THE PROCEEDINGS BOOK

13th INTERNATIONAL CUKUROVA AGRICULTURE AND VETERINARY CONGRESS

September 21–22, 2026 | Adana, Türkiye

EDITORS

Assoc. Prof. Dr. Zeynep DEMİR



ISPEC INSTITUTE

Copyright © Liberty

THE PROCEEDINGS BOOK

13th INTERNATIONAL CUKUROVA AGRICULTURE AND VETERINARY CONGRESS

September 21–22, 2026
Adana, Türkiye

EDITOR

Assoc. Prof. Dr. Zeynep DEMİR

Date: 16.10.2026

Liberty Publishing House

Water Street Corridor New York, NY 10038

www.libertyacademicbooks.com

+1 (314) 597-0372

ALL RIGHTS RESERVED NO PART OF THIS BOOK MAY BE REPRODUCED IN ANY FORM, BY PHOTOCOPYING OR BY ANY ELECTRONIC OR MECHANICAL MEANS, INCLUDING INFORMATION STORAGE OR RETRIEVAL SYSTEMS, WITHOUT PERMISSION IN WRITING FROM BOTH THE COPYRIGHT OWNER AND THE PUBLISHER OF THIS BOOK.

© Liberty Academic Publishers 2026

The digital PDF version of this title is available Open Access and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 license (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits adaptation, alteration, reproduction and distribution for noncommercial use, without further permission provided the original work is attributed. The derivative works do not need to be licensed on the same terms.
adopted by Mariam Rasulan

ISBN: 979-8-89695-574-0

ORGANIZING INSTITUTIONS

CONGRESS ID

Congress Title

13th INTERNATIONAL CUKUROVA AGRICULTURE AND VETERINARY CONGRESS

Date and Place

September 21–22, 2026

Adana, Türkiye

CONGRESS STATISTICS

132	21	57	75
TOTAL ACCEPTED PAPERS	TOTAL REJECTED PAPERS	TOTAL PAPERS FROM TÜRKIYE	TOTAL INTERNATIONAL PARTICIPANTS

PARTICIPANT COUNTRIES (18)

Türkiye, Ukraine, Pakistan, Nigeria, India, Romania, Bangladesh, Morocco, Azerbaijan, Ethiopia, Algeria, Iran, Kazakhstan, Cambodia, Israel, Indonesia, Turkmenistan, Libya

EVALUATION PROCESS

All applications have undergone a double-blind peer review process

PRESENTATION

Oral Presentations

HEAD OF CONGRESS

Assoc. Prof. Dr. Zeynep DEMİR
Directorate of Soil, Fertilizer and Water Resources Central Research Institute, Ankara

ORGANIZING COMMITTEE

Prof. Dr. Pınar AYVAZOĞLU DEMİR
Kırıkkale University

Prof. Dr. Mehmet Fırat BARAN
Siirt University

Prof. Dr. Suat DİKEL
Çukurova University

Prof. Dr. Hakan İNCİ
Bingöl University

Dr. Muhammed FAIZAN
A Central University, INDIA

Dr. Yanlin LI
Hangzhou Normal University, CHINA

Dr. Domenico SANTORO
Mercatorum University, ITALY

Dr. Luca GRILLI
Università di Foggia, ITALY

Dr. Jaehyun PARK
Konkuk University, Department of Industrial Engineering, KOREA

Dr. Natasa Vujica HERZOG
University of Maribor, Faculty of Mechanical Engineering, SLOVENIA

Assoc. Prof. Dr. Nizamettin TURAN
Siirt University, Faculty of Agriculture, Siirt

SCIENTIFIC AND ADVISORY BOARD (NATIONAL)

Prof. Dr. Ahmet Cumhur AKIN
Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Faculty of Veterinary Medicine

Prof. Dr. M. Ferit Can
Mustafa Kemal University, Faculty of Veterinary Medicine

Prof. Dr. Aylin KASIMOĞLU
Kırıkkale University, Faculty of Veterinary Medicine

Prof. Dr. Evren ERDEM
Kırıkkale University, Faculty of Veterinary Medicine

Prof. Dr. Miyase Çınar
Kırıkkale University, Faculty of Veterinary Medicine

Prof. Dr. Çetin Karademir
Siirt University, Faculty of Agriculture

Prof. Dr. Emine Karademir
Siirt University, Faculty of Agriculture

Prof. Dr. Fırat Baran
Siirt University, Faculty of Agriculture

Prof. Dr. Ebru Yıldırım
Kırıkkale University, Faculty of Veterinary Medicine

Prof. Dr. İlkay Aydoğan
Kırıkkale University, Faculty of Veterinary Medicine

Assoc. Prof. Dr. Serdal KURT
Kahramanmaraş Istiklal University

Assoc. Prof. Dr. Sibel KIZIL
Kırıkkale University, Faculty of Veterinary Medicine

Assoc. Prof. Dr. Cevat SİPAHİ
Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Faculty of Veterinary Medicine

Assoc. Prof. Dr. Fatma Tülin ÖZBAŞER BULUT
Tekirdağ Namık Kemal University, Faculty of Veterinary Medicine

Assoc. Prof. Dr. Mehmet KÜÇÜKOFLAZ
Kafkas University, Faculty of Veterinary Medicine

Assoc. Prof. Dr. Güzin İplikçioğlu Aral
Ankara University, Faculty of Veterinary Medicine

Assoc. Prof. Dr. Cemalettin Ayvazoğlu
Ardahan University, Nihat Delibalta Göle Vocational School

Asst. Prof. Dr. Arzu Peker
Ankara University, Faculty of Veterinary Medicine

Asst. Prof. Dr. Aysun KOÇ GÜLTEKİN
Adnan Menderes University, Faculty of Veterinary Medicine

Asst. Prof. Dr. Serpil ADIGÜZEL IŞIK
Kafkas University, Faculty of Veterinary Medicine

Asst. Prof. Dr. Merve BİŞKİN TÜRKMEN
Kırıkkale University, Faculty of Veterinary Medicine

Asst. Prof. Dr. Tuğçe ANTEPLİOĞLU
Kırıkkale University, Faculty of Veterinary Medicine

Asst. Prof. Dr. Hakan MURAT
Cumhuriyet University, Faculty of Veterinary Medicine

Asst. Prof. Dr. Mehmet Naci OKTAY
Kırıkkale University, Faculty of Veterinary Medicine

Dr. Erva ESER
Kırıkkale University, Faculty of Veterinary Medicine

Assist. Prof. Dr. Berfin KILINÇ
Kırıkkale University, Delice Vocationsl School, Department of Plant Animal Production, Kırıkkale

Asst. Prof. Dr. Yasin PARLATIR
Kırıkkale University, Faculty of Veterinary Medicine

Asst. Prof. Dr. Gönül PİRCİ
Kırıkkale University, Faculty of Veterinary Medicine

Asst. Prof. Dr. Sinan VICIL
Tekirdağ Namık Kemal University, Faculty of Veterinary Medicine

Asst. Prof. Dr. Bora ÖZARSLAN
Kırıkkale University, Faculty of Veterinary Medicine

Asst. Prof. Dr. Seyfettin TUNCEL
Kırıkkale University, Faculty of Veterinary Medicine

Asst. Prof. Dr. Gökhan Şen
Kırıkkale University, Faculty of Veterinary Medicine

Dr. Esra BİLİCİ
Uşak University, Eşme Vocational School

SCIENTIFIC AND ADVISORY BOARD (INTERNATIONAL)

Dr. Abdul Khaliq
University of Agriculture, Department of Agronomy, Faisalabad, PAKISTAN

Dr. Ajar Nath Yadav
Eternal University, Department of Biotechnology, Himachal Pradesh-INDIA

Dr. Barbara Wiśniowska-Kielian
University of Agriculture in Krakow, Faculty of Agriculture and Economics, Department of Agricultural and Environmental Chemistry, Krakow-POLAND

Dr. Hab. Barbara Sawicka
University of Life Sciences in Lublin, Faculty of Agrobioengineering, Department of Plant Production Technology and Commodity Sciences, Lublin-POLAND

Dr. Brygida Klemens
Opole University of Technology, Faculty of Economics and Management, Opole-POLAND

Dr. Fahrurrozi Fahrurrozi
University of Bengkulu, Faculty of Agriculture, Dept. of Crop Production, Bengkulu-INDONESIA

Dr. Herák David
Czech University of Life Sciences Prague, CZECH REPUBLIC

Dr. Ali Mekki
University of Sfax, Biological Engineering-Environmental Bioprocesses and Soil Science, Sfax-TUNISIA

Dr. Ashokkumar Vallabhbhai Rajani
Junagadh Agricultural University, College of Agricultuew, Dept. of Agril. Chem. & Soil Science, Gujarat-INDIA

Dr. Babak SAFAEI
Tsinghua University, CHINA

M.Sc. Benjamin Bantchina
Bursa Uludag University, Faculty of Agriculture, Department of Biosystems Engineering, Bursa-Türkiye

Dr. Grzegorz Pączka
Rzeszów University, Department of Natural Theories of Agriculture and Environmental Education, Rzeszów, POLAND

Dr. Faisal SULTAN
Hazara University, PAKISTAN

Dr. Hüseyin Bozdağlar
Girne American University, School of Tourism and Hospitality, Cyprus

Dr. Irshad Bibi
University of Agriculture, Faculty of Agriculture, Institute of Soil and Environmental Sciences, Faisalabad-PAKISTAN

Dr. Iwan Setiawan, S.P., M.Si.
Department of Agricultural Economics, Agricultural Faculty. Universitas Padjadjaran. Jl. Raya Bandung-Sumedang km 21. Jatinangor. West Java. INDONESIA

Dr. Jam Nazeer Ahmad
University of Agriculture, Faculty of Agriculture, Department of Entomology, Faisalabad-PAKISTAN

Dr. Khalid Hussain
University of Agriculture, Faculty of Agriculture, Department of Agronomy, Faisalabad-PAKISTAN

Ph.D. Kusumiyati KUSUMIYATI
Agronomy Department, Faculty of Agriculture, Universitas Padjadjaran Jl. Raya Bandung-Sumedang, Jatinangor. West Java, INDONESIA

Dr. Mazhar Rafique
University of Haripur, Faculty of Agriculture Sciences, Department of Soil & Climate Sciences-PAKISTAN

Dr. Medeuova Galiya
Kazakh National Women's Pedagogical Universty, KAZAKHSTAN

Dr. Md. Iqbal HOSSAIN
Bangladesh University, BANGLADESH

Dr. Muhammad Arshad
University of Agriculture, Faculty of Agriculture, Department of Entomology, Faisalabad-PAKISTAN

Dr. Muhammad SAJJAD
University of Agriculture, Faculty of Agriculture, Faisalabad, Pakistan

Dr. Muhammad Shahbaz Naeem
University of Agriculture, Faculty of Agriculture, Department of Agronomy, Faisalabad-PAKISTAN

Dr. Mohammad Mehdizadeh
Univesity of Mohaghegh, Department of Agronomy and Plant Breeding, Ardabili-IRAN

Dr. Muhammad Zahid Ihsan
Islamia Univeristy of Bahawalpur, Cholistan Institute of Desert Studies, Bahawalpur-PAKISTAN

