nazionale Fra Industrie Automobilistiche (ANFIA) AVSQ'yu ve Fransız PSA Peugeot-Citroen ile Renault grubu ise EAQF el kitaplarını oluşturmuştur. Büyük otomotiv üreticilerinin her birinin farklı kalite standartları belirlemesi, sektörde uyumsuzluklara yol açmıştır. Bu durumu önlemek amacıyla 1999 yılında ISO/TS 16949 standardı geliştirilmiş ve zamanla güncellenerek günümüzde IATF 16949:2016 adıyla uygulanmaktadır (Hoyle, 2005). IATF 16949:2016 standardı, otomotiv parça tedarikçilerinin kalite süreçlerini iyileştirmelerine ve müşteri beklentilerini

karşılımlarına yardımcı olmak için çeşitli yöntem ve araçların kullanımını teşvik etmektedir. Bu yöntemler arasında 8D (Sekiz Disiplin Metodu), Ishikawa (Balık Kılıcı) Diyagramı, Altı Sigma (6σ), FMEA (Hata Türleri ve Etkileri Analizi), APQP (İleri Ürün Kalite Planlaması) ve PPAP (Üretim Parçası Onay Süreci) yer almaktadır. Bu araçların kullanımı sayesinde kalite yönetim süreçleri daha sistematik ve etkili bir şekilde yürütülmektedir (Johnson ve Khan, 2003; Trappey ve Hsiao, 2008). Otomotiv üretim süreçlerinde ortaya çıkan hata türleri ve bu hataların giderilmesi, doğrudan ürün güvenilirliğini ve müşteri memnuniyetini etkilemektedir. Bu bağlamda, Proses Hata Türleri ve Etkileri Analizi (PFMEA), üretim sürecinde meydana gelebilecek hata modlarını belirleyerek, bunları şiddet, olasılık ve tespit edilebilirlik kriterlerine göre değerlendiren önemli bir analiz yöntemidir (VDA, 2019) Otomotiv sektöründe kalite yönetimi standartlarını belirleyen IATF 16949, Hata Türleri ve Etkileri Analizi (FMEA) uygulamalarını kapsamlı şekilde ele almayı zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle üretim aşamalarındaki olası hata kaynaklarının önceden belirlenmesi ve alınacak önleyici tedbirlerle bu hataların en aza indirilmesi gerekmektedir (Altınışık ve Hugul, 2020). FMEA, otomotiv sektöründe ilk kez 1977 yılında Ford Motor Company tarafından kullanılmıştır (Gilchrist, 1993). Bununla birlikte, bu yöntem yalnızca otomotiv endüstrisi ile sınırlı kalmamış, farklı sektörlerde de uygulanmıştır. Örneğin, gıda endüstrisinde HACCP (Tehlike Analizi ve Kritik Kontrol Noktaları) ile entegre edilerek süreç güvenilirliği artırılmıştır (Scipioni ve ark., 2002). Metal şekillendirme sektöründe üretim hatalarının azaltılması için kullanılmış (Pantazopoulos ve Tsinopoulos, 2005) tekstil endüstrisinde kalite kontrol süreçlerine entegre edilerek önemli iyileştirmeler sağlanmıştır (Pazireh, 2017). Ayrıca, Endonezya'da bir kontrplak fabrikasında, ürünlerdeki kusur nedenlerini belirlemek amacıyla FMEA analizi uygulanmıştır (Dyah Susanti, 2023). Geleneksel FMEA yöntemlerinde risk öncelik numarası (RPN), şiddet, oluşum ve tespit

edilebilirlik kriterlerinin çarpımıyla hesaplanmaktadır. Bu kriterlerin her biri 1 ile 10 arasında bir puan alır ve çarpımları sonucunda elde edilen RPN değeri, hataların öncelik sırasını belirlemek için kullanılır (AIAG, 2008). Ancak bu yöntem bazı sınırlamalara sahiptir. Aynı RPN değerine sahip farklı hata türleri, kritiklik açısından belirsizlik oluşturabilmektedir (Liu ve ark., 2019). Örneğin, şiddeti yüksek ancak oluşum ve tespit olasılığı düşük bir hata, şiddeti düşük ancak daha sık meydana gelen veya tespiti kolay olan bir hata ile aynı RPN değerine sahip olabilir. Bu durum, hata türleri arasında doğru bir önceliklendirme yapılmasını zorlaştırmaktadır. Bu sınırlamaların önüne geçmek için AIAG ve VDA (Alman Otomotiv Birliği), 2019 yılında AIAG & VDA FMEA standardını yayımlayarak, eylem önceliklendirmesi temelli yeni bir metodoloji

geliştirmiştir. Bu yaklaşımda riskler yalnızca RPN değeri üzerinden değil, özellikle şiddet faktörünü ön plana çıkaran bir matris yöntemiyle değerlendirilmektedir. Böylece, yüksek şiddet seviyesine sahip hatalar, oluşum ve tespit puanlarından bağımsız olarak daha öncelikli hale getirilmektedir (VDA, 2019; Kök ve Yıldız, 2023). Maisano ve arkadaşlarının (2020) araştırmalarında ortaya koyduğu gibi, bu yeni metodoloji, FMEA'nın daha etkin uygulanmasını sağlayarak kaynakların daha verimli kullanılmasına katkıda bulunmaktadır (Maisano ve ark., 2020). Otomotiv sektöründe birçok akademik çalışmada FMEA ve PFMEA metodu kullanılarak hata türleri ve etkileri analizi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışmaları ve özetleri Tablo 1.'de yer almaktadır.

Tablo 1. FMEA ile ilgili atıflar (Johnson ve Khan, 2003; Mikos ve ark., 2011; Shah ve ark., 2013; Lundgren ve ark., 2015; Pop ve Elod, 2015; Baghbani ve ark., 2019; Ouyang ve ark., 2022; Kök ve Yıldız, 2023; Yousaf ve ark., 2023; Alkaç, 2024; Kornek ve Bert, 2024)

Table 1. References related to FMEA (Johnson and Khan, 2003; Mikos et al., 2011; Shah et al., 2013; Lundgren et al., 2015; Pop and Elod, 2015; Baghbani et al., 2019; Ouyang et al., 2022; Kök and Yıldız, 2023; Yousaf et al., 2023; Alkaç, 2024; Kornek and Bert, 2024)

Yazar	Sektör	Yöntem	Amaç
Mikos ve ark. (2011)	Otomotiv	PFMEA	Üretim ve montaj süreçlerinde PFMEA aracılığıyla bilgi paylaşımını ve tekrar kullanımını kolaylaştırmak amacıyla, tanıma dayalı bir ontoloji kullanılarak bilgi çıkarımı ve geri kazanımı sağlayan bir sistem geliştirilmiştir.
Shah ve ark. (2013)	Otomotiv	PFMEA	Süreç odaklı bir risk değerlendirme metodolojisi geliştirilerek, PFMEA'daki kritik risklerin simülasyon teknikleriyle nicel analizler için süreç modeline entegre edilmesini ve alternatif süreç senaryolarının küresel bir risk göstergesi üzerinden değerlendirilmesini hedeflemişlerdir.
Pop ve Elod (2015)	Otomotiv	PFMEA	Otomotiv endüstrisinde büyük üreticilere doğrudan tedarikçi olmak isteyen bir kuruluşun, ISO/TS 16949 sertifikası alarak kalite yönetim sistemini iyileştirmeyi ve temel kalite araçlarını uygulamayı hedeflediğini vurgulamışlardır.
Lundgren ve ark. (2015)	Otomotiv	PFMEA	Model tabanlı bir yaklaşım kullanarak süreç planlaması ve kalite güvencesini entegre etmeyi, veri tutarsızlıklarını en aza indirerek mühendislerin günlük çalışmalarını desteklemeyi ve uzmanlar arasında daha verimli bir iş birliği sağlamayı hedeflemişlerdir.
Baghbani ve ark. (2019)	Otomotiv	PFMEA OEE	PFMEA ile Genel Ekipman Etkinliği (OEE) arasındaki ilişkiyi analiz ederek, öncelikli arızaların etkilerini azaltmaya yönelik önlemlerin etkinliğini OEE artışıyla değerlendirmeyi amaçlamışlardır.
Ouyang ve ark. (2022)	Otomotiv	FMEA	Geleneksel FMEA modelindeki eksiklikleri gidermek amacıyla, risk faktörlerinin ikili kombinasyonlarına dayalı yenilikçi bir sınıflandırma yöntemi önererek, bu yöntemin etkinliğini bir otomotiv üreticisinin buji montaj sürecine yönelik gerçek bir vaka çalışmasıyla göstermeyi amaçlamışlardır.
Yousaf ve ark. (2023)	Otomotiv	FMEA	Otomobillerin arka aks muhafazalarının tasarım ve üretim aşamalarında karşılaşılan kritik hata türlerini belirleyerek, FMEA yöntemiyle bu hataların risk seviyelerini azaltmayı ve süreç ile ürün kalitesini iyileştirmeyi amaçlamışlardır.
Kök ve Yıldız (2023)	Otomotiv	FMEA PFMEA	Otomotiv sektöründe sızdırmazlık elemanları üreten bir tedarikçi, kaplama sürecinde FMEA yöntemini kullanarak manuel işlemleri otomatik hale getirip riskleri minimize etmeyi ve FMEA değerlendirme yöntemlerine dair güncel bilgileri literatüre kazandırmayı hedeflemiştir.
Alkaç (2024)	Otomotiv	FMEA FFTA	Denizyolu taşımacılığında sivilaşma riski taşıyan yüklerin, özellikle nikel cevherinin, güvenliğini artırmak amacıyla, Bulanık Hata Ağacı Analizi (FFTA) ve Hata Türleri ve Etkileri Analizi (FMEA) yöntemleriyle sivilaşma kaynaklı riskleri değerlendirmeyi ve ilgili denizcilik standartlarına katkı sunmayı hedeflemiştir.

2. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, bir motor montaj fabrikasında subap sarmasına neden olan üretim hatalarını en aza indirmek amacıyla PFMEA yöntemi uygulanmıştır. PFMEA, montaj sürecinde meydana gelebilecek olası hataları sistematik olarak belirleyen, bu hataların nedenlerini analiz eden ve potansiyel etkilerini değerlendiren etkili bir yaklaşımdır. Bu yöntemin temel amacı, süreçteki riskleri önceliklendirerek iyileştirme çalışmalarına yön vermek ve gerekli aksiyonların alınmasını (Stamatis, 2003; Cândea ve ark., 2014). PFMEA, yedi aşamadan oluşan bir süreç izlemektedir. İlk olarak, planlama ve hazırlık aşamasında analiz edilecek süreçler belirlenir ve proje ekibinin görev dağılımı yapılır. Sonrasında, süreç ve hata analizleri gerçekleştirilerek hataların olasılığı ve şiddeti değerlendirilir. Son aşamada ise kritik hatalara yönelik düzeltici önlemler alınarak süreç iyileştirme çalışmaları uygulanır (Gueorguiev ve ark., 2020; Plinta ve ark., 2021). Bu yöntemin etkinliği, analiz edilecek verilerin doğru belirlenmesine bağlıdır. Bu doğrultuda, İstatistiksel Proses Kontrolü (SPC) yöntemi kullanılarak veri analiz edilirken, kök neden analizinin doğruluğunu artırmak için 4M (Malzeme, Yöntem, Makine ve İnsan) ve Ishikawa yöntemi uygulanmaktadır. Bu yaklaşımlar, sürecin daha güvenilir ve tutarlı hale gelmesini sağlamaktadır (Ishikawa, 1982; VDA, 2019; Mokhtarzadeh ve ark., 2024).

2.1. Proses hata türleri ve etkileri analizi (PFMEA)

2.1.1. Planlama ve hazırlık

Planlama ve hazırlık aşaması, analizin kapsamının netleştirilmesi ve sistematik bir yaklaşımın oluşturulması açısından büyük önem taşımaktadır (VDA, 2019). Bu aşamada, PFMEA çalışmasına dahil edilecek ürün ve süreçlerin belirlenmesi, analiz sürecinin amaçlarına uygun şekilde yapılandırılması gerekmektedir. Çalışma kapsamında, içten yanmalı motorların montajına ilişkin süreçler detaylı bir şekilde ele alınmış; alt bileşenler, montaj aşamaları ve test süreçleri gibi kritik

unsurlar belirlenerek analizde önceliklendirilmiştir.

Planlama aşamasında şu hedefler ön plana çıkmaktadır:

Proje tanımlama: Montaj hattında kalite ve güvenilirlik açısından kritik olan unsurlar ve motor üretim süreçleri belirlenmiştir. Bu aşama, özellikle motor montajındaki hassas süreçlerin ve olası hata kaynaklarının önceden tespit edilmesini sağlamıştır. Ayrıca, müşteri gereksinimleri ve yasal düzenlemeler göz önünde bulundurularak detaylı bir analiz gerçekleştirilmiştir.

Proje planı geliştirme: 5T Yöntemi (Niyet, Zamanlama, Ekip, Görev, Araçlar) esas alınarak proje planı oluşturulmuştur. Motor montaj fabrikasında, PFMEA analizinin tamamlanması gereken zaman dilimleri belirlenmiş ve montaj ile kalite kontrol süreçlerinde görev alacak çapraz fonksiyonlu ekipler atanmıştır.

Kapsam ve sınırların tanımlanması: PFMEA'nın kapsamı detaylı bir şekilde belirlenmiş ve böylece kaynakların en kritik süreçlere yönlendirilmesi sağlanmıştır. Bu doğrultuda, yüksek risk içeren bileşenler, özellikle emme ve egzoz subaplarını içeren ilindir kapakları gibi önemli parçalar, öncelikli analiz alanı olarak belirlenmiştir.