Dr. Muhammad Adnan
University of Swabi, Department of Agriculture, Swabi-PAKISTAN

Dr. Muhammad Zubair Siddiqi
Hankyong National University, Department of Biotechnology, SOUTH KOREA

Dr. Muhammad Nurdin YUSUF
Agribusiness Department. Agricultrural Faculty. University of Galuh. Jl. R.E. Martadinata Mekarjaya, Kec. Baregbeg. Kab. Ciamis. West Java, INDONESIA

Dr. Mushtaque Ahmed Jatoi
University of Zagreb, Department of Pomology, Zagreb, Croatia, Beijing, CHINA

Dr. Murat Akkaya
Girne American Universty, Vocational School, CYPRUS

Dr. Nabeel Khan Niazi
University of Agriculture, Faculty of Agriculture, Institute of Soil and Environmental Sciences, Faisalabad-PAKISTAN

Dr. Niteesh Kumar Upadhyay
Galgotias University and South Ural State University RUSSIA

Dr. Rana Nadeem Abbas
University of Agriculture, Faculty of Agriculture, Department of Agronomy, Faisalabad-PAKISTAN

Dr. Safdar Bashir
Ghazi University, Faculty of Agricultural Sciences, Department of Soil and Environmental Sciences, Dera Ghazi Khan-PAKISTAN

Dr. Sardar Alam Cheema
University of Agriculture, Faculty of Agriculture, Department of Agronomy, Faisalabad-PAKISTAN

Dr. S. G. Antony Godson
Department of Biotechnology, Hindusthan College of Arts & Science, Coimbatore, Tamilnadu, INDIA

Dr. Shah Fahad
University of Haripur, Department of Agronomy, Haripur-PAKISTAN

Dr. Saddam Hussain
University of Agriculture, Faculty of Agriculture, Department of Agronomy, Faisalabad-PAKISTAN

Dr. Tahir Igbal
Arid Agriculture University, Rawalpindi, PAKISTAN

Dr. Viliana Vasileva
Agricultural Academy, Institute of Forage Crops, Forage Production and Livestock Department, Pleven-BULGARIA

Dr. Yar Zar Chit
Sagaing University, MYANMAR

Dr. Zhongbing Chen
Czech University of Life Sciences Prague, Faculty of Environmental Sciences, Prague-CZECH REPUBLIC

Dr. Zizis Vryzas
Democritus University, Thrace School of Agricultural & Forestry Sciences, Department of Agricultural Development, Orestiada-GREECE

Dr. Zulfiqar Ahmad Dasti
University of Agriculture, Faculty of Agriculture, Institute of Soil and Environmental Sciences, Faisalabad-PAKISTAN

CONGRESS COORDINATOR

Prof. Dr. Seyithan SEYDOŞOĞLU

13th INTERNATIONAL CUKUROVA AGRICULTURE AND VETERINARY CONGRESS

September 21-22, 2026 / Adana, Türkiye

CONFERENCE PROGRAM

Zoom Meeting ID: ***858 1117 0419*** */ Zoom Passcode:* ***123456***
https://us02web.zoom.us/j/85811170419?pwd=ywNJR2TKsxKiJunJr23gQInzAAvcLm.1

Important, Please Read Carefully (for online participants)

- *To be able to attend a meeting online, login via https://zoom.us/join site, enter ID "Meeting ID or Personal Link Name" and solidify the session.*
- *The Zoom application is free and no need to create an account.*
- *The Zoom application can be used without registration.*
- *The application works on tablets, phones and PCs.*
- *The participant must be connected to the session 5 minutes before the presentation time.*
- *All congress participants can connect live and listen to all sessions.*
- *Moderator is responsible for the presentation and scientific discussion (question-answer) section of the session.*

Points to Take into Consideration - TECHNICAL INFORMATION (for online participants)

- *Make sure your computer has a microphone and is working.*
- *You should be able to use screen sharing feature in Zoom.*
- *Attendance certificates will be sent to you as pdf at the end of the congress.*
- *Requests such as change of place and time will not be taken into consideration in the congress program.*
- *Before you login to Zoom please indicate your hall number, name and surname:* ***exp. H-5, Radmila Jani***

***

21.09.2026 / ONLINE / SESSION-1 / HALL-1

Ankara Local Time: 10:00-12:00

Zoom Meeting ID: 858 1117 0419 / Zoom Passcode: 123456

HEAD OF SESSION: Assist. Prof. Dr. Erhan KAHYA

Authors	Affiliation	Presentation Title
Erhan KAHYA	*Tekirdağ Namık Kemal University*	Learning-dynamics-oriented optimization of yolov12 for green bean detection
Ebru AKIN	*Erciyes University*	Effects of Time of Day of Harvest on Essential Oil Yield and Chemical Composition in Medicinal and Aromatic Plants
Ahmet Cihat TUNÇ Sercan Hüseyin BAYENDUR	*Afyon Kocatepe University*	Evaluation of the relationships between homocysteine, neutrophil-to-lymphocyte ratio, and acid-base parameters in neonatal calves with diarrhea
Fatih BÜYÜKFİLİZ Korkmaz BELLİTÜRK Bekir AÇIKBAŞ	*Tekirdağ Viticulture Research Institute*	Assessment Of Drought And Climate Conditions In Turkiye: The Case Of Süleymanpaşa District, Tekirdağ Province
Fatih BÜYÜKFİLİZ Korkmaz BELLİTÜRK	*Tekirdağ Viticulture Research Institute*	Evaluation Of Microplastics In Agricultural Production
Aydemir BARIŞ Cenk YÜCEL Ekrem ATAKAN	*Directorate of Plant Protection Central Research Institute*	Thrips (Thysanoptera) Species Associated With Cumin (*Cuminum cyminum* L.): First Records And Preliminary Observations From Türkiye
Kubra OZDEMİR DİRİK	*Tokat Gaziosmanpasa University*	Determination of Drought Tolerance At The Early Growth Stage Of Some Durum Wheat Cultivars
Mesut ÇOŞLU	*Burdur Mehmet Akif Ersoy University*	Comparison Of Different Digital Elevation Models At The Basin Scale: A Case Study Of The Burdur Basin
Mustafa ÇİRKA	*Iğdır University*	Effects of Salt Stress on Plants
Faruk AKKAŞ Gökhan BAKTEMUR	*Sivas University*	Morphological Responses Of Lettuce Cultivars To In Vitro Drought Stress

(All speakers required to be connected to the session 10 min before the session starts)
Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

21.09.2026 / ONLINE / SESSION-1 / HALL-2

Ankara Local Time: 10:00-12:00

Zoom Meeting ID: 858 1117 0419 / Zoom Passcode: 123456

HEAD OF SESSION: Dr. Sena ÇELİK

Authors	Affiliation	Presentation Title
Neslişah ÖZMEN Mehmet SİNCİK	*Bursa Uludağ University*	Potential Of Indian Mustard As An Energy Crop
Sena ÇELİK Mehmet SİNCİK	*Bursa Uludağ University*	The Importance And Usage Areas Of The Kenaf Plant
Sena ÇELİK Gökhan ŞEN	*Kırıkkale University*	Probiotics, Prebiotics, And Postbiotics In Poultry
Emre YILMAZ	*Atatürk University*	Effect Of Short-Term Exposure To High Ambient Temperature On Aerobic Deterioration In Corn Silage
Onur YILDIRIM Ali GÜLAYDIN	*Siirt University*	Surgical Management Of Concurrent Mandibular Body And Supracondylar Femoral Fractures Following A Fall From Height In A Cat
Selda DURAN-YELKEN Zelfinaz AYDIN	*Kastamonu University*	Viral Respiratory Pathogens In Cattle With Respiratory Disease In Kastamonu, Türkiye
Büşra ASLAN AKYOL Nurullah GÜÇLÜ Kübra DELİKLİTAŞ Oğuzhan KORKUT Fazilet ŞEN METİN Cengiz GÖKBULUT	*Balıkesir University*	Development of a Rapid and Sensitive HPLC Analysis Method for the Determination of Antiparasitic Macrocyclic Lactone Residues in Edible Sheep Tissues
Meltem SAĞIROĞLU Gözde ARKALI Edanur GÜLER EKMEN Mustafa FİRİK	*Fırat University*	Investigation of the Effects of Thyme Oil on Cardiac Irisin and Cardiac Oxidative Stress Parameters in Hyperthyroid Rats

(All speakers required to be connected to the session 10 min before the session starts)
Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

21.09.2026 / ONLINE / SESSION-1 / HALL-3

Ankara Local Time: 10:00-12:00

Zoom Meeting ID: 858 1117 0419 / Zoom Passcode: 123456

HEAD OF SESSION: Assoc. Prof. Dr. Zeynep DEMİR

Authors	Affiliation	Presentation Title
Mesut SIRRI	*Siirt University*	Investigation of the Allelopathic Potential of Inula thapsoides (M. Bieb. ex Willd.) Spreng. on Seed Germination and Seedling Growth of Selected Weed Species
Gülten SIRRI Mesut SIRRI	*Siirt University*	Weed Species Included in the List of Plants Permitted for Use in Food Supplements
Gizem ÖZTÜRK Keziban YAZICI	*Recep Tayyip Erdoğan University*	Genotype-Dependent Variation in Rooting and Root Development Performance of Tea Cuttings
Gizem ÖZTÜRK Keziban YAZICI	*Recep Tayyip Erdoğan University*	Renewal Of Aging Tea Plantations: Experiences Of Major Producer Countries And Strategic Approaches For Türkiye
Mehmet Sait KİREMİT Hakan ARSLAN	*Ondokuz Mayıs University*	Humic acid dose responses in salicylic acid-treated wheat under saline soil conditions
Erdal ORMAN	*Atatürk Horticultural Central Research Institute*	Comparison of the Phenological, Morphological, and Pomological Performances of Some Native and Foreign Almond Genotypes under Yalova Ecological Conditions
LAZORENKO Andrii BONDARENKO Iryna SHUMSKA Iryna	*Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*	Radioanatomical Characteristics Of The Hooves Of Trotting And Riding Horse Breeds
DANKEVYCH Nina	*Odesa State Agrarian University*	Diagnosis, Treatment, And Prevention Of Foreign Bodies In Small Companion Animals (A review)

(All speakers required to be connected to the session 10 min before the session starts)
Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

21.09.2026 / ONLINE / SESSION-1 / HALL-4

Ankara Local Time: 10:00-12:00

Zoom Meeting ID: 858 1117 0419 / Zoom Passcode: 123456

HEAD OF SESSION: Bornare Ashwini

Authors	Affiliation	Presentation Title
MUHAMMAD FAISAL	*Joint Director (AICU) at Ministry of IT; Telecommunication*	Distributed Hub-and-Spoke Architecture for Centers of Excellence in AI (CoE-AI)
Moses Adeolu AGOI Olayemi Grace ABIMBOLA Oluwadamilola Peace AGOI Oluwanifemi Opeyemi AGOI	*Lagos State University of Education*	Artificial Intelligence-Enabled Genomic Sequencing For Precision Detection And Prediction Of Antimicrobial Resistance In Veterinary Pathogens
Moses Adeolu AGOI Olayemi Grace ABIMBOLA Oluwanifemi Opeyemi AGOI Oluwadamilola Peace AGOI	*Lagos State University of Education*	Transforming Field Crop Production With Artificial Intelligence: Predictive Analytics For Yield, Nutrition, And Food Security
Bornare Ashwini	*JES's SND College of Pharmacy*	Artificial Intelligence and Machine Learning in Pharmaceutical Quality Assurance: Applications, Challenges and Future Perspectives
Agbaji Mercy Ene Emmanuel Agada	*Joseph Sarwuan Tarka University*	Antifungal activity of Garcinia kola (Bitter kola) on fungal isolates from spoilt tomatoes
Sumayya Akram Matloob Ahmad Sana Aslam	*Government College University Faisalabad*	Exploring the Anticancer Potential of Plant, Marine, and Synthetic Glycosides
Ayobami Josiah Aderemi Abdulrazaq Izuafa Oluwafemi Adebayo Oyewole	*Federal University of Technology*	Screening and Isolation of Chitosan-Producing Bacteria
VORONEANU-POPA Rareș-Vasile CONSTANTINESCU Richard	*"Grigore T. Popa" University of Medicine and Pharmacy of Iași*	Informed Consent – Ethical and Legal Aspects

(All speakers required to be connected to the session 10 min before the session starts)
Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

21.09.2026 / ONLINE / SESSION-1 / HALL-5

Ankara Local Time: 10:00-12:00

Zoom Meeting ID: 858 1117 0419 / Zoom Passcode: 123456

HEAD OF SESSION: Shukria Islam

Authors	Affiliation	Presentation Title
Shukria Islam	*University of Global Village,*	Exploring the Capital Structure and Testing of Applicable Theories: Empirical Evidence from Pharmaceutical and Chemical Companies in Bangladesh.
Ibrahim Umar Ahmed Yusuf Mundi Buda Mohammed Kabir Yakubu Usman	*Umaru Sanda Ahmadu College of Education,*	Transforming Agricultural and Food Crop Production through Sustainable Practices, Innovation, and Digital Technologies in Nigeria
Faiza Baghida Mourad Boughrara Mohamed Kerouad	*Moulay Ismail University,*	First-Principles Investigation of Cu and Se Vacancies and Their Effects on the Properties of Cu_2Se.
Amna Yousaf	*University of Agriculture Faisalabad,*	Climate Change and Food Security in South Asia: A Review of Observed Trends, Impacts, and Vulnerabilities
S.Rubin thara M.K.Vijayalakshmi N.Arshad ahamed N.Manjula peratchi Devi R.Swathi E.Praveena	*Bharath Institute of Higher Education and Research chennai,*	Nutraceuticals: Bridging the Gap Between Food and Medicine
Babita Gupta,	*Integral University,*	Drug Repurposing Strategies for Neglected Tropical Diseases
Seyfaddin Jafarov	*Nakhchivan State University,*	Nanotechnology İn Agriculture; Prosoects And İnnovations
Voroneanu-Popa Rareș-Vasile Constantinescu Richard	*"Grigore T. Popa" University of Medicine and Pharmacy of Iași*	Similarities and Differences Between Medical and Veterinary Malpractice

(All speakers required to be connected to the session 10 min before the session starts)
Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

21.09.2026 / ONLINE / SESSION-1 / HALL-6

Ankara Local Time: 10:00-12:00

Zoom Meeting ID: 858 1117 0419 / Zoom Passcode: 123456

HEAD OF SESSION: Belete Debalkie

Authors	Affiliation	Presentation Title
Belete Debalkie	*Wollo University*	On Solution of Time- Fractional Nonlinear Partial Differential Equations
Maryem Arraji Mohamed Khalis Mohamed Chahboune	*Hassan First University of Settat*	Use of artificial intelligence for medication adherence assessment in patients with type 2 diabetes: an exploratory study in Morocco using ChatGPT and the validated general medication adherence scale
Maroua RIAD Ahmad AL-SHAMI Jamal MABROUKI	*Mohammed V University in Rabat*	Breast Cancer Metastasis: Molecular Mechanisms And Emerging Therapeutic Strategies
Sabrina Roguai	*Abbes Laghrour university Khenchela*	Influence of Nickel Doping on the Structural, Morphological, and Optical Properties of SnO_2 Thin Films Prepared by Pneumatic Spray Pyrolysis
Ugwuanyi HE Aba PE Udem SC Odeghe UE Onyeke MC	*University of Nigeria, Nsukka*	Effects Of Astaxanthin And Tocotrienols On Haematological And Reproductive Parameters In Testosterone-Induced Benign Prostatic Hyperplasia In Wistar Rats
Tarik Touiss Driss Bria	*Mohammed First University*	Electromagnetic transmission and defect induced resonances in a periodic cylindrical comb-like waveguide for tunable terahertz filters and dielectric sensors
NKWOCHA, G.A. Edih, M.C. Iwuagwu, C.E. Anosike F.C. Okoro, L.C.	*Alex Ekwueme Federal University Ndufu*	Canavalia Gladiata: An Underutilized Leguminous Crop For Food Security And Nutrition In Sub-Saharan Africa
Akpan, Christopher Anieken	*Federal College of Education (Technical) Ekiadolor Benin City Edo State*	Beautification and bio-safety farming: Cultivation of short-cycle African Legumes for aesthetic enhancement, weed suppression and income generation.

(All speakers required to be connected to the session 10 min before the session starts)
Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

21.09.2026 / ONLINE / SESSION-2 / HALL-1

Ankara Local Time: 12:30-14:30

Zoom Meeting ID: 858 1117 0419 / Zoom Passcode: 123456

HEAD OF SESSION: Dr. Doğan Can HANEY

Authors	Affiliation	Presentation Title
Liudmyla GARNYK Oleg KATERYNYCH	*Institute of Livestock Farming of NAAS, State Poultry Research Station,*	Economic And Social Structure Of Poultry Farming In Ukraine: Regional Transformation Under Wartime Conditions
Kenan Sezer Saliha Kaya	*Mehmet Akif Ersoy University*	"Knowledge–Practice Gap Regarding Zoonotic Parasites Among Cat and Dog Owners: A Current Review from the Perspective of Preventive Behaviors and One Health"
Oznur YILMAZ KOC Tarık ŞAFAK	*Siirt University*	Type II Vaginal Hyperplasia In A Pregnant Bitch: A Case Report
Doğan Can HANEY	*Muğla Sıtkı Koçman University*	Feline Infectious Peritonitis (FIP): Diagnosis And Treatment
Serya Tülin ÖZKÜTÜK Fatih ÖZOĞUL	*Cukurova University*	Mechanisms Of Spoilage Inhibition By Lactic Acid Bacteria In Seafood Products
Serya Tülin ÖZKÜTÜK Fatih ÖZOĞUL	*Cukurova University*	Postbiotics From Marine Lactic Acid Bacteria As Next-Generation Natural Preservatives For Seafood
Murat ER Kanber KARA Eren KUTER Hulusi AKÇAY Sena Yılmaz Öztaş	*İzmir Bakırçay University*	Effects Of Dry Matter Level On Microbial Distribution In Olive Cake-Containing Total Mixed Rations Ensiled At Different Dry Matter Ratios
Tolga Meriç Dümbek	*Muğla Sıtkı Koçman University*	Cpr In Dogs And Cats: Basic Life Support

(All speakers required to be connected to the session 10 min before the session starts)
Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

21.09.2026 / ONLINE / SESSION-2 / HALL-2

Ankara Local Time: 12:30-14:30

Zoom Meeting ID: 858 1117 0419 / Zoom Passcode: 123456

HEAD OF SESSION: Assoc. Prof. Dr. Hilal YILMAZ

Authors	Affiliation	Presentation Title
Aysun SAĞIR Sedat ÇAM	*Harran University*	Ameliorative Effects Of Azotobacter Strains And Macroalgal Extract On Maize Seedlings Under Drought Stress
Kemal YILDIRIM Aysun ŞEHİT	*Yozgat Bozok University*	Effects Of Organic Applications On Tuber And Plant Traits Of Cultivated Salep Orchid (*Serapias vomeracea*) Under Eastern Black Sea Conditions
Alperen KURT Aysun ŞEHİT	*Yozgat Bozok Universit,*	Effects Of Nutrient And Bioactive Applications On Cold-Induced Cellular Damage And Tissue Viability In Grapevine Buds
Bekir PARLAK Gül Beril ÇALIŞKAN	*Bursa Uludağ University*	Analysis of Agricultural Production Dynamics in Yenişehir District Using Koyck and Almon Models
Merve Dilek KARATAŞ	*Van Yuzuncu Yil University*	Biotechnological Approaches To Improving Abiotic Stress Tolerance In Plants
Hilal YILMAZ Sibel Boysan CANAL	*Kocaeli University*	The Role of Siderophore-Producing Rhizobacteria in Iron (Fe) and Zinc (Zn) Biofortification
Zeynep KİLCİ Ramazan Ülkü ÇETİN Melike CİNİVİZ	*Balikesir University*	Sensory Evaluation Of Red Beet Sauces Produced With Different Formulations And Determination Of Selected Quality Characteristics Of The Preferred Formulation
Sibel Boysan CANAL Hilal YILMAZ	*Van Yüzüncü Yıl University,*	Effects of AMF and Organic Amendments on Soil and Rapeseed Microelement Levels under Cd and Cr Stress
Selim ÖZDEMİR Erdal ÇAÇAN	*Bingöl University*	Production Potential, Feed Value, and Utilization Possibilities of Alternative and Lesser-Known Forage Crops in Roughage Production

(All speakers required to be connected to the session 10 min before the session starts)
Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

21.09.2026 / ONLINE / SESSION-2 / HALL-3

Ankara Local Time: 12:30-14:30

Zoom Meeting ID: 858 1117 0419 / Zoom Passcode: 123456

HEAD OF SESSION: Dr. Yalçın Alper ÖZTURAN

Authors	Affiliation	Presentation Title
S. Sivasakthi	*G. Venkataswamy Naidu College*	Ai-Based Early Disease Detection and Intelligent Monitoring
Yalçın Alper ÖZTURAN	*Aydın Adnan Menderes University,*	Radiographic Cardiac Area Index in Dogs with Cardiogenic Interstitial Pulmonary Edema: Agreement Between Right Lateral and Ventrodorsal Views
Aykut ZEREK İpek ERDEM	*Hatay Mustafa Kemal University,*	Current Changes in Microsporidia Taxonomy: From Nosema to Vairimorpha
Yağmur DEMIREL	*Recep Tayyip Erdoğan University*	Potential Effects of Stinging Nettle (*Urtica dioica* L.) On Cancer
Merve ÜNVER Ali ÜNVER	*Siirt University*	A Case of Unilateral Fetal Mummification İn A Twin-Pregnant Ewe
İlyas RAT Erdal KÜÇÜK	*GAP Agricultural Research Institute Directorate*	Determination of Population Density of Bemısia tabaci GENN. (Hemiptera: Aleyrodidae)] and Empoasca spp. (Hemiptera: Cicadellidae)] in Different Eggplant Genotypes and Varieties