Planlamada odak alanları: Motor montaj fabrikasında, montaj sürecinde hata olasılığı yüksek olan adımlar ile kritik noktalar titizlikle değerlendirilmiştir. İnsan kaynaklı hatalar ve malzeme taşıma süreçleri detaylı bir şekilde analiz edilerek, PFMEA'nın uygulanmasıyla potansiyel hataların önlenmesi ve montaj hattının verimliliğinin artırılması amaçlanmıştır. Bu süreçte, önceki projelerden elde edilen tecrübelerden yararlanılarak kapsamlı bir PFMEA modeli oluşturulmuş ve süreç iyileştirme çalışmaları hızlandırılmıştır.

İstatistiksel proses kontrolünün (ipk) uygulanması: Planlama aşamasında İstatistiksel Proses Kontrolü'nün entegrasyonu kritik bir rol oynamaktadır (Zheng ve ark., 2025). İPK uygulamaları, olası hataların henüz üretim sürecindeyken belirlenmesine olanak tanıyarak, süreç içerisinde anında iyileştirme yapılmasını sağlamaktadır.

2.1.2. Yapısal analiz

Yapısal analiz, incelenecek süreçlerin ve bileşenlerin sistematik bir şekilde görselleştirilmesini içeren bir adımdır (VDA, 2019). Motor montaj fabrikasında, içten yanmalı motorların montaj süreçlerini etkili bir şekilde analiz edebilmek için proses akış diyagramı ve yapı ağacı oluşturulmuş, böylece tüm süreçler ve bileşenler ayrıntılı bir şekilde tanımlanmıştır. 6M (İnsan, Makine, Çevre, Malzeme, Yöntem, Ölçülebilirlik) faktörleri belirlenmiş ve Ishikawa diyagramı kullanılarak görselleştirilmiştir. Her montaj adımının sistem içindeki konumu ve genel işleyişi değerlendirilerek analiz kapsamı oluşturulmuştur.

Bu aşamanın temel amacı, analiz kapsamını netleştirerek her bileşenin üretim sürecine olası etkilerini belirlemek ve fonksiyon analizine sağlam bir temel oluşturmaktır. Sonuç olarak, montaj sürecindeki riskli noktaların tespit edilmesi açısından yapısal analiz, PFMEA sürecinde kritik bir aşama olarak öne çıkmaktadır.

2.1.3. Fonksiyon analizi

Fonksiyon analizi aşamasında, sürecin her adımı için işlevsel gereksinimler tanımlanmış ve bu gereksinimlerin karşılanıp karşılanmadığı değerlendirilmiştir. Motor montaj fabrikasında, özellikle silindir kapaklarının montaj süreci detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Her montaj adımının istenilen performans ve kalite şartlarını sağlayıp sağlamadığı incelenmiş, süreç detaylandırılarak tanımlanmıştır. Bu adım, kritik süreçlerin ve hata oluşabilecek noktaların belirlenmesi açısından önemli bir rol oynamaktadır. Çalışma kapsamında, motor montaj sürecinin alt bileşeni olan silindir kapağı montajına odaklanılmıştır.

Alt hazırlık (Proses 4.1 - 4.2 - 4.3 - 4.5): Ana montaj öncesinde, silindir kapağı alt hazırlık alanına taşınmıştır. Bu aşamada sırasıyla yatak pulları, supap keçeleri, supaplar, supap yağları ve üst yataklar kapağa monte edilmiştir. Küçük bileşenlerin montajı tamamlandıktan sonra, presleme işlemine hazır hale getirilmiştir.

Pres işlemi (Proses 4.6): Alt hazırlıkları tamamlanan silindir kapakları hidrolik pres altına alınmıştır. Yağlar pres yardımıyla sıkıştırılarak tırnak montajı gerçekleştirilmiş, ardından presleme tamamlanarak parçalar kontrol edilmiştir. Son aşamada, seri üretime hazır hale getirilmiş silindir kapakları set arabalarına yüklenmiştir.

Ana montaj (Proses 12): Set arabasından manipülatör yardımıyla alınan silindir kapakları, birleşim yüzeyleri gözle kontrol edilerek basınçlı hava ile temizlenmiş, gözle görülebilir tozlar bez yardımıyla giderilmiştir. Conta yerleştirildikten sonra, silindir kapağı motor bloğu üzerine monte edilmiş ve civatalar elektronik cihazlarla belirlenen tork değerlerinde sıkılmıştır. Parçaların montajı tamamlandıktan sonra supap ayarı yapılmış ve silindir kapağına ilişkin montaj süreci sonlandırılmıştır.

Her montaj adımının sonunda, olası etkiler dikkate alınarak risk değerlendirmesi yapılmış ve bu riskleri minimize etmek için önleyici aksiyonlar planlanmıştır. Kritik süreçler arasında, sistem üzerinde büyük etkiye sahip hata potansiyeli barındıran adımlar belirlenmiş ve bu adımlara yönelik derinlemesine analizler gerçekleştirilmiştir.

2.1.4. Hata analizi

Hata nedenleri sistematik bir şekilde belirlenmiş, her süreç adımında meydana gelebilecek hata türleri, bu hataların müşteri üzerindeki etkileri ve oluşumlarına yol açan kök sebepler detaylı olarak analiz edilmiştir. Silindir kapaklarının montaj sürecinde karşılaşılabilecek hatalar ayrıntılı şekilde ele alınmıştır.

Potansiyel hata türleri: Her süreç adımında oluşabilecek hata türleri belirlenerek sınıflandırılmıştır. Bu hatalar; sürecin işlevselliğini tamamen kaybetmesi, işlevin kısmen yerine getirilmesi ya da fonksiyonun bozulması gibi kategorilere ayrılmıştır. Örneğin, bir motor bileşeninin yanlış monte edilmesi veya montaj sırasında gerekli parçanın eksik takılması gibi durumlar bu aşamada değerlendirilmiştir.

Hata etkileri: Olası hata türlerinin üretim sürecine, sonraki aşamalara ve nihai ürünün

müşteri beklentilerine etkileri analiz edilmiştir. Örneğin, supap montajında meydana gelebilecek bir hatanın motor performansına ve verimliliğine olası etkileri incelenmiş, bu etkiler şiddet derecelerine göre sıralanarak değerlendirilmiştir.

Hata nedenleri: Hata türlerinin kök nedenlerini anlamak için detaylı analizler yapılmış, hatalar; insan, makine, malzeme, çevre ve yöntem gibi farklı faktörlere göre sınıflandırılmıştır. Kök nedenlerin belirlenmesinde 6M analiz yöntemi kullanılmıştır.

Sonuç olarak, bu aşamada hata türleri, bunların olası etkileri ve kök nedenleri tanımlanmıştır. Bu adım, montaj sürecinde karşılaşılabilecek hataların önceden tespit edilmesine ve bu hataların nasıl önlenebileceğine yönelik stratejilerin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır.

2.1.5. Risk analizi

Risk analizi, hata türlerinin şiddet, olasılık ve saptanabilirlik açısından değerlendirilmesini kapsayan kritik bir aşamadır. Her bir hatanın potansiyel etkileri ve oluşma sıklığı analiz edilerek, riskler önceliklendirilmiştir. Motor montaj fabrikasında, silindir kapaklarının montajı sırasında meydana gelebilecek kritik hata türleri bu kriterlere göre incelenmiş ve süreç iyileştirmeleri için gerekli aksiyonlar belirlenmiştir.

Şiddet (Severity): Hata türü gerçekleştiğinde, sürece ve müşteriye olan etkileri değerlendirilmiştir. Şiddet derecesi, hatanın ciddiyetini belirleyen temel faktördür. Örneğin, motor montajında meydana gelen bir hata, motorun çalışmamasına veya performans kaybına yol açabileceği için yüksek şiddet derecesine sahip olarak sınıflandırılmıştır. Şiddet puanlaması, PFMEA el kitabındaki kriterler doğrultusunda yapılmıştır.

Olasılık (Occurrence): Hataya yol açan durumların üretim sürecinde ne sıklıkla meydana geldiği bu aşamada analiz edilmiştir. Olasılık değeri, hatanın tekrar etme ihtimalini gösterir. Örneğin, motor bileşenlerinin yanlış yerleştirilmesi gibi sıkça rastlanan hatalar daha yüksek bir olasılık puanı ile

değerlendirilmiştir. Olasılık puanlaması, PFMEA el kitabındaki standartlara göre belirlenmiştir.

Saptanabilirlik (Detection): Bir hata oluştuğunda, bu hatanın montaj sürecinde ne kadar erken tespit edilebileceği incelenmiştir. Tespit edilmesi zor olan hatalar, daha büyük risk oluşturduğundan daha yüksek bir risk derecesi ile değerlendirilmiştir. Saptanabilirlik puanı da PFMEA el kitabındaki kriterler baz alınarak belirlenmiştir.

Bu üç kriterin birleşimiyle, her hata türü için Aksiyon Önceliği (AP) hesaplanmıştır. Bu analiz, hangi hatalara öncelikli olarak müdahale edilmesi gerektiğini belirleyerek süreç iyileştirmeleri için kritik bir temel oluşturmuştur.

2.1.6. Optimizasyon

PFMEA'nın Optimizasyon aşaması, süreç risklerini azaltmaya yönelik aksiyonların belirlenmesi ve bu aksiyonların etkinliğinin değerlendirilmesini amaçlamaktadır. Bu aşamada, süreçte tespit edilen yüksek riskli hata türleri için önleyici ve düzeltici aksiyonlar kararlaştırılarak uygulanmıştır. Motor montaj fabrikasında, içten yanmalı motorların montaj sürecinde ortaya çıkabilecek hataları en aza indirmek için proses değişiklikleri yapılmış ve kontrol mekanizmaları geliştirilmiştir.

Aksiyonların belirlenmesi: PFMEA ekibi, süreçteki hataları azaltmak ve meydana gelme olasılıklarını düşürmek amacıyla çeşitli aksiyonlar belirlemiştir. Bu aksiyonlar; proses değişiklikleri, önleyici kontrollerin artırılması ve izlenebilirlik mekanizmalarının güçlendirilmesi şeklinde kategorize edilmiştir.

Sorumlulukların ve zaman çizelgesinin belirlenmesi: Uygulanacak aksiyonların sorumluları ve tamamlanma süreleri açık bir şekilde tanımlanmıştır. Aksiyonlar hayata geçirilirken, ilgili ekip üyeleri tarafından düzenli olarak takip edilerek süreçlerin sürekli iyileştirilmesi sağlanmıştır.

Aksiyonların izlenmesi ve değerlendirilmesi: Uygulanan aksiyonların etkinliği, süreç boyunca izlenmiş ve analiz edilmiştir. Yapılan iyileştirmelerin, belirlenen hataları önleyip önleyemediği değerlendirilmiş ve gerektiğinde ek önlemler alınmıştır. Sonuç

olarak, süreç iyileştirmelerinin üretim sürecine olumlu katkı sağladığı tespit edilmiş ve bu kontroller kalıcı uygulamalar haline getirilmiştir.

2.1.7. Sonuçların dokümantasyonu

PFMEA sürecinde elde edilen veriler ve gerçekleştirilen analizler ayrıntılı bir şekilde dokümente edilmiştir. AIAG & VDA PFMEA formu, 28 kolonlu yapısıyla bu dokümantasyonun temel aracını oluşturur (VDA, 2019). Sürecin her aşamasında, olası hata türleri, bu hataların şiddeti, olasılığı ve aksiyon öncelikleri belirlenerek forma kaydedilmiştir. Sonuçların dokümente edilmesi, süreç boyunca elde edilen verilerin izlenebilirliğini sağlamak ve gelecekte benzer çalışmalar için bir referans noktası oluşturmak amacıyla yapılmıştır. Bu kapsamda, form doldurma, aksiyonların izlenmesi ve raporlanması gibi faaliyetler düzenli olarak kayıt altına alınmıştır.

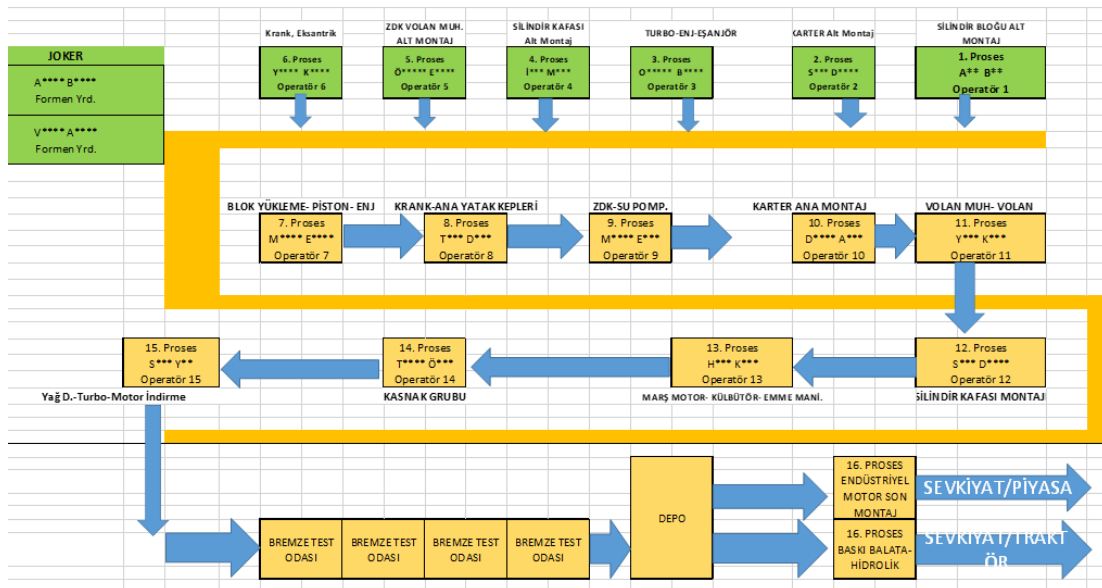
2.2. Uygulama bulguları

Motor montaj fabrikasında yürütülen hata analizi ve iyileştirme çalışmalarında PFMEA yöntemi tercih edilmiştir. Çalışmalar kapsamında, geçmişte farklı motor türlerinde meydana gelen ve şirkete en fazla zarar verme potansiyeline sahip hatalar üzerine odaklanılmıştır. Analiz sürecinin ilk

aşamasında, son dört yıl içerisinde motor dinamometre testlerinde en sık karşılaşılan 20 hata belirlenerek bir liste oluşturulmuştur. İkinci aşamada, satış sonrası hizmetlerde en yaygın görülen 20 hata incelenmiştir. Son olarak, müşteri fabrikası olan Traktör Montaj Fabrikası'na sevk öncesinde tespit edilen en sık rastlanan 20 hata sıralanmıştır.

Fabrika, müşteri fabrikası ve son kullanıcıdan elde edilen veriler doğrultusunda en kritik hata türleri tespit edilmiştir. Bu değerlendirme yalnızca hata sıklıklarına göre değil, aynı zamanda neden olabilecekleri hasarın ciddiyeti ve tekrarlanma olasılığı çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Ancak, şirketin gizlilik politikaları nedeniyle belirlenen hata türlerine ve karşılaşılan sıklıklarına dair ayrıntılar paylaşılmamaktadır. Yapılan analizler sonucunda, en kritik unsurun silindir kafası olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, silindir kafa alt montaj ve ana montaj süreçlerinde meydana gelebilecek yağ kaçağı arızalarına yönelik kapsamlı bir PFMEA çalışması yürütülmüştür.

Hata analizi, İstatistiksel Proses Kontrolü (İPK) aracılığıyla elde edilen veriler doğrultusunda gerçekleştirilmiş olup, ilgili süreçlerin analiz edilmesi amacıyla proses akış diyagramı ve yapı ağacı oluşturulmuştur. Şekil 1'de, süreç akış diyagramı görselleştirilmiştir.



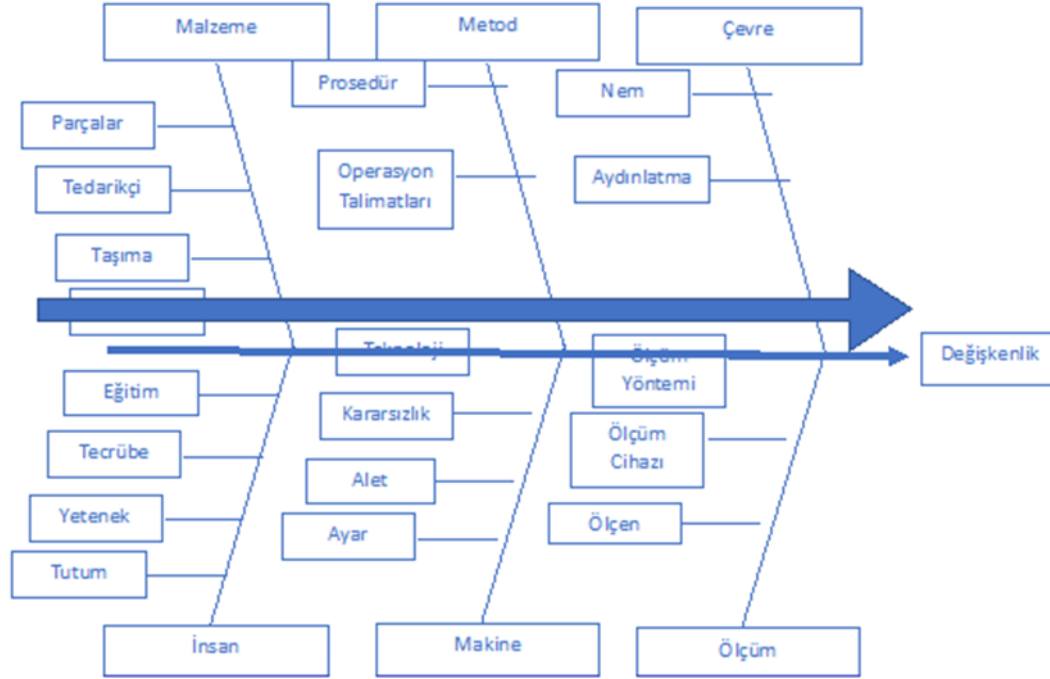
Şekil 1. Motor montaj fabrikası seri üretim hattı proses akış diyagramı
Figure 1. Engine assembly plant mass production line process flow diagram

Tablo 2. Silindir kafa montaj yapı ağacı**Table 2.** Cylinder head assembly structure tree

Proses No	Proses Adı
4. Proses	Silindir kafası alt montaj
4.1. Proses	Yatak pulu montajı
4.2. Proses	Subap keçesi montajı
4.3. Proses	Egzoz ve emme subap montajı
4.4. Proses	Silindir kafa çevirme operasyonu
4.5. Proses	Subap yayı ve üst yatak montajı
4.6. Proses	Yay presleme, tırnak montajı
12. Proses	Silindir kafası ana montaj
12.1. Proses	Silindir kafa oturma yüzeyi pim ve conta montajı
12.2. Proses	Silindir kafası montajı
12.3. Proses	Silindir kafası cıvata ve subap kepi montajı
12.4. Proses	İtici mil montajı
12.5. Proses	Silindir kafa cıvataları üç aşamalı torklama
12.6. Proses	Külbütör mekanikleri montajı

Yukarıda yer alan Tablo 2’de yapı ağacını gösterilmektedir. Silindir kapakları yağ kaçağına 4. Ve 12. Proseslerde meydana gelebilecek hataların sebep olabileceği

düşünüldüğü için bu prosesler özelinde 6M analizi gerçekleştirilmiştir. 6M elemanlarını içeren Ishikawa şablonunu Şekil 2’de gösterilmiştir.

**Şekil 2.** 6 M (Ishikawa) balık kılıçığı yöntemi figürü**Figure 2.** Figure 6 M (Ishikawa) fishbone method

Prosesle alakalı gerekli bilgiler toplandıktan ve bu bilgiler dokümanite edildikten sonra, yapısal analiz kısmına ait PFMEA tablosunun

ikinci adım kısmı doldurulmuştur. Tablo 3’te PFMEA formatında yapısal analiz kısmı yer almaktadır.

Tablo 3. PFMEA formatında yapısal analiz**Table 3.** Structural analysis in PFMEA format

Yapısal Analiz (İkinci Adım)		
1. Proses Parçası, Sistem, Alt Sistem, Parça, Bileşen ya da Proses Adı	2. Proses Adımı İstasyon No ve Odak Parça Adı	3. Proses İş Elemanları (6m)
Dört Silindirli İçten Yanmalı Dizel Motor 75-110bg Güçlerinde	4. İstasyon Silindir Kapağı Alt Montaj	Malzeme
		Metot
		Çevre
		Makine
		Ölçme
		İnsan

Üçüncü adım olan Fonksiyonel analiz kısmında Motor Montaj Hattını ‘Fabrika’ olarak, Traktör montaj hattını; ‘Müşteri Fabrikası’ olarak ve sevk edilen ve tarlada kullanılan traktörü de ‘Son Kullanıcı’ olarak tanımlanmıştır. İkinci adımdaki fonksiyon bu üç kavram için de tanımlanmıştır. Ardından

silindir kapağının montaj yapılış adımları tanımlanmıştır. Son olarak 6M elemanlarının fonksiyonları tanımlanarak bu adım sonuçlandırılmıştır. Aşağıda yer alan Tablo 4.’te PFMEA formatında fonksiyonel analiz kısmı yer almaktadır.

Tablo 4. Fonksiyonel analiz üçüncü adım**Table 4.** Functional analysis step three

Fonksiyonel Analiz (Üçüncü Adım)		
Birinci Proses Parçasının Fonksiyonu, Sistem, Alt Sistem, Parça , Bileşen yada Proses Fonksiyonu	İkinci Odak Parçanın Fonksiyonu ve Şartları	Üçüncü Sonraki Alt Seviye Fonksiyonu ve Şartları veya Karakteristiği
<p>Fabrika: Fabrika açısından, silindir kapaklarının motor bloğuna sorunsuz şekilde monte edilmesi ve motorun hedeflenen gücü üretirken herhangi bir performans ve emisyon sorunu yaşanmaması temel hedeftir</p> <p>Müşteri Fabrikası: Müşteri fabrikası için ise traktöre monte edilen motorun şanzımana sorunsuz bir şekilde güç aktarımı sağlaması beklenmektedir</p> <p>Son Kullanıcı : Son kullanıcı perspektifinden değerlendirildiğinde ise traktörün tarlada kullanımı sırasında arıza yaşanmaması kritik bir gerekliliktir.</p>	<p>Silindir kapaklarına supapların montaj süreci belirli adımları içermektedir. İlk olarak, paletler üzerinde gelen kapaklar montaj sehpasına yerleştirilir ve ardından pul ile supap keçeleri uygun aparat ve çekiç yardımıyla monte edilir. Sonrasında, emme ve egzoz supapları keçelere yerleştirilir ve özel bir aparat kullanılarak ters çevrilir. Montaj sürecinin devamında supap yayları ve şapkaları takılır, hidrolik pres yardımıyla yaylar sıkıştırılarak tırnaklar yerine monte edilir.</p>	<p>Parça : Fabrikaya ulaşan bileşenler, kalite kontrol sürecinden geçirildikten sonra montaj hatlarına yönlendirilerek montaj işlemi gerçekleştirilir.</p> <p>Talimat : Operatörler, kendilerine sağlanan çalışma talimatları doğrultusunda hareket ederek işlemleri standartlara uygun şekilde tamamlar.</p> <p>Ortam: Montaj sürecinin verimli ve güvenli şekilde yürütülebilmesi için uygun çalışma koşulları sağlanır.</p> <p>Hidrolik Pres: Yardımı ile yay ezme ve tırnak takma işlemi yapılır</p> <p>Keçe Çakma Aparatı: Keçeler, keçe çakma aparatı kullanılarak dik bir konumda yerleştirilir ve bakır çekiç yardımıyla sabitlenerek montaj işlemi tamamlanır.</p>

Dördüncü aşama olan hata analizi aşamasında, birinci sütunda odak parçanın fabrika, müşteri fabrikası ve son kullanıcı düzeyinde yol açabileceği hata etkileri (FE) değerlendirilmiş ve çalışmanın hangi aşamada gerçekleştirileceğine karar verilmiştir. Çalışmanın Motor Montaj Fabrikasında

yürütülmesi nedeniyle, bu süreçte fabrikanın karşılaşılabileceği olası sorunlar ele alınmış ve bu sorunlara yönelik önleyici tedbirler belirlenmiştir. Fabrikada meydana gelebilecek arızaların şiddet (S) derecesini belirlemek amacıyla PFMEA Şiddet Derecelendirme Tablosu incelenmiştir. Bu değerlendirme

kapsamında, "etkilenen üretimin %100'ünden az bir kısmının hurdaya ayrılması gerektiği ve hat hızının düşürülerek ek personel desteğiyle eksikliğin giderilmesi" kriterine uygun olarak, şiddet seviyesi orta-yüksek bir değer olan 7 olarak tanımlanmıştır. Üçüncü sütunda odak parçaya ait hata türü (FM) olarak "Motor

yağının, motor suyu ile karışması / Motorun yağ kaçırmaması" ifadesi kaydedilmiştir. Dördüncü sütunda ise 6M unsurlarının her birinin neden olabileceği hata nedenleri (FC) ayrıntılı olarak belirlenmiş ve değerlendirilmiştir. Tablo 5'te PFMEA formatında hata analizi bölümü yer almaktadır.

Tablo 5. Hata analizi dördüncü adım

Table 5. Error analysis fourth step

Hata Analizi (Dördüncü Adım)			
Birinci Bir Üst Seviye Eleman ve/veya Son Kullanıcı İçin Hata Etkileri (FE)	Şiddet (S) FE	İkinci Odak Parçanın Hata Türü (FM)	Üçüncü Sonraki Alt Seviye Elemanın veya Karakteristiğinin Hata Nedeni (FC)
<p>Fabrika: Operasyon Operasyon esnasında hata tespit edilmesi durumunda, silindir kapağı üretim hattından ayrılarak kalite kontrol birimine teslim edilir. Yapılan inceleme sonucunda, taşlama işlemi gerektiriyorsa Talaşlı İmalat birimine yönlendirilir. Revizyon işlemi tamamlanan kapak, üretim sürecine geri kazandırılır. Ancak, eğer revizyon mümkün değilse, ilgili parça hurdaya ayrılır.</p> <p>Test aşamasında hata belirlenirse, arızanın türüne göre farklı işlemler uygulanır. Eğer yalnızca yağ kaçağı tespit edilirse, kapak revize edilerek kullanıma uygun hale getirilir. Ancak, yağın motor soğutma suyu ile karışması durumunda, motorun su ile temas eden tüm bileşenleri sökülerek temizlenir ve ardından sıfırdan yeniden monte edilir.</p> <p>Müşteri Fabrikası: Traktör, motor kaynaklı bir arıza nedeniyle işlevini yerine getiremez. Bu durumda, motor ve traktör birbirinden ayrılır, motor fabrikaya sevk edilerek gerekli revizyon işlemleri gerçekleştirilir.</p> <p>Son Kullanıcı: Tarlada meydana gelen bir arıza nedeniyle traktörünü kullanamaz. Bu durumda, çiftçi servisi arar ve traktör çekici yardımıyla servise götürülür. Gerekli incelemelerin ardından fabrika tarafından geri çağırılabilir.</p>	7	Silindir kapaklarına subapların, montajlanması	Parça Kaynaklı (Emme ve Egzoz Subabı) Oluşabilecek Hatalar: Takılan parçalardan birinde ölçüsel hata olabilir
			Parça Kaynaklı (Subap Yay Yatağı) Oluşabilecek Hatalar: Takılan parçalardan birinde ölçüsel bir hata olabilir
			Depolama Kaynaklı Oluşabilecek Hatalar: Parçaları muhafaza ederken doğru şekilde muhafaza edilmemiş olabilir
			Metod Kaynaklı Oluşabilecek Hatalar: Operatörün hatalı işlem yapması kaynaklı olabilir
			Ortam Kaynaklı Oluşabilecek Hatalar: Kirli veya tozlu bir ortamda parçaların üzerlerini mikropartiküller yapışarak subap yolluklarını tııkayabilir
			Pres Kaynaklı Oluşabilecek Hatalar: Subap yayları preslenirken eğik basması kaynaklı tırnakların veya presin subaplara zarar vermesi
			Aparat Kaynaklı Oluşabilecek Hatalar: Pulların üzerine keçe çakma sırasında aparatın talaş parçası fırlayıp subap sardırabilir
Operatör Kaynaklı Oluşabilecek Hatalar: Operatör beceri eksikliği nedeni ile hatalı operasyon gerçekleştirebilir			

Beşinci aşama olan risk analizi aşamasında, mevcut önleme kontrolleri (PC) birinci sütuna kaydedilmiştir. Ardından, üçüncü sütuna hata türü ve nedenleri için mevcut saptama kontrolleri eklenmiştir. İlk olarak, önleme kontrolleri PFMEA Olasılık Tablosu kullanılarak puanlandırılmıştır. Daha sonra, saptama kontrolleri PFMEA Saptama Tablosu

doğrultusunda değerlendirilmiş ve puanlanmıştır. Son aşamada, şiddet, olasılık ve saptama puanları PFMEA Aksiyon Önceliği Belirleme (AP) Tablosu çerçevesinde analiz edilmiş ve buna göre Orta, Yüksek veya Düşük öncelik puanları atanarak nihai değerlendirme tamamlanmıştır.