(All speakers required to be connected to the session 10 min before the session starts)
Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

21.09.2026 / ONLINE / SESSION-2 / HALL-4

Ankara Local Time: 12:30-14:30

Zoom Meeting ID: 858 1117 0419 / Zoom Passcode: 123456

HEAD OF SESSION: Fateme Asadi Touranlou

Authors	Affiliation	Presentation Title
Abdelghani Bouchyoua Abdelmajid Khabbach Laila ouardi Khalil Hammani Abdelghani Nabloussi	*Research Unit of Plant Breeding and Plant Genetic Resources Conservation*	Rapeseed genotypes under contrasting water regimes: a field selection
Matthew Durojaiye Ayeni Ibukun Elizabeth Ojo E. A Kolawole O. A. Oluwadare	*Afe Babalola University*	Digital Financial Services Adoption and Agricultural Productivity Among Smallholder Farmers in Kwara State, Nigeria: Implications for Sustainable Development Goals
DAHMOUCH Zineb AZDEM Driss	*Mohammed V University in Rabat, Rabat*	Green Hydrogen Production in Water-Scarce Regions: Water Demand, Desalination, and Implications for Agricultural Water Security
Fateme Asadi Touranlou Mobina Moshirian	*Tehran University of Medical Sciences*	Climate-Driven Shifts in Seafood-Borne Vibrio Risk: A Systematic Review of Warming Waters and Changing Foodborne Illness Patterns
Mobina Moshirian Fateme Asadi Touranlou	*Mashhad University of Medical Sciences*	Extended Producer Responsibility and Food-Contact Packaging Safety: A Systematic Review of Recycled and Bio-Based Material Migration Risks
Mobina Moshirian Fateme Asadi Touranlou	*Mashhad University of Medical Sciences*	Food Safety Risks of 3D-Printed and Personalized Nutrition Foods: A Systematic Review of Emerging Hygiene and Regulatory Challenges
Subhasis Roy	*University of Calcutta*	Chemical Approaches to Addressing the Instability and Toxicity of Perovskite Based Thin Films Solar Cells
DAHMANE Thoraya KACI Zakia AROUS Ali KARAHACANE Taher	*Djilali Bounaama University*	Inventory Of Medicinal Plants In The Azazga Region (Tizi-Ouzou)

(All speakers required to be connected to the session 10 min before the session starts)
Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

21.09.2026 / ONLINE / SESSION-2 / HALL-5

Ankara Local Time: 12:30-14:30

Zoom Meeting ID: 858 1117 0419 / Zoom Passcode: 123456

HEAD OF SESSION: Azhibekova Perizat

Authors	Affiliation	Presentation Title
Baltabayeva Mubarak İsmailovna Keldibek Nurbakıt Nursayınkızı	*"№3 Talant" Genel Eğitim Okulu Müdürü*	The Effectiveness of Using Virtual Laboratories in Biology Education
Kyzaikhan Utegenova	*"№3 Talant" Genel Eğitim Okulu Müdürü.*	Developing Students' Logical Thinking In Mathematics Lessons Through The Use Of Interactive Technologies
Azhibekova Perizat	*"№3 Talant" Genel Eğitim Okulu Müdürü.*	Algeria: The Fate Of Women And Children During Years Of Political Repression
K.Aruna T.Karunasaghar	*Sri Krishna College of Engineering and Technology,*	Social Impact of Artificial Intelligence: Opportunities, Challenges and the Way Forward
Saem Oeun Kimkong Heng Sereyrath Em	*National University of Cheasim Kamchaymear,*	Examining The Perceived Effects Of Students' Failure In The English Subject In National Grade 12 Examinations In Cambodia: A Qualitative Case Study
Mahvish Javed	*Anatomy Khyber Girls Medical College Peshawar*	Sacral Hiatus: A Study of Its Anatomical Variations in Dry Sacra
Moses Adeolu AGOI Emmanuel Taiwo AGOI Oluwanifemi Opeyemi AGOI Oluwadamilola Peace AGOI	*Lagos State University of Education,*	Blockchain-Enabled Iot Architecture For Intelligent, Transparent, Secure, And Sustainable Farm-To-Fork Food Traceability Across Next-Generation Agricultural Supply Chains
Temitope Banjo Mayowa Olabode Yewande Olojo	*Federal University of Health Sciences,*	Microbiological, Aflatoxin and sensory evaluation of garri samples produced and sold in Adie owe community, Ogun state, Nigeria

(All speakers required to be connected to the session 10 min before the session starts)
Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

21.09.2026 / ONLINE / SESSION-2 / HALL-6

Ankara Local Time: 12:30-14:30

Zoom Meeting ID: 858 1117 0419 / Zoom Passcode: 123456

HEAD OF SESSION: Umar Baba Shaaba

Authors	Affiliation	Presentation Title
Umar Baba Shaaba	*Ahman Pategi University*,	Green Accounting And Corporate Environmental Performance: Emerging Evidence From Nigeria
Umar Baba Shaaba	*Ahman Pategi University*,	Accounting Education And The Development Of Digital Competencies Among University Students
Valery V. Belakhov	*Technion – Israel Institute of Technology*,	The Use Of Tetraene Macrolide Antibiotic Natamycin In Agriculture As Highly Effective Ecologically Safe Fungicide For Plant Protection
Ajibade, Y.E. Ayeni, M.D. Folayan, J.A.	*Federal University Lokoja*,	Determinants Of Farming Households' Income And Challenges After Fuel Subsidy Removal In Kogi State, Nigeria
Saksham Srivastava Khushi Tiwari	*Sharda University*,	Ashes of Neglect: Crop Residue Burning, Agrarian Distress, and the Limits of India's Environmental Law
Undang Ristina Siti Sundari Rizky Adi Nugraha Tarigan Shazma Anwar Korkmaz Bellitürk	*University of Siliwangi.*	The Effect Of Different Led Intensities And Growing Media On Microgreens Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) Agribusiness
Guma, Edward Pishikeni Shuaibu, Shuaibu Jamiu Musa, Gbaje Wumani Musa, Richard	*Kogi State Polytechnic*,	Multifaceted Drivers of Food Insecurity in Kogi State: A Mixed-Methods Study of Communal Clashes, Agricultural Practices, and Infrastructure Gaps
Afriana Zia Hisni Mubarak Sipri Hanus Tewarat	*University of Putera Batam*	Persuasive Language And Culinary Promotion On Tiktok: A Pragmatic Analysis Of Food-Related Content In Batam, Indonesia

(All speakers required to be connected to the session 10 min before the session starts)
Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

21.09.2026 / ONLINE / SESSION-3 / HALL-1

Ankara Local Time: 15:00-17:00

Zoom Meeting ID: 858 1117 0419 / Zoom Passcode: 123456

HEAD OF SESSION: Dr. Gamze AYDIN ERYILMAZ

Authors	Affiliation	Presentation Title
Memiş SARI Engin TAKIL Nihal KAYAN	*Eskişehir Osmangazi University*	The Effects of Different Herbicide Application Methods and Weed Control Methods on Morphological Characteristics and Yield Of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.)
Gamze AYDIN ERYILMAZ	*Ondokuz Mayıs University*	Assessment of the Economic Impacts of Bacterial, Fungal, and Viral Cereal Diseases
Vahit AĞIR	*Selcuk University*	Molecular Basis Of Developmental Competence And Hatching Capacity In Bovine Embryos
Fatiha CHAGANE Hamid ESSABIR	*Ibn Zohr University*	From Agricultural Residues to Sustainable materials
İhsan Serkan VAROL	*University of Erciyes*	Response of Germination and Early Seedling Growth of the Oat (*Avena sativa* L.) Cultivar Kahraman to Increasing NaCl Concentrations
Hülya ŞEREFLİŞAN Menderes ŞEREFLİŞAN	*Iskenderun Technical University*	Permanent Substrate Cementation in Spondylus Species (Bivalvia: Spondylidae): Structural and Biomineralization Basis of the Shell–Substrate Interface and Its Biomimetic Potential
Hülya ŞEREFLİŞAN Menderes ŞEREFLİŞAN	*Iskenderun Technical University*	Byssal Adhesion in Dreissena polymorpha (Bivalvia: Dreissenidae): Structural and Molecular Mechanisms and the Roles of DOPA and Non-DOPA Components
Ferda ÖZKORKMAZ Ayşe Özge ŞİMŞEK SOYSAL Buse TAGAY BİCE	*Ordu University*	effect of different iron doses on stomatal characteristics and spad values in cowpea (*Vigna unguiculata* L.) plants
Ferda ÖZKORKMAZ Buse TAGAY BİCE Ayşe Özge ŞİMŞEK SOYSAL	*Ordu University*	Effect of different iron doses on some vegetatif development of the cowpea (*Vigna unguiculata* L.) plant

(All speakers required to be connected to the session 10 min before the session starts)
Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

21.09.2026 / ONLINE / SESSION-3 / HALL-2

Ankara Local Time: 15:00-17:00

Zoom Meeting ID: 858 1117 0419 / Zoom Passcode: 123456

HEAD OF SESSION: Owoyemi, S. I.

Authors	Affiliation	Presentation Title
Laiba Hameed Syed Mohsan Raza Shah Sania Abid Fateh Asia Kainat Tauseef Nawaz Aqsa Mahnoor Muhammad Farooq	*University of Education,*	Neem Leaf Extract-Mediated Mitigation of Drought Stress in Zea mays L.: Structural and Functional Responses
KUJORE Oludotun Idowu	*National Open University of Nigeria*	Genetically Modified Foods And Yoruba Philosophy: An Indigenous Perspective On Food, Nature And Human Wellbeing
Owoyemi, S. I.	*Adeyemi Federal University of Education,*	Integrated Geoelectrical Characterization And Evaluation Of Subsurface Resistivity Distribution Using Vertical Electrical Sounding In A Tropical Basement Complex Terrain: A Case Study Of Igem City, Alakia–Adegbayi, Ibadan, Southwestern Nigeria
Dovletova Shirinjemal Dovletova Guljemal Muhammetdurdyyeva Mayajan	*Oguz han Engineering and technology university of Turkmenistan,*	Development Of A Natural Bioindicator From Pomegranate Peels For Sustainable Ph Detection
Dovletova Shirinjemal Dovletova Guljemal Muhammetdurdyyeva Mayajan	*Oguz han Engineering and technology university of Turkmenistan,*	Sustainable Fabrication Of A Natural Polymer-Based Bioplastic Using Agar, Gelatin, And Glycerin: A Low-Cost Approach To Eco-Friendly Material Design
Dovletova Shirinjemal Dovletova Guljemal Muhammetdurdyyeva Mayajan	*Oguz han Engineering and technology university of Turkmenistan,*	Development Of Sustainable Construction Materials From Recycled Plastic Wastes And Rubber Crumbs
Misbah Asmae Houmy Nadia Khallou Abdelhak	*National Institute of Agricultural Research,*	Postharvest Handling And Quality Management Of Citrus Fruit In Commercial Packing Facilities In Berkane, Morocco
MISBAH Asmae BOUAZZAOUI Adnane KHALLOU Abdelhak Harnafi Zineb HOUMY Nadia KHALLOUF Hanane ABOUKHALID Kaoutar	*National Institute of Agricultural Research,*	Phytochemical Profiles and Antioxidant Properties of Loquat (Eriobotrya japonica) Leaves, Seed Coats, and Kernels from Zegzel, Morocco