Tablo 6. Risk analizi beşinci adım**Table 6.** Risk analysis fifth step

Risk Analizi (Beşinci Adım)				
Mevcut önleme kontrolleri (PC)	Olasılık (O)	Mevcut saptama Kontrolleri (DC)	Saptama (D) FC/FM	Aksiyon önceliği (AP)
Çıkış kalite kontrolü yapılmaktadır.	2	Fabrikaya sevk edilmeden önce kalite kontrol personelleri tarafından kontrol edilmektedir.	6	O
Parçalar fabrikaya gelirken streçlenmiş şekilde gelmektedir.	6	Operasyon sırasında montaj operatörü kapağı çevirerek kapak yüzeyini kontrol etmektedir.	6	Y
Montaj Operasyon sayfası adı altında operatöre talimatlar verilmektedir.	3	Otokontrol kartları ile operatörler yaptıkları işleri kayıt altına almaktadır.	1	D
-	10	Kapak Ana Montajı yapan operatör göz ile kontrol yapıyor ve montaj öncesi hava tutmaktadır.	6	Y
-	10	Operatör montaj sırasında gözle kontrol etmektedir.	6	Y
Yeni işe başlayan bir operatör, ilk beş iş günü boyunca bir usta ile birlikte çalışarak operasyonu çift kişi yürütür. Usta, süreç boyunca operatöre tüm teknik detayları öğretmekle sorumludur.	1	Operatörler, işe başlamalarından itibaren belirli periyotlarla performans değerlendirmesine tabi tutulur. İki aylık ve altı aylık süreçlerde yöneticiler tarafından yapılan değerlendirmeler, operatörün gelişimini takip etmeye ve motivasyonunu yüksek tutmaya yönelik bir sistem olarak uygulanmaktadır.	1	D

Optimizasyon adımında, Orta ve Yüksek Aksiyon Önceliği (AP) değerine sahip hatalara yönelik önleyici ve saptayıcı faaliyetler geliştirilmiştir. Bu faaliyetlerin uygulanmasından sorumlu kişiler ve tamamlanma süreleri bildirilmiştir. Sürecin ilerleyişi düzenli olarak izlenmiş ve her tamamlanan faaliyet için kanıt niteliğinde görseller eklenmiştir. FMEA çalışmaları

sonucunda, Şiddet, Olasılık ve Saptama puanları yeniden değerlendirilerek güncellenmiş, bu doğrultuda aksiyon öncelikleri tekrar sıralanmıştır. Bazı durumlarda mevcut aksiyonların yetersiz olduğu tespit edilmiş ve bu eksiklikleri gidermek amacıyla ilave tasarım değişiklikleri talep edilerek süreç iyileştirme çalışmaları sürdürülmüştür.

Tablo 7. Optimizasyon altıncı adım**Table 7.** Optimization step six

Optimization (Altıncı adım)									
FMEA Önleyici faaliyetler	FMEA Saptayıcı faaliyetler	Sorumlu kişiler	Termin	Durum	Tamamlama tarihi	Şiddet (S)	Olasılık (O)	Septama (D)	Aksiyon önceliği (AP)
Tedarikçiden mevcut kontrol seviyesinin artırılması ve sevkiyat sırasında oluşabilecek hataların önüne geçebilmek amacıyla daha iyi bir paketleme yöntemi uygulanması talep edilmiştir. Bu kapsamda, tedarikçi ziyareti gerçekleştirilmiş ve süreç yerinde incelenmiştir.	Tedarikçi parçalara %100 kontrol uygulamaktadır hatalı parçalar robotik sistem sayesinde fark edilerek ayrılmakta ve sevk öncesi saptanmaktadır	K*** K*** (Kalite Kontrol Amiri)	Haz.24	Ok	Haz.24	7	4	1	D
Tedarikçinin, parçaları talaşlı işlem sonrası paslanmayı önlemek amacıyla koruyucu yağ ile kaplandıktan sonra poşetlediği tespit edilmiştir. Ancak, işleme doğruluğu sağlansa dahi bu yağlı kalıntılar, subapların sıkışmasına neden olabilmektedir. Bu sorunu önlemek adına, yay tutucu pulların fabrikada yıkandıktan sonra seri üretim sürecine dahil edilmesi planlanmıştır.	Saptayıcı ek bir önleme ihtiyacı duyulmamıştır	K*** K*** (Kalite Kontrol Amiri)	Haz.24	Ok	Haz.24	7	1	4	D
Fabrikaya gelecek parçaların, belirlenen günlük üretim adetlerine uygun şekilde paketlenmesi sağlanmış ve bu parçalar, doğrudan operatörlerin kullanımına sunulacak şekilde düzenlenmiştir.	Saptayıcı ek bir önleme ihtiyacı duyulmamıştır	O*** Y*** A*** (Lojistik Müdürü)	Oca.26	Beklemede	Oca.26	7	1	8	D
Kritik parçaların montaj öncesinde yıkanmasına karar verilmiştir. Ayrıca, alt montaj ve montaj süreçleri arasında kirlenme veya hasar görme riski bulunan parçalar için ek önlemler alınmış, fabrikadaki belirli noktalara kuşların konumlanmasını önlemek amacıyla kuş kovucu çitler monte edilmiştir.	Saptayıcı ek bir önleme ihtiyacı duyulmamıştır		Oca.24	Ok	Oca.24	7	1	3	D
Hidrolik pres kaynaklı bir sorun olabileceği değerlendirilmiş ve uzun yıllardır kullanılan ekipman yenilenmiştir. Kullanım ömrünü tamamlamış olan eski aparat, öncelikle taşlanarak bir süre daha kullanılmış, ancak presleme cihazının yenilenmesiyle birlikte basma aparatı da değiştirilmiştir.	Saptayıcı ek bir önleme ihtiyacı duyulmamıştır		Ara.23	Ok	Ara.23	7	3	2	D
Yeni bir aksiyon gerekmiyor Risk kritik sınır altında	Yeni bir aksiyon gerekmiyor Risk kritik sınır altında		-	-	-	7	1	6	D

2.3. PFMEA aksiyonları ve kanıtları

Gerçekleştirilen analizler sonucu subap sarma probleminde sebebiyet verebilecek birçok hata nedeni bulunmuştur ve bu hata nedenlerini ve oluşturacağı etkileri azaltmak adına aksiyon alınmıştır. AP puanı O ve Y çıkan hatalara alınan aksiyonlar ve kanıtları bu bölümde bulunmaktadır.

2.3.1. Parça kaynaklı oluşan hata aksiyonları

Subap tutucu pullar, koruyucu yağ ve izole paketlemeye rağmen Şekil 3.'de görüldüğü gibi kirlenmektedir. Koruyucu yağın kaldırılması paslanmaya yol açabileceğinden alternatif bir çözüm gerekli görülmüştür. Pullardaki kir veya toz, subap sarma probleminde doğrudan neden olabilmektedir.



Şekil 3. Subap yayları kirliliği
Figure 3. Valve spring contamination

Bu sorunu önlemek için parçaların kutu halinde yıkanıp aynı gün içinde kullanılması kararlaştırılmıştır. Bu ek PFMEA önlemiyle O değeri 4'ten 1'e, AP değeri ise D seviyesine düşmüştür.

2.3.2. Depolama kaynaklı oluşan hata aksiyonları

Depolama kaynaklı hatalar, parçaların fabrikaya kabul edildikten sonra maruz

kalabileceği sorunları kapsar. Kapaktaki subap sarması incelenirken bazı parçaların toz ve dış etkenlere karşı korunmadan, çok adetli şekilde bekletildiği tespit edilmiştir. Özellikle subap keçelerinin Şekil 4'de görüldüğü gibi küçük kutularda uzun süre saklandığı ve operatör tarafından kontrol edilmediği belirlenmiştir.



Şekil 5. Küçük parça süper marketi
Figure 5. Small parts supermarket

Düşük kontrol seviyesi nedeniyle Çizelge 3.4'e göre olasılık puanı 7, saptama puanı 8 olarak değerlendirilmiş ve aksiyon önceliği 'Y' olarak belirlenerek risk analizi tamamlanmıştır. Riskin 'Y' olması nedeniyle parçaların tedarikçi tarafından 1000 adetlik poşet veya kutularda paketlenerek sevk edilmesine karar verilmiştir. Bu önlem sonrasında önleyici puan 7'den 1'e düşürülmüş, AP puanı 'D' seviyesine gerilemiş ve PFMEA aksiyonu tamamlanmıştır.

2.3.3. Aparat kaynaklı oluşan hata aksiyonları

Çalışma ve test aşamalarında sıkışma ve sarma sorunları oluşabilmektedir. Silindir kapak alt montajında uzun yıllardır aynı aparat ve hidrolik pres kullanılmaktadır. Bu ekipmanların ömrünü tamamlamış olabileceği düşünülmektedir. Aparat kaynaklı hataları önlemek için merkezleme pimleri kullanılarak montaj yapılmaktadır. Ancak pres kaynaklı hataların önlenmesi neredeyse imkansızdır, bu nedenle önleyici aksiyon alınamamıştır. Buna karşın, hataların saptanması daha kolaydır. Ana montaj sırasında soğuk subap ayarı ile dönme kontrolü, dinamometre testlerinde ise sıcak subap ayarı yapılarak olası sorunlar tespit edilmektedir. Mevcut yay basma presini şekil 7 ve şekil 8 de görülmektedir.



Şekil 7. Silindir kapak subap pres işleminde kullanılan eski pres aparatının aşınmış görüntüsü
Figure 7. Worn image of the old press apparatus used in cylinder head valve pressing process



Şekil 8. Silindir kapak subap presi (eski)
Figure 8. Cylinder head valve press (old)

Hidrolik pres için önleme kontrolü bulunmadığından olasılığa '10' puan, aparat kaynaklı önleme kontrolü için merkezleme pimleri nedeniyle '4' puan verilmiştir. Saptayıcı faaliyet yeterli görüldüğünden saptama puanı '2' olarak belirlenmiş, aksiyon

önceliği 'O' olarak değerlendirilmiştir. Bu nedenle PFMEA kapsamında yeni önleyici ve saptayıcı faaliyetler tanımlanmıştır. Şekil 9'da görüldüğü gibi hidrolik pres ve yay tırnak montaj aparatı revize edilmiştir.



Şekil 9. Silindir kapak subap presi (yeni)
Figure 9. Cylinder head valve press (new)

Bu çalışmalar sonucunda hata oluşma ihtimali sıfıra indirgenmiştir. Yapılan iyileştirmeler ürün geliştirme departmanına aktarılmış ve kalıcı çözüm talep edilmiştir. PFMEA öncesinde '10' ve '4' olan önleyici puanlar '1' seviyesine düşürülmüştür. Bu nedenle ek saptayıcı aksiyon alınmamış, 'O' ve 'Y' olan aksiyon önceliği AP değeri 'D' olarak güncellenmiş ve proses kontrol altına alınmıştır.

3. Sonuçlar

Bu çalışmada 2022-2024 yılları arasında seri üretim montaj süreçlerini yürüten bir Türk otomotiv firmasındaki içten yanmalı motorlara ait hata analizleri gerçekleştirilmiş ve bu hatalara yönelik iyileştirme çalışmaları uygulanmıştır. Çalışma, Avrupa'nın önde gelen otomotiv üreticileri tarafından kabul gören IATF 16949 kalite standardı kapsamında yürütülmüş olup, montaj süreçlerinde en kapsamlı hata analizi yöntemlerinden biri olan PFMEA (metodu kullanılarak özellikle Silindir Kafalarında meydana gelen Subap Sarma arızalarına odaklanılmıştır. Gerçekleştirilen analizler sonucunda, yüksek öncelikli problemlere yönelik aksiyonlar

belirlenmiş ve uygulanan çözümlerin etkinliği gözlemlenerek çalışma tamamlanmıştır. Yapılan analizler, parça kaynaklı, depolama kaynaklı ve aparat kaynaklı olmak üzere üç temel hata türünü ortaya koymuştur. Bu hataların yüksek AP (Aksiyon Önceliği) puanına sahip olmasının temel sebepleri, fabrikada yaratabilecekleri ciddi etkiler ve mevcut önleyici-saptayıcı kontrollerin yetersizliğidir. Parça kaynaklı hatalar, tedarikçi firma ve fabrikada ek kalite kontrol önlemleri alınarak kullanılarak minimize edilmiştir. Depolama kaynaklı hatalar, parçaların bilinci bir şekilde günlük üretim adetlerince paketlenmesi ve kullanım miktarlarının düzenlenmesi ile çözülmüştür. Aparat kaynaklı hatalar ise, kullanılan hidrolik pres aparatındaki mekanik iyileştirmeler ve montaj alanındaki düzenlemeler ile çözümlenmiştir. Bu aksiyonlar, Tablo 7.'de detaylandırılmış olup, yüksek ve orta öncelikli hatalar için etkili çözümler sağlanmıştır.