(All speakers required to be connected to the session 10 min before the session starts)
Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

21.09.2026 / ONLINE / SESSION-3 / HALL-3

Ankara Local Time: 15:00-17:00

Zoom Meeting ID: 858 1117 0419 / Zoom Passcode: 123456

HEAD OF SESSION: Maryjane Adaobi Obi

Authors	Affiliation	Presentation Title
Maryjane Adaobi Obi	*School of Applied Science and Technology,*	Effect of Goron Tula (Azanza garckeana) Syrup on the Sensory Properties and Mineral Composition of Zobo (Hibiscus sabdariffa) Beverage
Maryjane Adaobi Obi Obianuju Eneasato	*School of Applied Science and Technology,*	Sensory and Proximate Evaluation of Bread Spread Produced from Blends of Cashew Nut Paste and Date Fruit Syrup
Helda Syahfari Noor Jannah	*University of 17 Agustus 1945 Samarinda*	Invontory Of Leaf Spot Disease (*Curvularia* Sp.) At The Oil Palm Nursery Of Pt Ketapang Hijau Lestari2 In Abit Village, Mook Manaar Bulatn Sub District Of West Kutai Distric
Abdul Rahmi Marisi Napitupulu	*University of 17 Agustus 1945 Samarinda*	Pengaruh Pupuk Kompos Dan Pupuk Organik Cair Nasa Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Mentimun (Cucumis sativus L.) Varietas Misano F1
Zuhdi yahya Legowo kamarubayana	*University of 17 Agustus 1945 Samarinda*	Analysis Of Soil Chemical Properties Characteristics In Coal Pre And Post Mining Land In Pt Trubaindo Coal Mining, West Kutai Regency, East Kalimantan Province
Jumani Heni Emawati	*University of 17 Agustus 1945 Samarinda*	Potency Of Pole And Tree Level Stand In Education And Training Khdtk Forest Areal Loa Haur Kecamatan Loa Janan Kabupaten Kutai Kartanegara East Kalimantan Province
Abdul Fatah Abdul Rahmi dan Maya Preva Biantary	*University of 17 Agustus 1945 Samarinda*	Overview The Strategic Agricultural Commodities As The Base For Determinating Improved Local Products At Village Level In Paser Regency Of East Kalimantan Province.
Ismail, Mohammad Taufan Tirkaamiana Rolly Yulianthi	*University of 17 Agustus 1945 Samarinda*	Study On The Development Of Social Forestry Activities In The Utilization Of Dumaring River Park Ecotourism In Dumaring Village, Berau Regency As A Assisted By Uptd Kphp Berau Pantai

(All speakers required to be connected to the session 10 min before the session starts)
Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

21.09.2026 / ONLINE / SESSION-3 / HALL-4

Ankara Local Time: 15:00-17:00

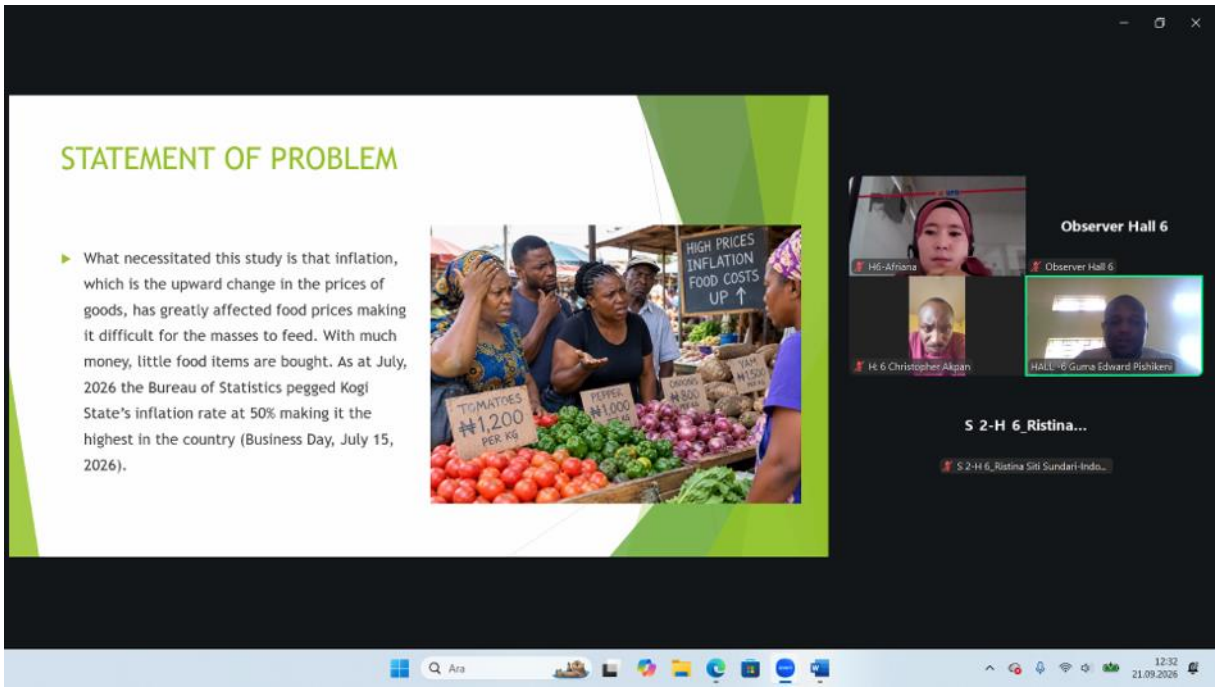
Zoom Meeting ID: 858 1117 0419 / Zoom Passcode: 123456

HEAD OF SESSION: Ogunlade S.O

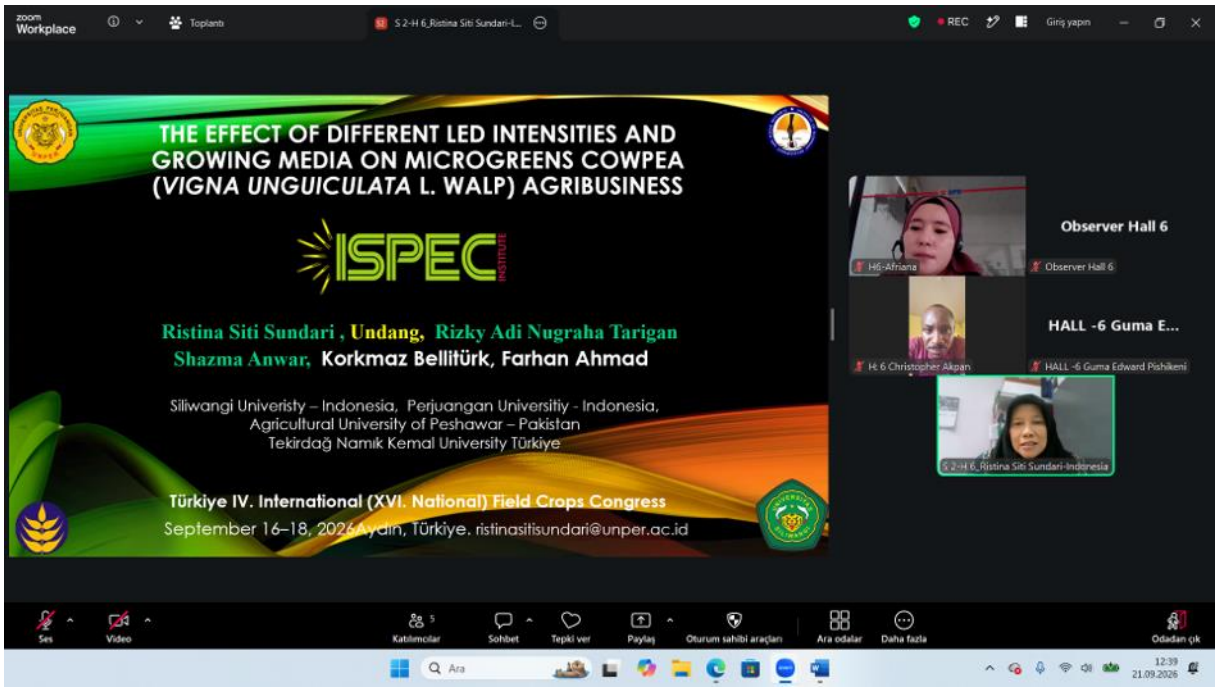
Authors	Affiliation	Presentation Title
Jumani Naqiyyah Ariska Januati Karolina Sherly Orianto Zevie Tresna Evrizal Heni Emawati	*University of 17 Agustus 1945 Samarinda*	Younger Generation Awareness Of The Mangrove Ecosystem
Kaoutar Aboukhalid Soufiane Elaayadi Taha Nour Abdesselam Maâtougui Hanane Khallouf Mounsef Neffa	*National Institute of Agricultural Research,*	Enhancing Climate Change Adaptation in Grazing Systems through Integrated Forage Quality Assessment and Indigenous Knowledge
Kaoutar Aboukhalid Abdesselam Maâtougui Hanane Khallouf Mounsef Neffa	*National Institute of Agricultural Research,*	Adaptive Responses of Pastoral Species to Arid Climate Conditions in Eastern Morocco
Kaoutar Aboukhalid Chaouki Al Faiz Nathalie Machon Mohamed Bakha Abdelkarim Khiraoui Mounsef Neffa	*National Institute of Agricultural Research,*	Preserving Morocco's Botanical Heritage: Genetic Insights into Two Endemic Origanum Species
Elkady A A Gerish E KH Abu Irkheis A M	*Misurata University,*	Metabolic and Inflammatory Changes in Mastitic Dairy Cows: The Role of Oxidative Stress and The Therapeutic Potential of Antioxidant Supplementation
Ogunlade S.O	*Federal University of Technology Akure*	Geospatial Assessment Of The Impact Of Climate On The Performance Of Futa Research Farm
Merve NENNİ	*Çukurova University, Adana, Türkiye.*	Evaluation Of The In Vitro Antioxidant Activity Of Salvia Sclarea L. Essential Oil Using The Dpph Assay
Hatice Şeyma YÜCEL	*Ondokuz Mayıs University, Samsun, Türkiye.*	Miniature Vegetables And Their Uses
Muazzez DEĞERLİ ERDOĞAN Arzu ÇIĞ	*Siirt University*	Effects Of The Beneficial Bacterium Paenarthrobacter Nitroguajacolicus (Kf3b) And Different Moisture Levels On The Shoot Yield Of Oleander Cuttings
Muazzez DEĞERLİ ERDOĞAN Arzu ÇIĞ	*Siirt University*	Effects of the Beneficial Bacterium Paenarthrobacter nitroguajacolicus (KF3B) and Different Moisture Levels on the Rooting of Oleander Cuttings

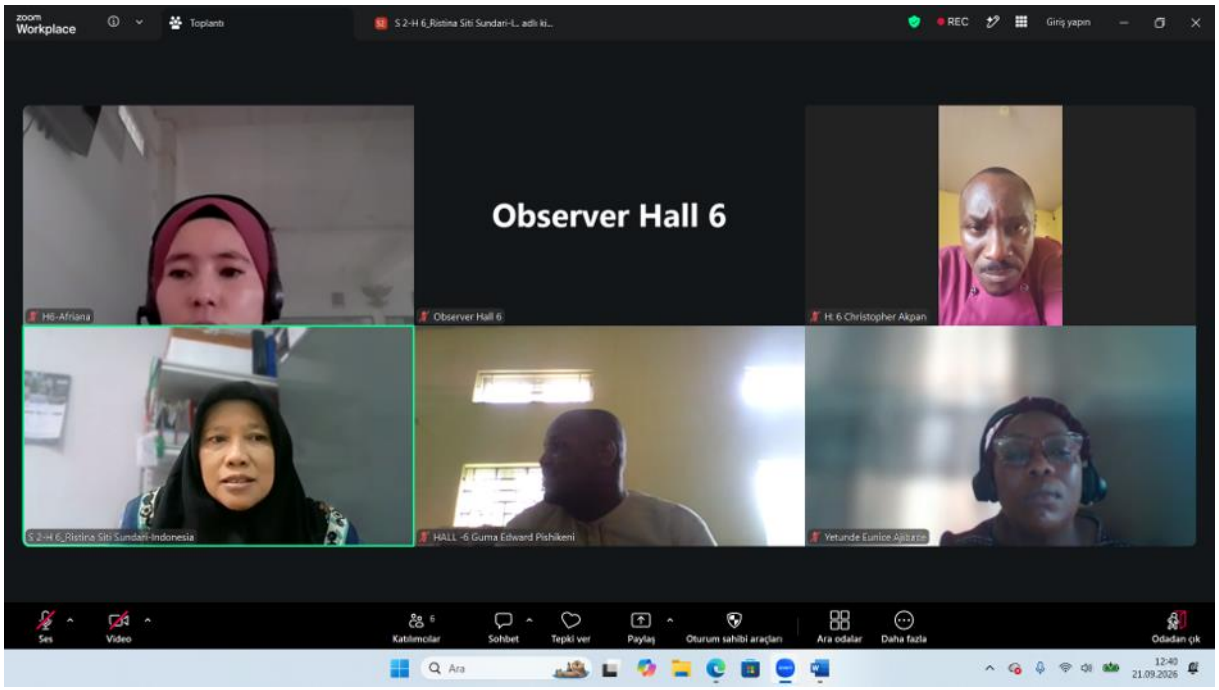
(All speakers required to be connected to the session 10 min before the session starts)
Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