Yapılan çalışma, fabrikadaki birçok süreçte yeterli önleyici kontrollerin bulunmamasının hata riskini artırdığını göstermiştir. Bu doğrultuda, hataları en aza indirmek için FMEA kapsamında önleyici faaliyetler uygulanmıştır. Ancak, saptayıcı faaliyetlerin

yalnızca belirli durumlarda artırıldığı tespit edilmiştir. Bunun temel nedenleri; mevcut saptayıcı kontrollerin yeterli seviyede olması, yeni saptama yöntemlerinin yüksek maliyetli olması ve önleyici aksiyonların hata çözümünde daha kritik rol oynamasıdır. Sonuç olarak, uygulanan önleyici önlemler hataları büyük ölçüde azaltarak süreç kalitesini yükseltmiş ve montaj hatalarını minimum seviyeye indirmiştir.

Yazarların Katkı Beyanı

Yazarlar makaleye eşit katkıda bulduklarını, makalenin yayına hazır son halini gördüklerini/okuduklarını ve onayladıklarını beyan ederler.

Çıkar Çatışması Beyanı

Tüm yazarlar, bu çalışma için herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Finansman

Bu çalışma, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırmalar Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü tarafından "2016.10.07.1091" ve Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından "120O576" nolu proje ile desteklenmiştir.

Açıklama

Bu, çalışma ilk yazarın yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

Kaynaklar

AIAG, 2008. Potential Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) Reference Manual (4. ed). Chrysler LLC, Ford Motor Company, General Motors Corporation.

Alkaç, M., 2024. Deniz taşımacılığında nikel madeni yükünün sıvılaştırmadan kaynaklanan deniz kazalarının bulanık hata ağacı analizi (FFTA) ve hata türleri ve etkileri analizi (FMEA) yöntemleri ile incelenmesi. Yüksel Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Altınışık, A., Hugul, O., 2020. The seven-step failure diagnosis in automotive industry. *Engineering Failure Analysis*, 116: 104702.

Baghbani, M., Iranzadeh, S., Bagherzadeh Khajeh, M., 2019. Investigating the relationship between RPN parameters in fuzzy PFMEA and OEE in a sugar factory. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 60: 221-232.

Bowles, J.B., Pelaez, C.E., 1995. Fuzzy logic prioritization of failures in a system failure mode, effects and criticality analysis. *Reliability Engineering and System Safety*, 50(2): 203-213.

Cândeă, G., Kifor, S., Constantinescu, C., 2014. Usage of case-based reasoning in FMEA-driven software. *Procedia CIRP*, 25: 93-99.

Corporation, C., Company, F.M., Corporation, G.M., 2008. Advanced Product Quality Planning (Apqp) And Control Plan, 2. Baskı, s. 111.

Dyah Susanti, H., 2023. Risk prevention of plywood product defects using Failure Mode Effect Analysis (FMEA) in the Indonesian plywood processing industry. *Wood Material Science & Engineering*, 18(6): 2049-2059.

Gilchrist, W., 1993. Modelling failure modes and effects analysis. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 10(5).

Gueorguiev, T., Kokalarov, M., Sakakushev, B., 2020. Recent trends in FMEA methodology. *2020 7th International Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering (EE&AE)*, Konferans Bildiri Kitabı, 12-14 Kasım, Ruse, Bulgaristan, s. 1-4.

Hoyle, D., 2005. Automotive Quality Systems Handbook (Second Edition ed.).

Ishikawa, K., 1982. Guide to Quality Control.

- Johnson, K.G., Khan, M.K., 2003. A study into the use of the process failure mode and effects analysis (PFMEA) in the automotive industry in the UK. *Journal of Materials Processing Technology*, 139(1): 348-356.
- Kök, N., Yıldız, M.S., 2023. New generation FMEA method in automotive industry: an application. *Journal of Turkish Operations Management*, 7(1): 1630-1643.
- Kornek, D., Bert, C., 2024. Process failure mode and effects analysis for external beam radiotherapy: Introducing a literature-based template and a novel action priority. *Zeitschrift für Medizinische Physik*, 34(3): 358-370.
- Liu, H.C., Chen, X.Q., Duan, C.Y., Wang, Y.M., 2019. Failure mode and effect analysis using multi-criteria decision making methods: A systematic literature review. *Computers & Industrial Engineering*, 135: 881-897.
- Lundgren, M., Hedlind, M., Kjellberg, T., 2015. Model-driven process planning and quality assurance. *Procedia CIRP*, 33: 209-214.
- Maisano, D.A., Franceschini, F., Antonelli, D., 2020. dP-FMEA: An innovative failure mode and effects analysis for distributed manufacturing processes. *Quality Engineering*, 32(3): 267-285.
- Mikos, W.L., Ferreira, J.C.E., Botura, P.E.A., Freitas, L.S., 2011. A system for distributed sharing and reuse of design and manufacturing knowledge in the PFMEA domain using a description logics-based ontology. *Journal of Manufacturing Systems*, 30(3): 133-143.
- Mokhtarzadeh, M., Rodríguez-Echeverría, J., Zeren, Z., Van Noten, J., Gautama, S., 2024. Pure data-driven machine learning challenges for pFMEA: A case study. *IFAC-PapersOnLine*, 58(19): 658-663.
- Ouyang, L., Che, Y., Yan, L., Park, C., 2022. Multiple perspectives on analyzing risk factors in FMEA. *Computers in Industry*, 141: 103712.
- Pantazopoulos, G., Tsinopoulos, G., 2005. Process failure modes and effects analysis (PFMEA): A structured approach for quality improvement in the metal forming industry. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 5(2): 5-10.
- Pazireh, E., Sadeghi, A.H., Ahadi, H., 2017. Design and application of a quality control system using FMEA approach in textile production lines. *Journal of Textiles and Apparel*, 17: 89-94.
- Plinta, D., Golinska, E., Dulina, L., 2021. Practical application of the new approach to FMEA method according to AIAG and VDA reference manual. *Communications - Scientific Letters of the University of Zilina*, 23(4): B325-B335.
- Pop, L.D., Elod, N., 2015. Improving product quality by implementing ISO / TS 16949. *Procedia Technology*, 19: 1004-1011.
- Scipioni, A., Saccarola, G., Centazzo, A., Arena, F., 2002. FMEA methodology design, implementation and integration with HACCP system in a food company. *Food Control*, 13(8): 495-501.
- Shah, L.A., Etienne, A., Siadat, A., Vernadat, F.B., 2013. A process-oriented risk assessment methodology for manufacturing processes. *IFAC Proceedings Volumes*, 46(9): 216-221.
- Stamatis, D.H., 2003. Failure Mode and Effect Analysis. Quality Press.
- Trappey, A. J.C., Hsiao, D.W., 2008. Applying collaborative design and modularized assembly for automotive ODM supply chain integration. *Computers in Industry*, 59(2): 277-287.
- VDA, AIAG., 2019. AIAG & VDA FMEA Handbook-Automotive Industry Action Group, AIAG ve VDA, 237.
- Wang, L., Hodges., 2021. Automatic modeling and fault diagnosis of car production lines based on first-principle qualitative mechanics and semantic web technology. *Advanced Engineering Informatics*, 49: 101-248.

Yousaf, M.U., Aized, T., Shabbir, A., Ahmad, M., Nabi, H.Z., 2023. Automobile rear axle housing design and production process improvement using failure mode and effects analysis (fmea). *Engineering Failure Analysis*, 154: 107649.

Zheng, X., He, Y., Chen, Z., Li, J., Lu, J., Yu, S., 2025. Built-in reliability-oriented R-KQC intelligent identification based on SA-HHO and proactive reliability assurance strategy. *Computers & Industrial Engineering*, 200: 110817.

Atf Şekli: Mendi, T.C., Aydoğan, H., 2025. Motor Montaj Fabrikasında Subap Sarma Sorunu Üzerine Proses Hata Türleri ve Etkileri Analizi (PFMEA) ve İyileştirmeleri Çalışması. *MAS Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 10(1): 161–178.

DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15099329>.

To Cite: Mendi, T.C., Aydoğan, H., 2025. Process Failure Modes and Effects Analysis (PFMEA) and Improvements on Valve Seizure Issue in Engine Assembly. *MAS Journal of Applied Sciences*, 10(1): 161–178.

DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15099329>.

Mercimek Sapı Pirolizinin Kinetik ve Termal Özelliklerinin İncelenmesiHakan YILDIZ^{1*} ¹ Harran Üniversitesi Bozova Meslek Yüksekokulu Çevre Koruma Teknolojileri Bölümü, Şanlıurfa*Corresponding author: hyildiz@harran.edu.tr**Geliş Tarihi (Received):** 12.01.2025**Kabul Tarihi (Accepted):** 26.02.2025**Özet**

Yenilenemeyen enerji kaynaklarının tükenmesi ve çevresel sorunların artması, biyokütle bazlı yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmaktadır. Biyokütle, hayvansal, bitkisel ve mikrobiyal atıklardan elde edilen, çevre dostu ve sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır. Bu çalışma, mercimek sapı biyokütlesinin piroliz süreçlerini inceleyerek kinetik ve termodinamik özelliklerini belirlemeyi amaçlamaktadır. Mercimek sapının termal bozunma davranışı, farklı ısıtma hızlarında (3 °C dk⁻¹, 5 °C dk⁻¹, 7 °C dk⁻¹ ve 10 °C dk⁻¹) gerçekleştirilmiş termogravimetrik analiz (TGA) deneyleri ile değerlendirilmiştir. TG ve DTG grafikleri kullanılarak mercimek sapının piroliz aşamaları belirlenmiş ve bozunma mekanizmaları analiz edilmiştir. Kinetik hesaplamalar, hem model içermeyen Flynn-Wall-Ozawa (FWO) ve Kissinger-Akahira-Sunose (KAS) yöntemleri hem de model bazlı Coats-Redfern yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, mercimek sapı için aktivasyon enerjileri belirlenmiş ve reaksiyon mekanizmaları ortaya konmuştur. Bu çalışma, mercimek sapı gibi tarımsal atıkların biyoyakıt üretimi için değerlendirilmesine katkıda bulunarak, yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesine yönelik önemli bilimsel veriler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Mercimek sapı, piroliz, biyokütle, kinetik analiz**Investigation of the Kinetic and Thermal Properties of Lentil Stalk Pyrolysis****Abstract**

The depletion of non-renewable energy sources and the increasing environmental issues have heightened interest in biomass-based renewable energy sources. Biomass is an environmentally friendly and sustainable energy source that can be derived from animals, plants, and microbial waste. This study aims to investigate the pyrolysis processes of lentil stalk biomass and determine its kinetic and thermodynamic properties. The thermal degradation behavior of lentil stalk was evaluated using thermogravimetric analysis (TGA) experiments conducted at different heating rates (3 °C min⁻¹, 5 °C min⁻¹, 7 °C min⁻¹, and 10 °C min⁻¹). The pyrolysis stages of lentil stalk were identified using TG and DTG graphs, and decomposition mechanisms were analyzed. Kinetic calculations were performed using both model-free methods, including Flynn-Wall-Ozawa (FWO) and Kissinger-Akahira-Sunose (KAS), and the model-based Coats-Redfern method. The analysis determined the activation energies for lentil stalk and identified the reaction mechanisms. This study provides valuable scientific data for the development of renewable energy sources by contributing to the evaluation of agricultural waste, such as lentil stalk, for biofuel production.

Keywords: Lentil stalk, pyrolysis, biomass, kinetic analysis

1. Giriş

Fosil yakıtların yoğun kullanımı, hava kirliliği, küresel ısınma ve sera gazı emisyonları gibi ciddi çevresel sorunlara yol açarken, rezervlerin hızla tükenmesine neden olmaktadır (Taşar, 2021). Bu durum, biyokütle bazlı yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmıştır. Biyokütle, hayvansal, bitkisel ve mikrobiyal atıklardan elde edilebilen, düşük karbon emisyonuna sahip sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır (Parenti ve ark., 2024). Biyokütle, küresel yenilenebilir enerji üretiminin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır ve biyodizel, biyoetanol ve biyogaz gibi biyoyakıtların üretiminde kullanılmaktadır. Piroliz, gazlaştırma ve hidrotermal sıvılaştırma gibi termokimyasal dönüşüm süreçleri, biyokütlenin enerji verimliliğini artırarak çevresel etkilerini minimize etmektedir (Giertl ve ark., 2024). Ancak, bazı dönüşüm teknikleri yüksek maliyetleri ve teknik zorlukları nedeniyle ekonomik açıdan sınırlılıklar içerebilmektedir (Shahzad ve ark., 2024). Piroliz, düşük sermaye gereksinimi, ürünlerin depolanabilirliği ve taşınabilirliği gibi avantajlarıyla fosil yakıtlara alternatif bir yöntem olarak öne çıkmaktadır (Teğin ve ark., 2020). Bu süreçte elde edilen gaz fazı enerji kaynağı olarak değerlendirilebilirken, biyokömür ise toprak iyileştirme, katalizör ve katı yakıt gibi çeşitli uygulamalarda kullanılabilir. Bu özellikler, pirolizi biyokütle dönüşümü için sürdürülebilir ve verimli bir teknoloji haline getirmektedir (Díaz ve ark., 2024).

Termokimyasal dönüşüm süreçleri, biyokütleyi biyoyakıtlara dönüştürerek fosil yakıt bağımlılığını azaltmada kritik bir rol oynamaktadır. Piroliz, hidrotermal sıvılaştırma ve gazlaştırma gibi yöntemler biyokütlenin yapısal özelliklerini optimize ederek sürdürülebilir enerji üretimine katkı sağlamaktadır (Tian ve ark., 2021). Piroliz, yüksek sıcaklık ve oksijensiz ortamda biyokütleyi gaz, biyo-yağ ve biyokömüre dönüştüren etkili bir yöntemdir. Lignoselülozik biyokütle, algler ve belediye atıkları gibi hammaddelere uygulanabilen bu süreç, geleneksel yakmaya kıyasla daha düşük

NO_x ve SO_x emisyonları üreterek çevresel sürdürülebilirliği artırmaktadır (Tarragona ve ark., 2021). Pirolizle elde edilen biyokömür, karbon nanolif üretimi ve enerji depolama malzemelerinin geliştirilmesinde değerlendirilmektedir. Lignoselülozik biyokütle; selüloz, hemiselüloz ve ligninden oluşmakta olup, kimyasal bileşimi kaynağına bağlı olarak değişmektedir. Selüloz genellikle biyokütlenin %40-50'sini, hemiselüloz %20-40'ını, lignin ise %10-40'ını oluşturmaktadır (Yang ve ark., 2019). Selüloz genellikle biyokütlenin en büyük fraksiyonunu oluşturarak %40-50 aralığında değişirken, hemiselüloz %20-40, lignin ise %10-40 oranında bulunur. Bu bileşenlerin incelenmesi, biyokütlenin kimyasal yapısının anlaşılması ve termokimyasal dönüşüm süreçlerinin optimize edilmesi açısından kritik bir rol oynamaktadır (Muhtaba ve ark., 2023). Termogravimetrik analiz (TGA), piroliz kinetiğinin incelenmesinde yaygın kullanılan bir yöntemdir. Ancak yavaş ısıtma hızları, izotermal analizlerde kütle kaybına neden olarak kinetik parametrelerin doğruluğunu etkileyebilir (Şahin ve ark., 2016). Bu nedenle, izotermal olmayan yöntemler daha güvenilir sonuçlar sunarak süreç optimizasyonuna katkı sağlamaktadır (Aboelela ve ark., 2023). İzotermal olmayan yöntemler, model içeren ve içermeyen yaklaşımları kapsamakta olup, Kissinger-Akahira-Sunose (KAS), Ozawa-Flynn-Wall (OFW) ve Friedman yöntemleri öne çıkmaktadır (Gong ve Yang, 2024). Kinetik analiz, aktivasyon enerjisi (E_a), frekans faktörü (A) ve reaksiyon derecesi (n) gibi parametreleri belirleyerek termal bozunma mekanizmalarının anlaşılmasına yardımcı olmaktadır. TGA verileri, biyokütlenin termokimyasal süreçler için uygunluğunu değerlendirerek süreç verimliliğini artırmaya yönelik önemli bilgiler sunmaktadır (Alvarado Flores ve ark., 2022).

Bu çalışmada, mercimek sapı biyokütlesinin piroliz süreçleri detaylı bir şekilde incelenmiş ve bu süreçlere ilişkin kinetik parametreler ile termal özelliklerin hesaplanması amaçlanmıştır. Termogravimetrik analiz yöntemi ile farklı ısıtma hızlarında (3 °C dk⁻¹, 5 °C dk⁻¹, 7 °C dk⁻¹

¹ ve 10 °C dk⁻¹) yapılan deneyler sonucunda, TG ve DTG grafikleri üzerinden piroliz davranışları analiz edilmiştir. Kinetik analizler, eş dönüşümlü modele dayanmayan Flynn-Wall-Ozawa (FWO) ve Kissinger-Akahira-Sunose (KAS) yöntemleri ile modele dayalı Coats-Redfern yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiş, aktivasyon enerjileri ve reaksiyon mekanizmalarına dair önemli veriler elde edilmiştir. Bu kapsamlı inceleme, mercimek sapı biyokütlesinin piroliz süreçlerinin tasarımı, geliştirilmesi ve optimizasyonu için gerekli bilimsel temeli sağlamış, biyokütle tabanlı enerji üretimi için sürdürülebilir alternatifler sunulmasına katkı sağlamıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1 Materyal

Biyokütle kaynağı olarak mercimek sapı kullanılarak hazırlanmıştır. Mercimek sapları, Siirt ilindeki tarım faaliyetlerinden temin edilmiştir. Ham maddeler, yüzeylerinde birikmiş toz ve kirlere arındırılmak üzere yıkanmış ve 80 °C'de kurutulmuştur. Kurutulan ham maddeler, bir öğütücü yardımıyla ince bir şekilde öğütülmüş ve belirli bir boyut aralığı elde etmek için elenmiştir. Deneysel çalışmalarda, 325-500 µm arasında değişen partikül boyutları tercih edilmiştir. Öğütülüp uygun parçacık

boyutunda ayrılan mercimek sapı numuneleri, daha sonra 105 °C sıcaklıkta 24 saat boyunca etüvde kurutulmuştur. Etüvden çıkarılan numuneler, desikatörde soğutulduktan sonra cam numune şişelerinde hava ile teması kesilecek şekilde saklanmıştır. Elementel ve ısı değer analizleri sırasıyla LECO CHNS-932 (ABD) ve IKA C5000 (Almanya) cihazları ile gerçekleştirilmiştir. Mercimek saplarının elementel analiz, ısı değer ve ASTM E1131-20 ile ASTM D1102-84-2013 standartlarına uygun yapılan kısa analiz sonuçları, Tablo 1'de detaylı olarak sunulmuştur.

2.2 Termogravimetrik analiz (TGA)

Termogravimetrik analiz, hammaddelerin kimyasal ve fiziksel yapılarında meydana gelen değişimlerin, sabit bir ısıtma hızıyla artan sıcaklığın bir fonksiyonu olarak veya sabit sıcaklık ve/veya sabit kütle kaybı altında zamanın bir fonksiyonu olarak incelendiği bir termal analiz yöntemidir. Mercimek saplarının izotermal olmayan termogravimetrik analizleri, EXSTAR 6000 TG/DTA 6300 cihazı kullanılarak, 3 °C dk⁻¹, 5 °C dk⁻¹, 7 °C dk⁻¹ ve 10 °C dk⁻¹ hızlarında yapılmıştır.

2.3 Kinetik hesaplamalar

Piroliz işlemi sırasında mercimek sapı biyokütlesi, çar, uçucu maddeler ve gazlara dönüşmektedir (Eşitlik 1) (Gai ve ark., 2013):

$$\text{Biyokütle} \rightarrow \text{Gazı alınmış katı} + \text{Uçucu madde} \quad (1)$$

İzotermal olmayan koşullarda heterojen katı faz kinetik reaksiyonu Eşitlik 2'de ifade edilmektedir (Gao ve ark., 2017):

$$\frac{da}{dt} = k(T)f(a) \quad (2)$$

Bu bağlamda, da/dt , piroliz reaksiyonunun hızını ifade ederken; $f(a)$, reaksiyonun modeli (mekanizması) ve $k(T)$, sıcaklığa bağlı reaksiyon hız sabiti olarak tanımlanır. Reaksiyon hız sabitinin sıcaklığa bağlı değişimini açıklamak için Arrhenius denklemi (Eşitlik 3) kullanılmaktadır.

$$k(T) = Ae^{(-\frac{Ea}{RT})} \quad (3)$$

Bu ifadede, A Pre-exponansiyel faktör (frekans çarpanı); E_a , görünür aktivasyon enerjisi; R , gaz sabiti; ve T , mutlak sıcaklık (K) olarak tanımlanmaktadır. Eğer Eşitlik 3, Eşitlik 2 'de yerine konulursa, bu işlem sonucunda Eşitlik 4 elde edilir.

$$\frac{da}{dt} = Ae^{(-\frac{E_a}{RT})}f(a) \quad (4)$$

Isıtma hızı $\beta = dT/dt$ izotermal olmayan koşullar altında Eşitlik 4'te yerine konulduğunda, diferansiyel yöntemlerin temelini oluşturan genel Eşitlik 5 elde edilir.

$$\frac{da}{dT} = \frac{A}{\beta}e^{(-\frac{E_a}{RT})}f(a) \quad (5)$$

Dönüşüm oranı a , termal bozunmaya uğrayan biyokütlenin oranını temsil eder ve başlangıç kütlesi (m_i), t anındaki kütlesi (m_t) ve son kütlesi (m_f) aşağıdaki Eşitlik 6 ile ifade edilir:

$$a = \frac{m_i - m_t}{m_i - m_f} \quad (6)$$

İntegral yöntemler için Eşitlik 6'nın integralinin uygulanmasıyla elde edilir. Bu süreç, reaksiyon kinetiği ve mekanizmalarının incelenmesinde temel bir adım olarak kullanılır (Fong ve ark., 2019).

$$g(a) = \int_0^a \frac{da}{f(a)} = \frac{A}{\beta} \int_{T_0}^T \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) dT = \frac{A}{\beta} \int_0^T \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) dT = \frac{AE}{\beta R} p(x) \quad (7)$$

Eşitlik 7'nin çözümünde, çeşitli yaklaşımlar ve sadeleştirme yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemlerin uygulanması sonucunda, mevcut çalışmada değerlendirilen modelden bağımsız ve modele dayalı integral kinetik yöntemler aşağıda sunulmaktadır.

2.4. Model içermeyen kinetik yöntemler

2.4.1. Flynn-Wall-Ozawa (FWO) yöntemi

Eşitlik 7'nin geliştirilmesi sonucunda türetilen FWO (Flynn-Wall-Ozawa) yöntemine ait Eşitlik 8 aşağıda ifade edilmiştir (Luo ve ark., 2020):

$$\ln \beta = \ln \frac{AE_a}{Rg(a)} - 5,331 - 1,052 \frac{E_a}{RT} \quad (8)$$

FWO yöntemine göre, $1/T$ değerine karşılık $\ln \beta$ grafiği çizildiğinde, elde edilen doğrunun eğiminden aktivasyon enerjisi (E_a) hesaplanabilir.

2.4.2. Kissinger-Akahira-Sunose (KAS) yöntemi

Modelden bağımsız bir başka kinetik analiz yöntemi olan KAS (Kissinger-Akahira-Sunose) yöntemi, aşağıdaki Eşitlik 9 ile tanımlanmaktadır (Bach ve Chen, 2017):

$$\ln \frac{\beta}{T^2} = \ln \left(\frac{AR}{E_a g(a)} \right) - \frac{E_a}{RT} \quad (9)$$

KAS yöntemi, $1/T$ ile $\ln (\beta/T^2)$ arasındaki grafikte elde edilen doğrusal çizginin eğimi kullanılarak aktivasyon enerjisi (E_a) değerinin hesaplanmasını sağlar.

2.5. Model bazlı kinetik yöntem

2.5.1. Coats-Redfern yöntemi

Coats-Redfern yöntemi, model tabanlı bir integral kinetik analiz yöntemidir ve bu yöntemde kullanılan doğrusal denklem aşağıdaki Eşitlik 10 ile ifade edilmektedir (Mehmood ve ark., 2019):

$$\ln \left(\frac{g(a)}{T^2} \right) = \ln \left(\frac{AR}{\beta E_a} \right) - \frac{E_a}{RT} \quad (10)$$

Coats-Redfern yöntemi kullanılarak, farklı reaksiyon dereceleri için tüm ısıtma hızları ve aktif piroliz bölgelerine ait $-1/T$ grafikleri oluşturulmuştur. Bu grafiklerden elde edilen verilere dayanarak her reaksiyon derecesi için doğrusal denklemler türetilmiş ve R^2 değerleri hesaplanmıştır. Korelasyon katsayısı (R^2) en yüksek olan grafikler, ilgili reaksiyon derecesini en iyi temsil eden modeller olarak belirlenmiştir. Bu doğrusal denklemlerin

eğimleri kullanılarak, çalışılan biyokütleler için aktivasyon enerjileri (E_a) hesaplanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Ham madde karakterizasyonu

Mercimek sapının nem, uçucu madde ve kül analizleri gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Tablo 1.'de verilmiştir.

Tablo 1. Ham maddelerin kısa analizleri

Table 1. Brief analysis of raw materials

Analiz %	Mercimek Sapı
Nem	9.0
Uçucu madde	72.5
Kül miktarı	6.0
Sabit karbon miktarı	15.5

Mercimek sapının nem oranının biyokütle türleri arasında orta seviyede olduğu görülmektedir. Uçucu madde oranı, biyokütle özellikleri açısından değerlendirildiğinde yüksek seviyededir. Sabit karbon miktarı,

enerji verimliliği açısından önemli bir parametre olarak öne çıkmaktadır. Kül miktarı ise yakıt olarak değerlendirilmesi durumunda dikkate alınması gereken bir faktördür.

Tablo 2. Ham maddelerin elemental analizleri

Table 2. Elemental analysis of raw materials

Element %	Mercimek Sapı
H	5.32
S	0.00024
C	41.33
N	0.606
O	52.72

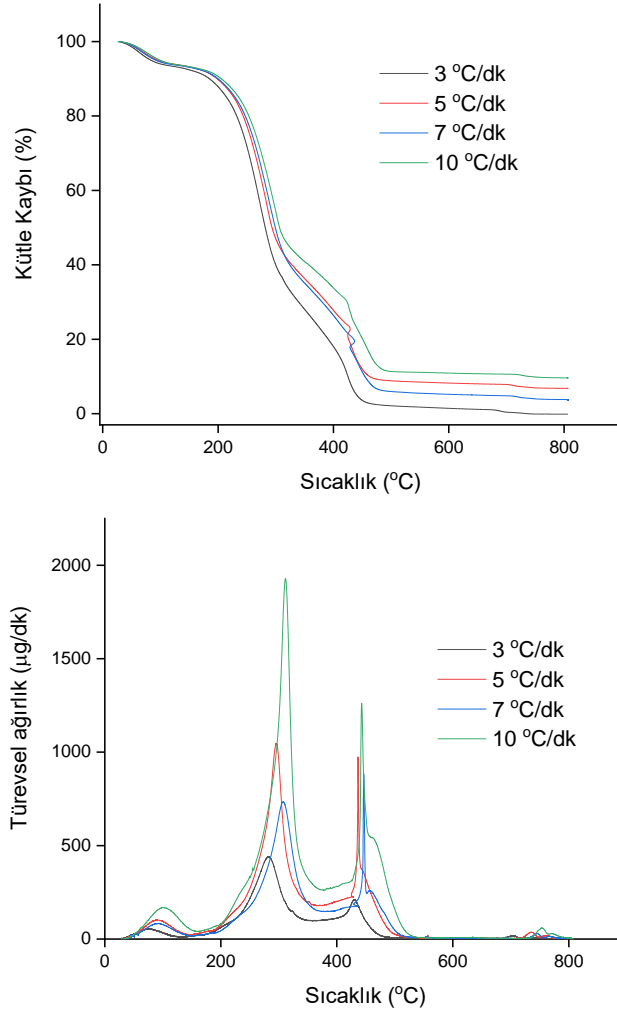
Tablo 2'de mercimek sapının elemental analizi sonucunda, ana bileşenlerin karbon (%41.33) ve oksijen (%52.72) olduğu belirlenmiştir. Hidrojen içeriği %5.32 olup, yanma sürecinde enerji verimliliğini artıran bir faktördür. Kükürt miktarının çok düşük (%0.00024) olması, çevresel etkiler açısından

avantaj sağlarken, azot içeriği (%0.606) düşük NOx emisyonu anlamına gelmektedir. Bu sonuçlar, mercimek sapının biyoyakıt olarak kullanım potansiyelini desteklemekte ve yüksek oksijen içeriği sayesinde iyi bir yanma verimi sunduğunu göstermektedir.