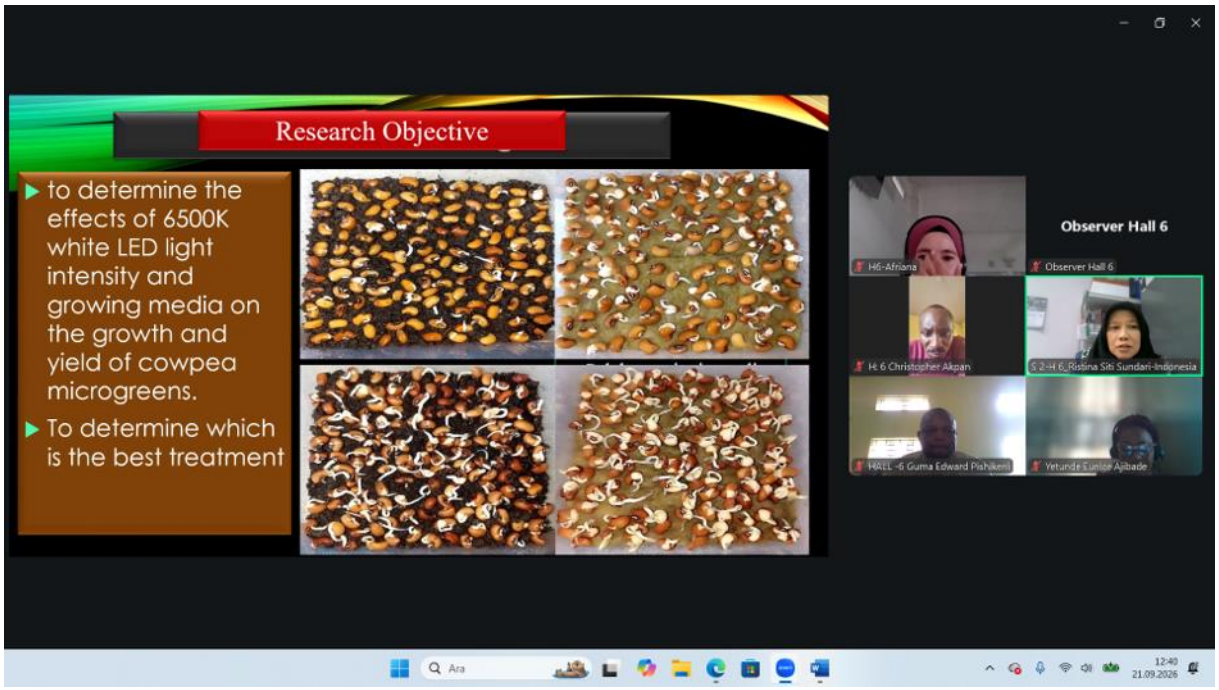
CONFERENCE GALLERY

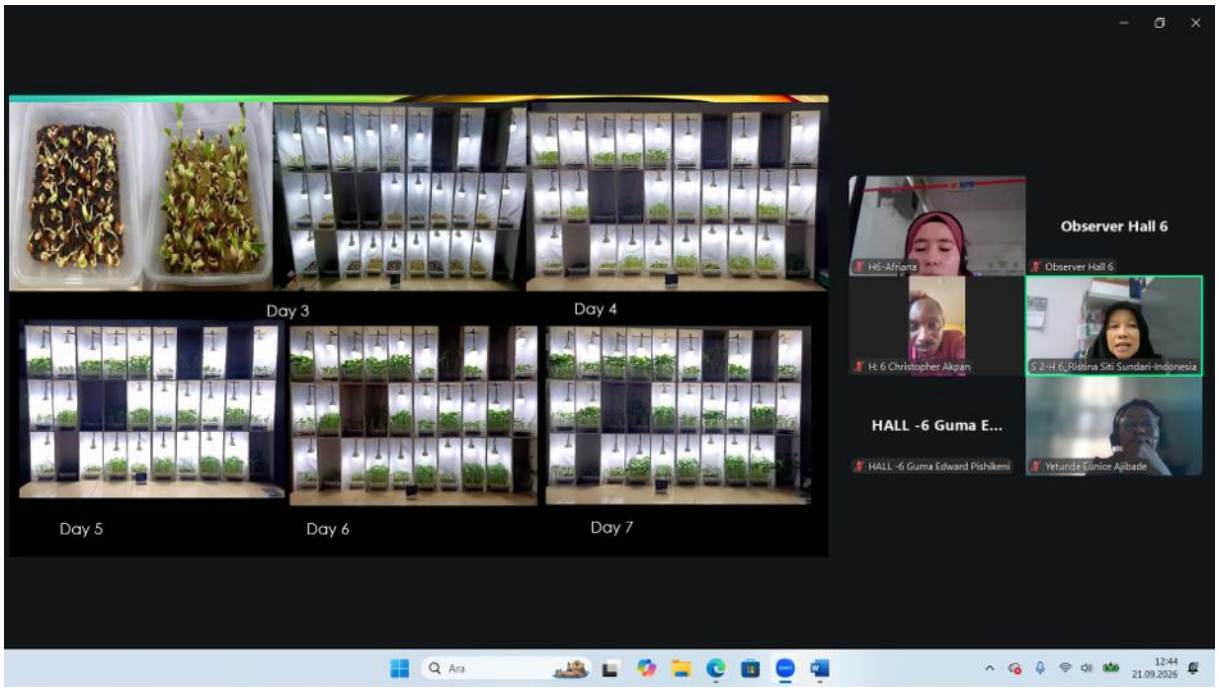


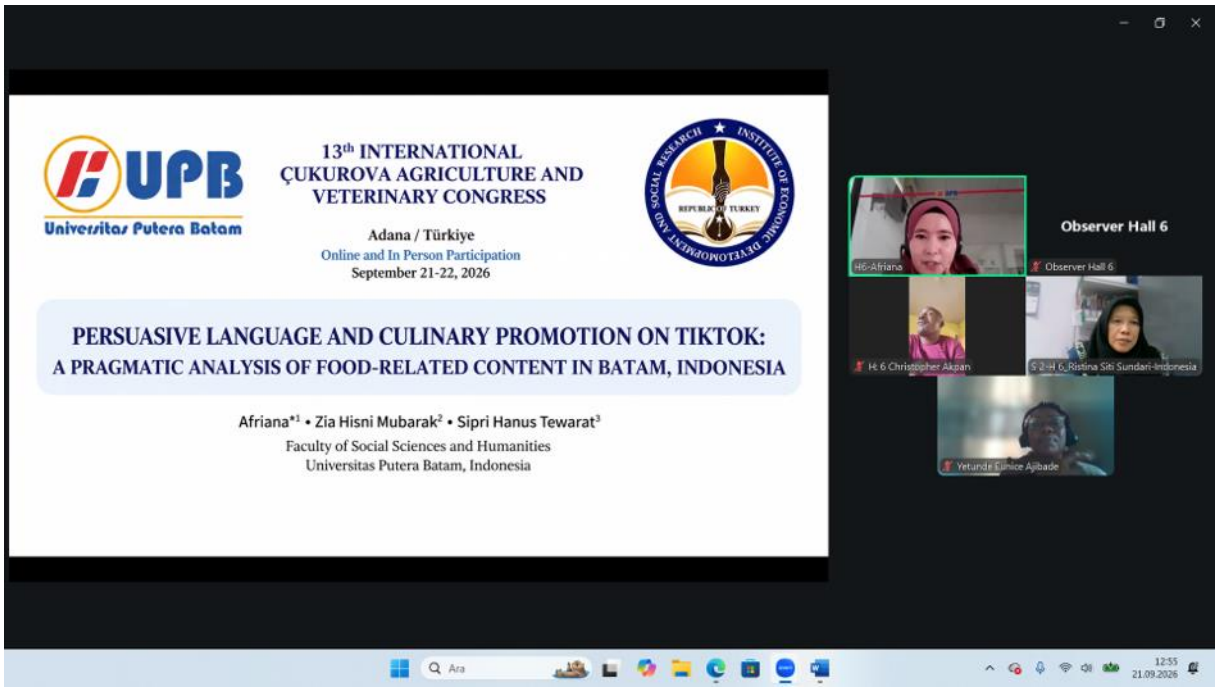


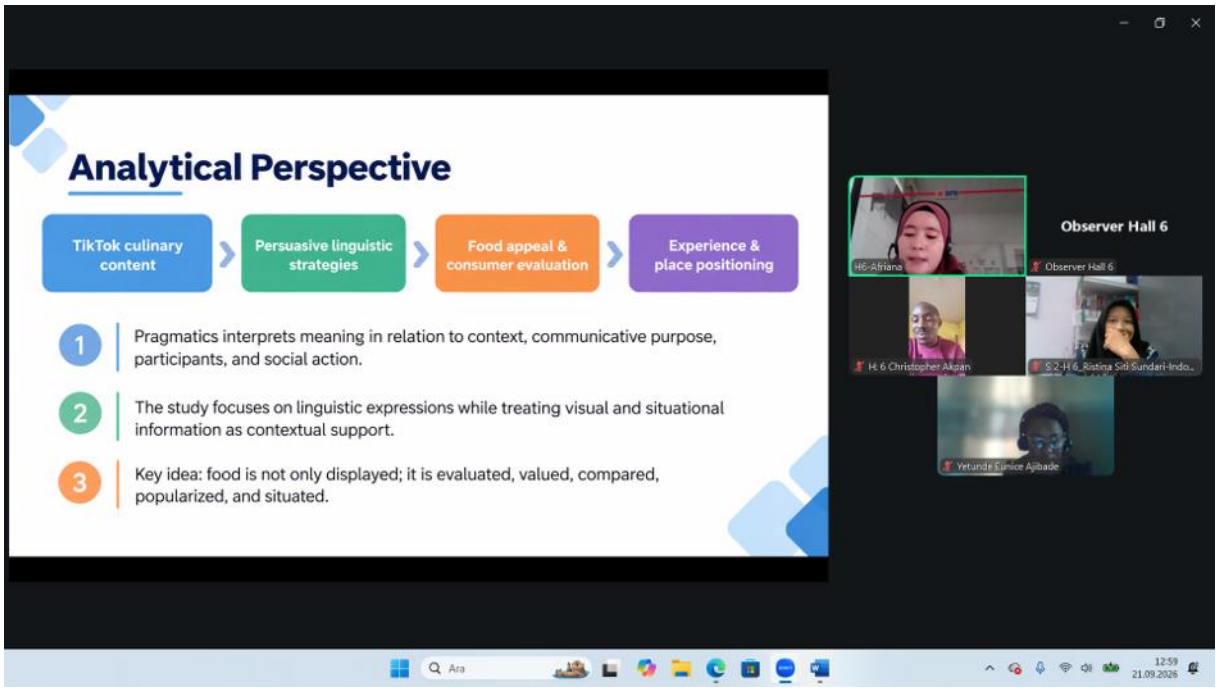

THE EFFECT OF DIFFERENT LED INTENSITIES AND GROWING MEDIA ON MICROGREENS COWPEA (VIGNA UNGUICULATA L. WALP) AGRIBUSINESS
ISPEC
Ristina Siti Sundari , Undang, Rizky Adi Nugraha Tarigan
Shazma Anwar, Korkmaz Bellitürk, Farhan Ahmad
Siliwangi Univeristy – Indonesia, Perjuangan Universitiy - Indonesia,
Agricultural University of Peshawar – Pakistan
Tekirdağ Namık Kemal University Türkiye
Türkiye IV. International (XVI. National) Field Crops Congress
September 16–18, 2026 Aydın, Türkiye. ristinasitisundari@unper.ac.id
Observer Hall 6
HALL -6 Guma E...

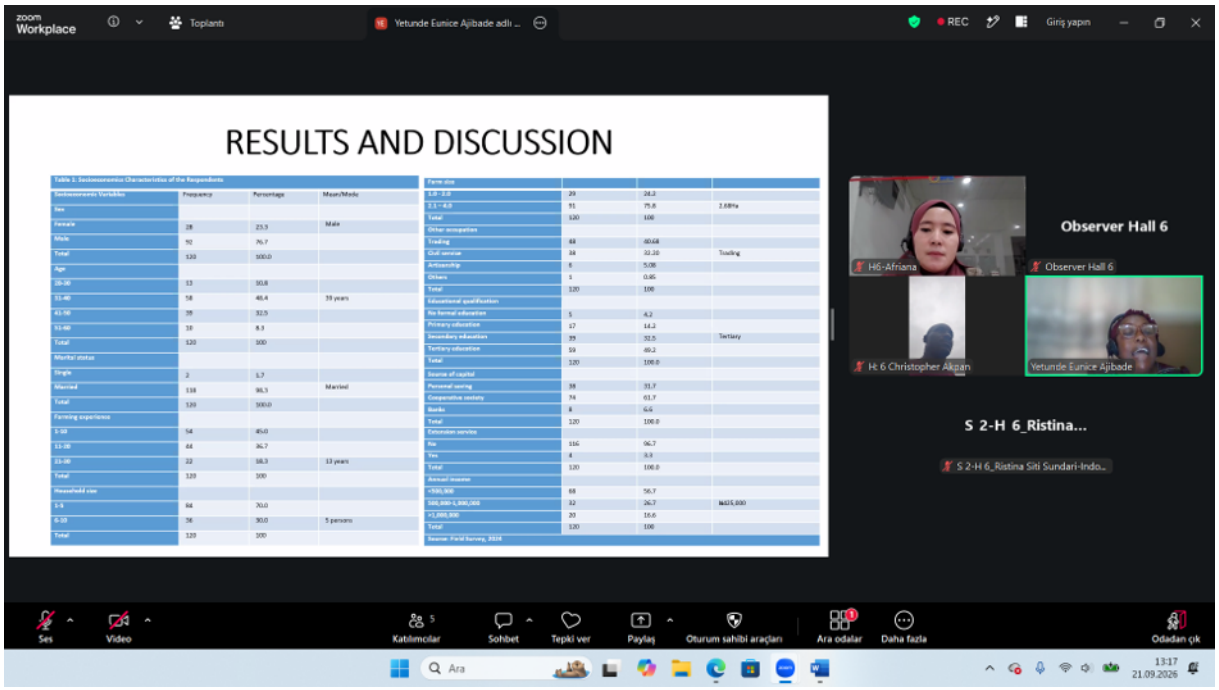

Observer Hall 6
H6-Afriana
Observer Hall 6
H. 6 Christopher Akpan
HALL -6 Guma Edward Pishikeni
S 2-H 6_Ristina Siti Sundari-Indonesia
Yetunde Eunice Ajakaye

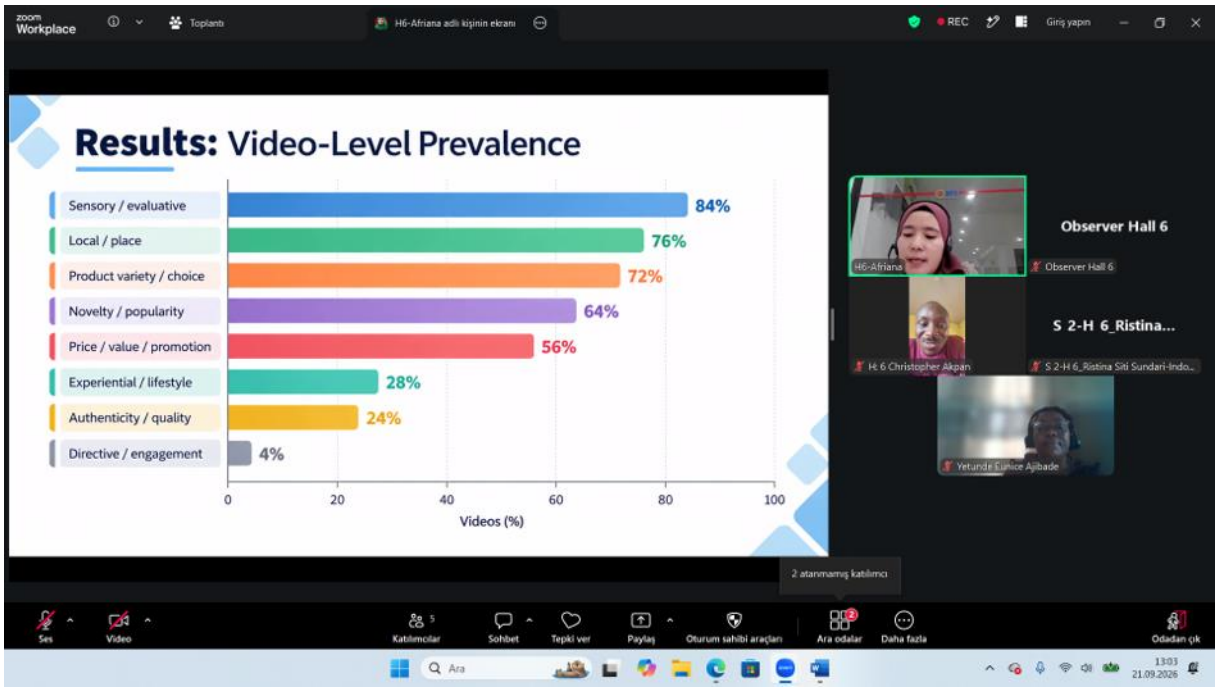

Research Objective
to determine the effects of 6500K white LED light intensity and growing media on the growth and yield of cowpea microgreens.
To determine which is the best treatment
Observer Hall 6
H6-Afriana
Observer Hall 6
H: 6 Christopher Akpan
S 2 -H 6_Ristina Siti Sundari-Indonesia
HALL -6 Guma Edward Pishikeni
Yetunde Eunice Ajibade

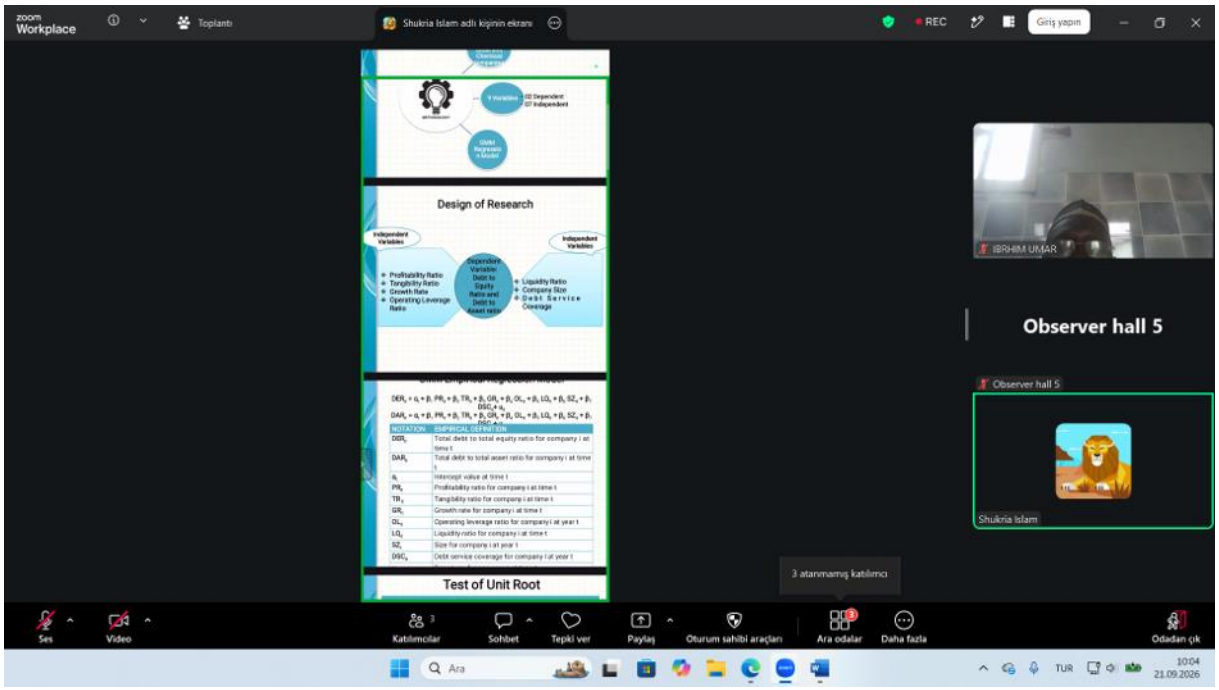

Day 3
Day 4
Day 5
Day 6
Day 7
Observer Hall 6
H6-Afriana
Observer Hall 6
H: 6 Christopher Akpan
S 2 -H 6_Ristina Siti Sundari-Indonesia
HALL -6 Guma E...
HALL -6 Guma Edward Pishikeni
Yetunde Eunice Ajibade