3.2. Termogravimetrik analiz sonuçları

Mercimek sapının termal bozunma analizleri, $3\text{ }^{\circ}\text{C dk}^{-1}$, $5\text{ }^{\circ}\text{C dk}^{-1}$, $7\text{ }^{\circ}\text{C dk}^{-1}$ ve $10\text{ }^{\circ}\text{C dk}^{-1}$

$^{\circ}\text{C dk}^{-1}$ ısıtma hızlarında gerçekleştirilmiş olup, elde edilen TG ve DTG grafikleri Şekil 1'de sunulmuştur.



Şekil 1. Mercimek sapının TG ve DTG eğrileri
Figure 1. TG and DTG curves of lentil stem

Mercimek sapının termogravimetrik (TG) ve diferansiyel termogravimetrik (DTG) analizleri incelendiğinde, biyokütlenin farklı sıcaklık aralıklarında belirgin kütle kayıplarına uğradığı gözlemlenmiştir. İlk kütle kaybı, 40-150 °C arasında gerçekleşmekte olup, bu süreçte biyoküttelede bulunan nemin buharlaşması ve düşük moleküler ağırlıklı uçucu bileşiklerin uzaklaşması etkili olmaktadır. İkinci kütle kaybı, 200-380 °C aralığında meydana gelmekte ve bu bölge biyoküttelede bulunan hemiselüloz ve selülozun termal bozunmasına karşılık gelmektedir. Aynı zamanda, aktif piroliz sürecinin gerçekleştiği bu sıcaklık aralığında, büyük

moleküler ağırlıklı uçucu bileşiklerin ayrışması ve yoğun gaz salınımı gözlenmektedir. Üçüncü kütle kaybı, 400-600 °C arasında ortaya çıkmakta olup, bu aşamada biyoküttelede bulunan ligninin termal bozunması baskın hale gelmektedir. 600 °C'den sonra ise kütle kaybının oldukça yavaşladığı ve biyokütlenin büyük ölçüde karbonizasyon sürecine girdiği görülmektedir. Mercimek sapının termal bozunma davranışı incelendiğinde, hemiselüloz, selüloz ve lignin parçalanma bölgelerinin belirgin sıcaklık aralıklarında gerçekleştiği ve piroliz sürecinde farklı oranlarda uçucu madde salınımının meydana geldiği belirlenmiştir. Mercimek

sapının lignin içeriğinin bozunma sürecine etkisinin değişkenlik gösterebileceği ve aktif piroliz bölgesinde farklılaşan kütle kaybı oranlarının biyokütlenin yapısal özellikleri ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Bu bulgular, mercimek sapının termal dönüşüm süreçlerine yönelik değerlendirmeler için önemli veriler sunmakta ve biyokütlenin piroliz davranışlarının anlaşılmasına katkı sağlamaktadır.

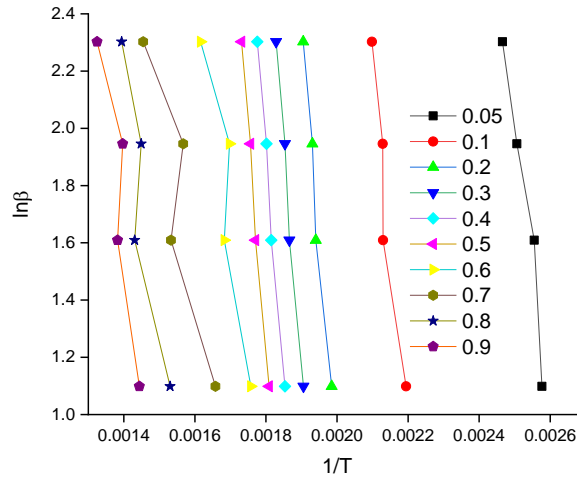
3.3. Kinetik hesaplamalar

Mercimek sapının izotermal olmayan koşullarda gerçekleştirilen termogravimetrik analizlerinden elde edilen veriler kullanılarak kinetik hesaplamalar yapılmıştır. Bu

hesaplamalarda model içermeyen eş dönüşümlü yöntemler olan FWO, KAS ve model tabanlı Coats-Redfern yöntemleri uygulanmıştır.

3.3.1. FWO yöntemi

Bu yöntemde, belirli dönüşüm oranları (α : 0.05-0.9) için Eşitlik 8 kullanılarak her bir dönüşüme karşılık gelen aktivasyon enerjisi hesaplanmıştır. Ayrıca, elde edilen veriler doğrultusunda ortalama aktivasyon enerjisi belirlenmiştir. Aktivasyon enerjisi, $\ln \beta$ ile $1/T$ grafiğinin eğimi kullanılarak hesaplanmış olup, her dönüşüm oranına ait grafikler Şekil 2'de sunulmuştur.



Şekil 2. Dönüşümlerin FWO grafikleri
Figure 2. FWO charts of conversions

Şekil 2'de verilen $1/T - \ln \beta$ grafiklerinde her bir dönüşüm değeri için elde edilen doğrusal regresyon eşitlikleri, bu eşitliklerin

korelasyon katsayıları (R^2) ve eğimlerden hesaplanan E_a değerleri Tablo 3'te sunulmaktadır.

Tablo 3. Mercimek sapı için FWO yöntemi kullanılarak farklı dönüşüm değerleri için elde edilen doğrusal denklemler, R^2 değerleri ve aktivasyon enerjileri

Table 3. Linear equations, R^2 values and activation energies obtained for different conversion values using the FWO method for lentil stalks

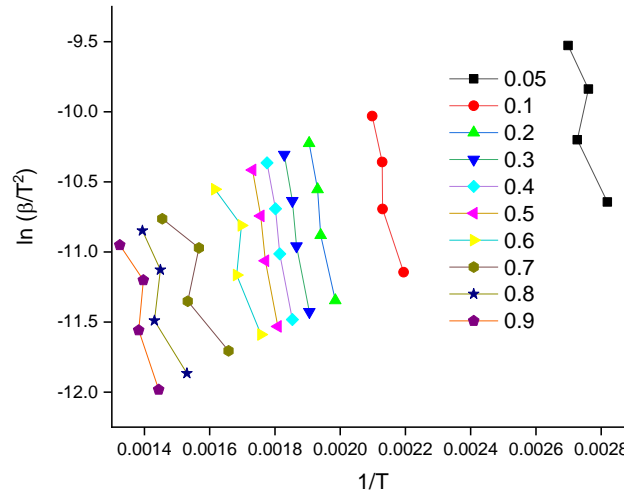
Dönüşüm(α)	Doğrusal Denklem	R^2	Aktivasyon Enerjisi (kJ mol ⁻¹)
0.05	$y = -8410.4x + 24.88$	0.7259	69.92407
0.1	$y = -12078x + 27.559$	0.9111	100.4165
0.2	$y = -15125x + 31.085$	0.9712	125.7493
0.3	$y = -15852x + 31.277$	0.9859	131.7935
0.4	$y = -15675x + 30.132$	0.9891	130.322
0.5	$y = -15701x + 29.479$	0.9911	130.5381
0.6	$y = -8139x + 15.481$	0.8531	67.66765
0.7	$y = -5497.7x + 10.277$	0.8172	45.70788
0.8	$y = -8116.6x + 13.515$	0.8316	67.48141
0.9	$y = -9530x + 0.14955$	0.8337	79.23242

Mercimek sapının farklı dönüşüm oranları için aktivasyon enerjilerinin Flynn-Wall-Ozawa (FWO) yöntemi ile hesaplandığı Tablo 'da, dönüşüm oranı (α) arttıkça aktivasyon enerjisinin belirli bir noktaya kadar arttığı, ardından azalma eğilimi gösterdiği gözlemlenmektedir. Düşük dönüşüm oranlarında (0.05-0.2), aktivasyon enerjisinin $69.92 \text{ kJ mol}^{-1}$ 'den $125.75 \text{ kJ mol}^{-1}$ 'e yükseldiği görülmektedir. Bu artış, mercimek sapının içeriğinde bulunan selülozun bozunması ile ilişkilendirilebilir. Selülozun termal bozunma sürecinde glikozidik bağların kırılmasıyla aktivasyon enerjisinin arttığı bilinmektedir. Dönüşüm oranının 0.3-0.5 aralığında aktivasyon enerjisinin en yüksek seviyelere ulaştığı (131.79 – $130.53 \text{ kJ mol}^{-1}$) tespit edilmiştir. Bu sıcaklık aralığında, biyokütlenin termal bozunmasında hemiselüloz ve lignin parçalanmasının etkili olduğu düşünülmektedir. Lignin, çapraz bağlı aromatik yapıya sahip olduğundan bozunması için daha yüksek enerji gerekmektedir. Yüksek dönüşüm oranlarında (0.6–0.9), aktivasyon enerjisinin düştüğü ve 67.66 – $79.23 \text{ kJ mol}^{-1}$ seviyelerine gerilediği görülmektedir. Bu düşüş, piroliz sürecinin ilerleyen aşamalarında daha kararlı karbon içeren bileşenlerin kalmasıyla açıklanabilir. Yüksek

dönüşümlerde biyokütlenin büyük ölçüde bozunmuş olması ve kalan materyalin daha az reaktif olması nedeniyle reaksiyon için gerekli enerji azalabilmektedir. Lif yapısındaki bileşenlerin ayrışma sürecine bağlı olarak, mercimek sapının termal bozunma mekanizmasının aktivasyon enerjisi ile dönüşüm oranı arasındaki ilişkisinin değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Düşük dönüşüm oranlarında selülozun ayrışma sürecinde baskın olduğu, orta seviyelerde hemiselüloz ve ligninin daha etkili rol oynadığı, yüksek dönüşümlerde ise bozunma ürünlerinin reaktivitesinin azaldığı gözlemlenmiştir. Elde edilen bulgular, mercimek sapının termal dönüşüm dinamiklerinin daha iyi anlaşılmasına katkı sağlamakta ve biyokütle tabanlı enerji üretim süreçlerine yönelik önemli bilgiler sunmaktadır.

3.3.2. Kas yöntemi

Bu yöntemde aktivasyon enerjisi (E_a), Eşitlik 9 temel alınarak herhangi bir reaksiyon modelinin bilinmesine gerek kalmadan, $1/T - \ln \beta$ grafiğinin eğiminden ($-E_a/R$) hesaplanabilir. Şekil 3, aktif piroliz basamakları için sabit dönüşüm değerlerinde çizilen $1/T - \ln(\beta/T^2)$ grafiklerini sunmaktadır.



Şekil 3. KAS yöntemi için çizilen grafikler
Figure 3. Graphs drawn for the KAS method

Bu grafikten, her bir dönüşüm değeri için elde edilen doğrusal regresyon eşitlikleri, bu eşitliklere ait korelasyon katsayıları (R^2) ve

eğimlerden hesaplanan E_a değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Mercimek sapı için KAS yöntemi kullanılarak farklı dönüşüm değerleri için elde edilen doğrusal denklemler, R^2 değerleri ve aktivasyon enerjileri

Table 4. Linear equations, R^2 values and activation energies obtained for different conversion values using the KAS method for lentil stalks

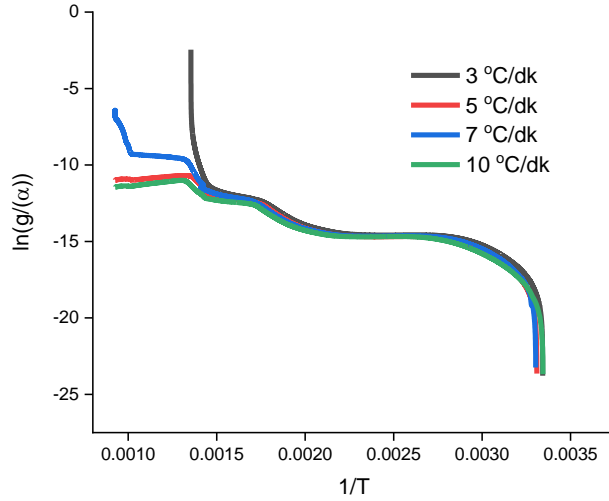
Dönüşüm(α)	Doğrusal Denklem	R^2	Aktivasyon Enerjisi (kJ mol ⁻¹)
0.05	$y=-7685.9x+11.094$	0.6886	63.90057
0.1	$y=-11148x+13.274$	0.8974	92.68447
0.2	$y=-14097x+16.6$	0.9671	117.2025
0.3	$y=-14781x+16.711$	0.9839	122.8892
0.4	$y=-14573x+15.509$	0.9874	121.1599
0.5	$y=-14572x+14.806$	0.9898	121.1516
0.6	$y=-6951.9x+0.7079$	0.8084	57.7981
0.7	$y=-4211.9x+4.6571$	0.7235	35.01774
0.8	$y=-6751.6x+1.5377$	0.7738	56.1328
0.9	$y=-8082.8x+0.2144$	0.7824	67.2004

Mercimek sapının farklı dönüşüm oranları (α) için aktivasyon enerjilerinin Kissinger-Akahira-Sunose (KAS) yöntemi ile hesaplandığı Tablo 'da dönüşüm oranına bağlı olarak aktivasyon enerjisinde belirgin değişimler olduğu gözlemlenmiştir. Düşük dönüşüm oranlarında (0.05-0.2), aktivasyon enerjisinin 63.90 kJ mol⁻¹'den 117.20 kJ mol⁻¹'e yükseldiği belirlenmiştir. Bu artış, biyokütlede bulunan selülozun bozunma sürecine karşılık gelmekte olup, selülozun termal bozunması sırasında glikozidik bağların kırılması nedeniyle daha yüksek enerjiye ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Dönüşüm oranının 0.3-0.5 aralığında aktivasyon enerjisinin en yüksek seviyelere ulaştığı (122.89-121.15 kJ mol⁻¹) tespit edilmiştir. Bu sıcaklık aralığında, hemiselüloz ve lignin yapılarının parçalanmasının etkili olduğu düşünülmektedir. Lignin, daha karmaşık ve çapraz bağlı bir yapıya sahip olduğundan, bozunması için daha fazla enerji gerektirmektedir. Yüksek dönüşüm oranlarında (0.6-0.9) aktivasyon enerjisinin düştüğü ve 57.79-67.20 kJ mol⁻¹ seviyelerine gerilediği görülmektedir. Bu düşüş, biyokütlenin büyük ölçüde bozunmuş olması ve kalan materyalin daha az reaktif hale gelmesiyle açıklanabilir. Yüksek dönüşüm

oranlarında reaksiyon için gerekli enerjinin azalması, karbonizasyon sürecine giren yapının daha kararlı olmasıyla ilişkilendirilmektedir. Genel olarak, mercimek sapının termal bozunma sürecinde aktivasyon enerjisinin dönüşüm oranına bağlı olarak değişkenlik gösterdiği, düşük dönüşümlerde selülozun, orta dönüşümlerde hemiselüloz ve ligninin etkili olduğu, yüksek dönüşümlerde ise bozunma ürünlerinin reaktivitesinin azaldığı belirlenmiştir. Bu veriler, mercimek sapının termal dönüşüm özelliklerinin anlaşılmasına katkı sağlamakta ve biyokütle tabanlı enerji üretimi süreçleri için önemli bilgiler sunmaktadır.

3.3.3. Coats-Redfern yöntemi

Mercimek sapının kinetik analizleri, model bazlı Coats-Redfern yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Kinetik hesaplamalar yapılırken, termal bozunma grafiklerinin ikinci ve üçüncü bölgeleri birlikte değerlendirilmiştir. Bu iki bölge her ne kadar farklı görünse de benzer davranışlar sergiledikleri için tek bir bölge olarak kabul edilerek kinetik hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Mercimek sapı için Coats-Redfern yöntemiyle çizilen grafikler Şekil 4'te sunulmuştur.



Şekil 4. Coats-Redfern kinetik grafiği
Figure 4. Coats-Redfern kinetic graph

Tablo 5. Mercimek sapının Coats-Redfern yöntemi ile farklı ısıtma hızlarında hesaplanan doğrusal denklemler, R^2 değerleri, aktivasyon enerjileri ve reaksiyon mertebeleri

Table 5. Linear equations, R^2 values, activation energies and reaction orders calculated at different heating rates of lentil stems by the Coats-Redfern method

Isıtma hızı (°C/dk)	Doğrusal Denklem	R^2	Aktivasyon Enerjisi /Ea (kJ mol ⁻¹)	Reaksiyon Mertebesi(n)
3	$y=-3239.1x+6.5139$	0.8161	26.92988	2
5	$y=-2779.9x+7.846$	0.9234	23.11209	2
7	$y=-4200.9x+4.4856$	0.8951	34.92628	2
10	$y=-2589.5x+8.4764$	0.9102	21.5291	2

Mercimek sapının farklı ısıtma hızlarında Coats-Redfern yöntemi kullanılarak hesaplanan aktivasyon enerjilerinin yer aldığı Tablo incelendiğinde, ısıtma hızına bağlı olarak aktivasyon enerjisinde dalgalanmalar olduğu gözlemlenmiştir. Isıtma hızı 3 °C dk⁻¹ iken aktivasyon enerjisi 26.93 kJ mol⁻¹ olarak hesaplanmış, 5 °C dk⁻¹ hızında 23.11 kJ mol⁻¹ seviyesine düştüğü belirlenmiştir. Ancak, 7 °C dk⁻¹ hızında aktivasyon enerjisinin 34.93 kJ mol⁻¹ seviyesine yükseldiği, ardından 10 °C dk⁻¹ hızında 21.53 kJ mol⁻¹ seviyesine tekrar düştüğü görülmektedir. Bu durum, mercimek sapının termal bozunma mekanizmasının ısıtma hızına bağlı olarak değişiklik gösterebileceğini ve farklı sıcaklık aralıklarında bileşenlerin ayrışma kinetiğinin değişkenlik gösterdiğini düşündürmektedir. Tablodaki R^2 değerleri 0.8161 ile 0.9234 arasında değişmekte olup, genel olarak yüksek değerler göstermektedir. Bu durum, kullanılan Coats-Redfern yönteminin mercimek sapının piroliz kinetik analizinde güvenilir sonuçlar sağladığını göstermektedir. Ayrıca, reaksiyon

mertebesinin tüm ısıtma hızları için 2 olarak hesaplanması, mercimek sapının bozunma sürecinde belirli bir reaksiyon kinetiği izlediğini göstermektedir. Sonuç olarak, mercimek sapının aktivasyon enerjisinin ısıtma hızına bağlı olarak değiştiği, özellikle orta ısıtma hızlarında daha yüksek aktivasyon enerjisi gerektirdiği belirlenmiştir. Bu durum, piroliz sürecinin farklı bileşenlerin ayrışma sıcaklıklarına duyarlı olduğunu göstermekte olup, biyokütlenin termal dönüşüm verimliliğini optimize etmek için uygun ısıtma hızlarının belirlenmesinin önemli olduğunu ortaya koymaktadır.

4. Sonuç

Mercimek sapı biyokütlesinin piroliz davranışı izotermal olmayan termogravimetrik analiz yöntemiyle incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, piroliz sürecinin üç ana aşamada gerçekleştiği belirlenmiştir. İlk aşamada nem ve düşük moleküler ağırlıklı bileşiklerin uzaklaştırıldığı, ikinci ve üçüncü aşamalarda ise hemiselüloz, selüloz ve ligninin

termal bozunmaya uğradığı tespit edilmiştir. Aktif piroliz aşamalarında en yüksek kütle kayıplarının 200-500 °C arasında gerçekleştiği gözlemlenmiş, bozunmanın büyük ölçüde 600 °C'nin altında tamamlandığı belirlenmiştir. Mercimek sapının elementel analiz sonuçları, biyokütlenin yüksek uçucu madde içeriğine sahip olduğunu ve düşük kül oranı nedeniyle enerji verimliliği açısından avantaj sunduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, biyokütlenin C ve H içeriğinin fosil yakıtlara kıyasla daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Ancak, bu özellik mercimek sapının biyoyakıt üretimi için uygun bir hammadde olabileceğini göstermektedir. Kinetik analizler model içermeyen Flynn-Wall-Ozawa (FWO) ve Kissinger-Akahira-Sunose (KAS) yöntemleri ile model bazlı Coats-Redfern yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen aktivasyon enerjileri, mercimek sapı bileşenleri için literatürdeki diğer lignoselülozik biyokütlelerle uyumlu aralıklarda bulunmuştur. Elde edilen bulgular, mercimek sapının biyoyakıt üretimi için uygun bir hammadde olabileceğini ve biyokütle bazlı enerji üretimine katkı sağlayabilecek önemli bir kaynak olduğunu göstermektedir. Ayrıca mercimek sapı biyokütlesinin piroliz süreçlerinin tasarımı ve optimizasyonu için bilimsel bir temel oluşturmakta ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik önemli veriler sunmaktadır.

Kaynaklar

- Aboelela, D., Saleh, H., Attia, A.M., Elhenawy, Y., Majozi, T., Bassyouni, M., 2023. Recent advances in biomass pyrolysis processes for bioenergy production: optimization of operating conditions. *Sustainability*, 15(14): 11238.
- Alvarado Flores, J., Alcaraz Vera, J., Ávalos Rodríguez, M., López Sosa, L., Rutiaga Quiñones, J., Pintor Ibarra, L., Márquez Montesino, F., Aguado Zarraga, R., 2022. Analysis of pyrolysis kinetic parameters based on various mathematical models for more than twenty different biomasses: a review. *Energies*, 15(18): 6524.
- Bach, Q.V., Chen, W.H., 2017) Pyrolysis characteristics and kinetics of microalgae via thermogravimetric analysis (TGA): A state-of-the-art review. *Bioresource Technology*, 246: 88–100.
- Díaz, L., Fuentes, R., R-Díaz, J., Rodríguez, K. E., González, L.A., 2024. Enhancing sustainable energy production in the canary islands: valorization of local biomass resources through thermochemical processes. *Biomass and Bioenergy*, 188:107327.
- Fong, M.J.B., Loy, A.C.M., Chin, B.L.F., Lam, M.K., Yusup, S., Jawad, Z.A., 2019. Catalytic pyrolysis of *Chlorella vulgaris*: Kinetic and thermodynamic analysis. *Bioresource Technology*, 289: 121689.
- Gai, C., Dong, Y., Zhang, T., 2013. The kinetic analysis of the pyrolysis of agricultural residue under non-isothermal conditions. *Bioresource Technology*, 127: 298–305.
- Gao, W., Chen, K., Zeng, J., Xu, J., Wang, B., 2017. Thermal pyrolysis characteristics of macroalgae *Cladophora glomerata*. *Bioresource Technology*, 243: 212–217.
- Giertl, T., Vitázek, I., Gaduš, J., Kollárik, R., Przydatek, G., 2024. Thermochemical Conversion of Biomass into 2nd Generation Biofuel. *Processes*, 12(12): 2658.
- Gong, J., Yang, L., 2024. A review on flaming ignition of solid combustibles: pyrolysis kinetics, experimental methods and modelling. *Fire Technology*, 60(2): 893–990.
- Luo, L., Guo, X., Zhang, Z., Chai, M., Rahman, M. M., Zhang, X., Cai, J., 2020. Insight into Pyrolysis Kinetics of Lignocellulosic Biomass: Isoconversional Kinetic Analysis by the Modified Friedman Method. *Energy & Fuels*, 34(4): 4874–4881.

- Mehmood, M.A., Ahmad, M.S., Liu, Q., Liu, C.G., Tahir, M.H., Aloqbi, A.A., Tarbiah, N.I., Alsufiani, H.M., Gull, M., 2019. Helianthus tuberosus as a promising feedstock for bioenergy and chemicals appraised through pyrolysis, kinetics, and TG-FTIR-MS based study. *Energy Conversion and Management*, 194: 37–45.
- Mujtaba, M., Fernandes Fraceto, L., Fazeli, M., Mukherjee, S., Savassa, S.M., Araujo de Medeiros, G., do Espírito Santo Pereira, A., Mancini, S.D., Lipponen, J., Vilaplana, F., 2023. Lignocellulosic biomass from agricultural waste to the circular economy: a review with focus on biofuels, biocomposites and bioplastics. *Journal of Cleaner Production*, 402: 136815.
- Parenti, A., Zegada-Lizarazu, W., Dussan, K., López-Contreras, A.M., de Vrije, T., Staritsky, I., Elbersen, B., Annevelink, B., Di Fulvio, F., Oehmichen, K., Dögnitz, N., Monti, A., 2024. Advanced Biofuel Value Chains Sourced by New Cropping Systems With Low iLUC Risk. *GCB Bioenergy*, 16(12).
- Şahin, Ö., Saka, C., Ceyhan, A.A., Baytar, O., 2016. The pyrolysis process of biomass by two-stage chemical activation with different methodology and iodine adsorption. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 38(12): 1756–1762.
- Shahzad, H.M.A., Asim, Z., Khan, S.J., Almomani, F., Mahmoud, K.A., Mustafa, M.R.U., Rasool, K., 2024. Thermochemical and biochemical conversion of agricultural waste for bioenergy production: an updated review. *Discover Environment*, 2(1): 134.
- Tarragona, J., Pisello, A.L., Fernández, C., de Gracia, A., Cabeza, L.F., 2021. Systematic review on model predictive control strategies applied to active thermal energy storage systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 149: 111385.
- Taşar, Ş., 2021. Biyokütle kaynaklarının proximate bileşimleri ile üst ısı değerleri arasında yeni bir denklem geliştirilmesi ve denklemin başarısının araştırılması. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 22(1): 42–51.
- Teğin, Ş.Ö., Şahin, Ö., Baytar, O., İzgi, M.S., 2020. Preparation and characterization of activated carbon from almond shell by microwave-assisted using ZnCl₂ activator. *International Journal of Chemistry and Technology*, 4(2): 130–137.
- Tian, H., Wang, X., Lim, E.Y., Lee, J.T.E., Ee, A.W.L., Zhang, J., Tong, Y.W., 2021. Life cycle assessment of food waste to energy and resources: Centralized and decentralized anaerobic digestion with different downstream biogas utilization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 150: 111489.
- Yang, C., Li, R., Zhang, B., Qiu, Q., Wang, B., Yang, H., Ding, Y., Wang, C., 2019. Pyrolysis of microalgae: A critical review. *Fuel Processing Technology*, 186: 53–72.

Atf Şekli: Yıldız, H., 2025. Mercimek Sapı Pirolozinin Kinetik ve Termal Özelliklerinin İncelenmesi. *MAS Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 10(1): 179–190.

DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15099542>.

To Cite: Yıldız, H., 2025. Investigation of the Kinetic and Thermal Properties of Lentil Stalk Pyrolysis. *MAS Journal of Applied Sciences*, 10(1): 179–190.

DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15099542>.