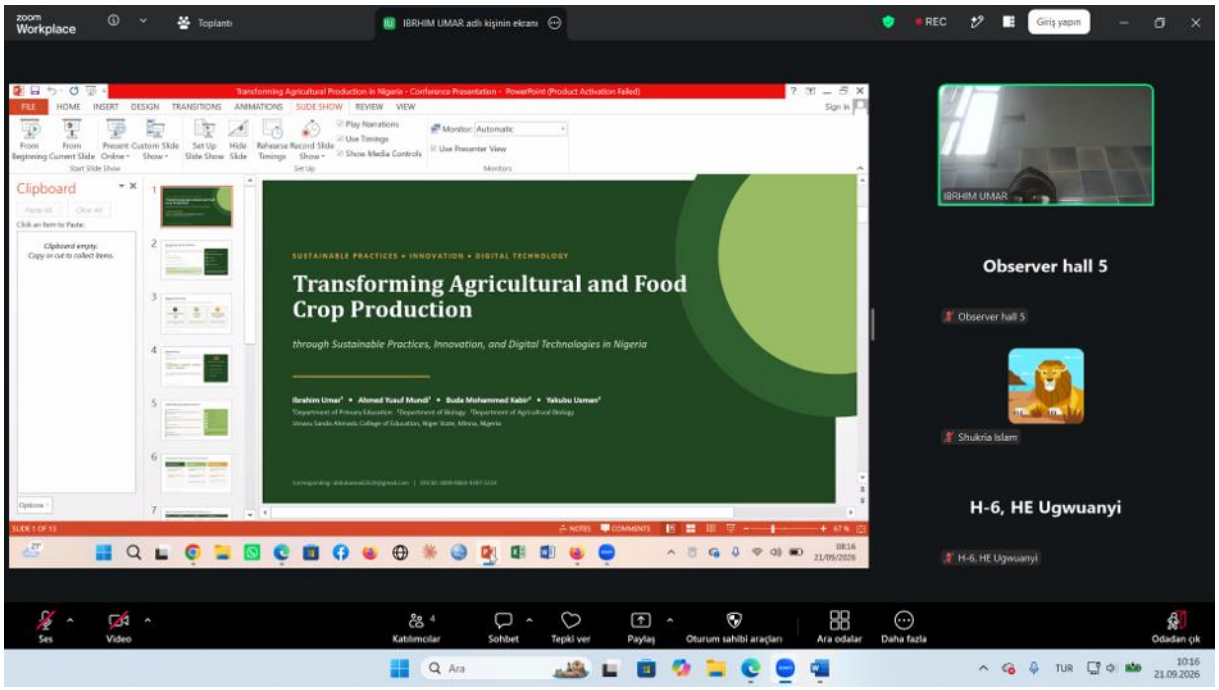

UPB
Universitas Putera Batam
13th INTERNATIONAL ÇUKUROVA AGRICULTURE AND VETERINARY CONGRESS
Adana / Türkiye
Online and In Person Participation
September 21-22, 2026
PERSUASIVE LANGUAGE AND CULINARY PROMOTION ON TIKTOK: A PRAGMATIC ANALYSIS OF FOOD-RELATED CONTENT IN BATAM, INDONESIA
Afriana*[1] • Zia Hisni Mubarak[2] • Sipri Hanus Tewarat[3]
Faculty of Social Sciences and Humanities
Universitas Putera Batam, Indonesia
Observer Hall 6
H6-Afriana
Observer Hall 6
H: 6 Christopher Akpan
S 2-H 6_Ristina Siti Sundari-Indonesia
Yetunde Eunice Ajibade

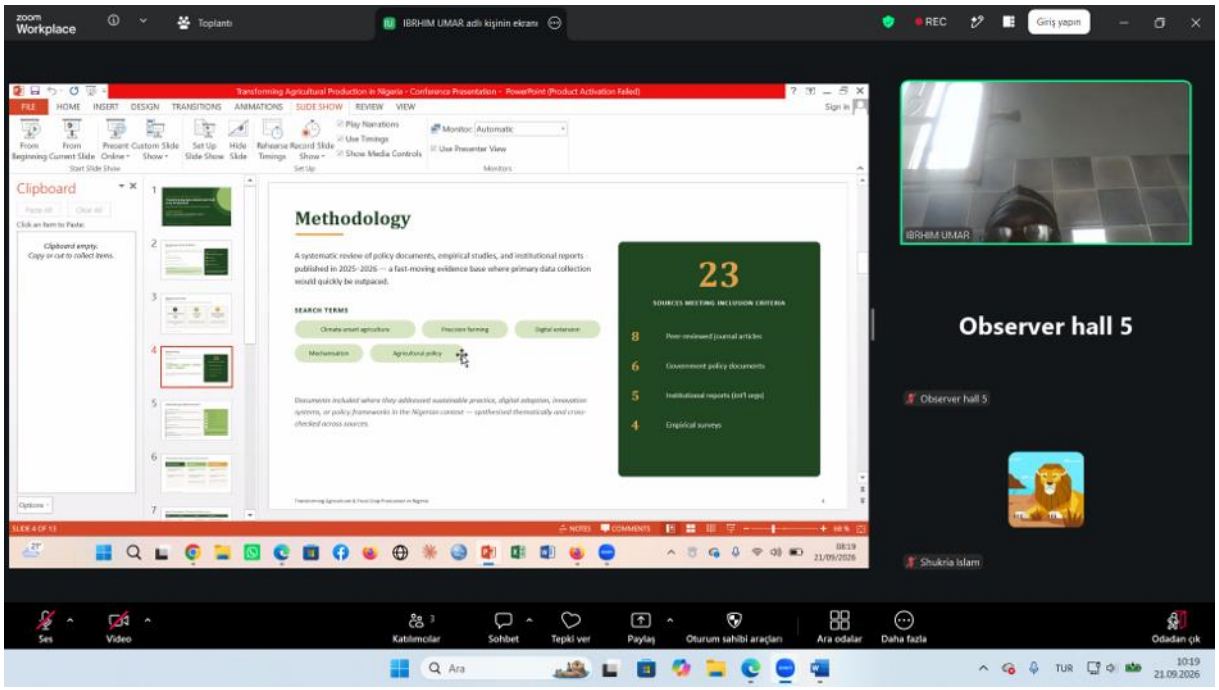

Analytical Perspective
TikTok culinary content
Persuasive linguistic strategies
Food appeal & consumer evaluation
Experience & place positioning
1
Pragmatics interprets meaning in relation to context, communicative purpose, participants, and social action.
2
The study focuses on linguistic expressions while treating visual and situational information as contextual support.
3
Key idea: food is not only displayed; it is evaluated, valued, compared, popularized, and situated.
Observer Hall 6
H6-Afriana
Observer Hall 6
H: 6 Christopher Akpan
Yetunde Eunice Ajibade

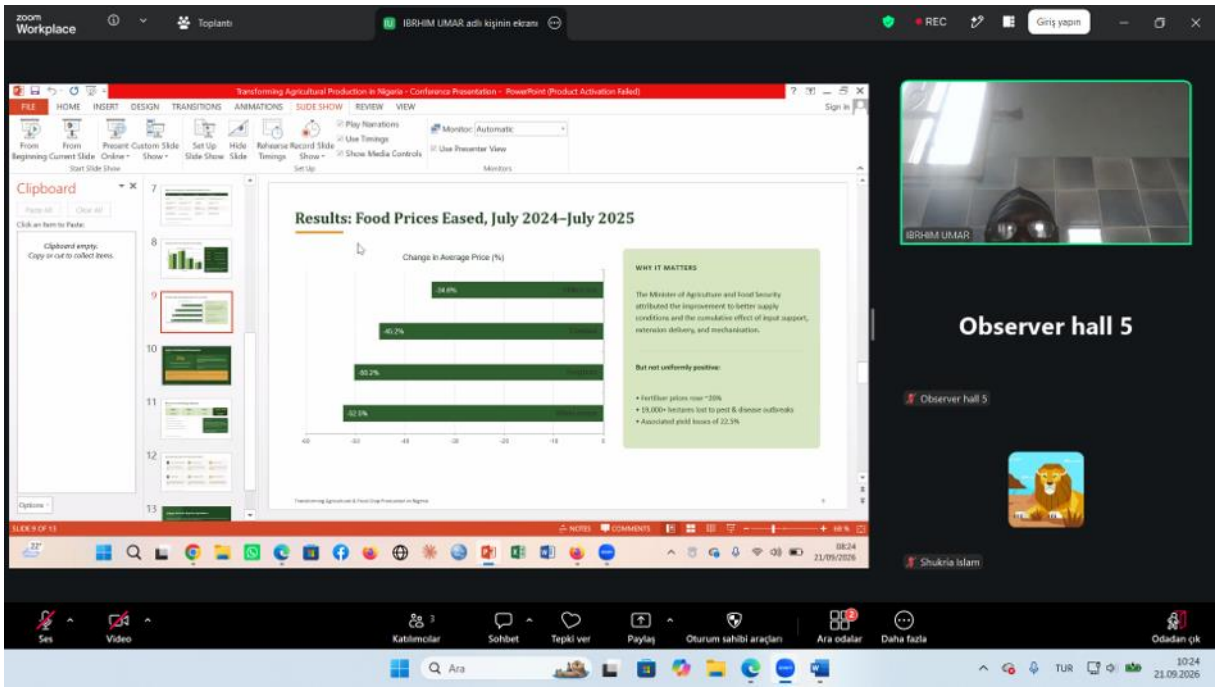

zoom Workplace
Toplantı
Yetunde Eunice Ajibade adlı ...
REC
Giriş yapın
RESULTS AND DISCUSSION
Observer Hall 6
H6-Afriana
Observer Hall 6
H: 6 Christopher Akpan
Yetunde Eunice Ajibade
S 2-H 6_Ristina...
S 2-H 6_Ristina Siti Sundari-Indo..
Ses
Video
Katılımcılar
Sohbet
Tepki ver
Paylaş
Oturum sahibi araçları
Ara odalar
Daha fazla
Odadan çık
Ara
13:17
21.09.2026

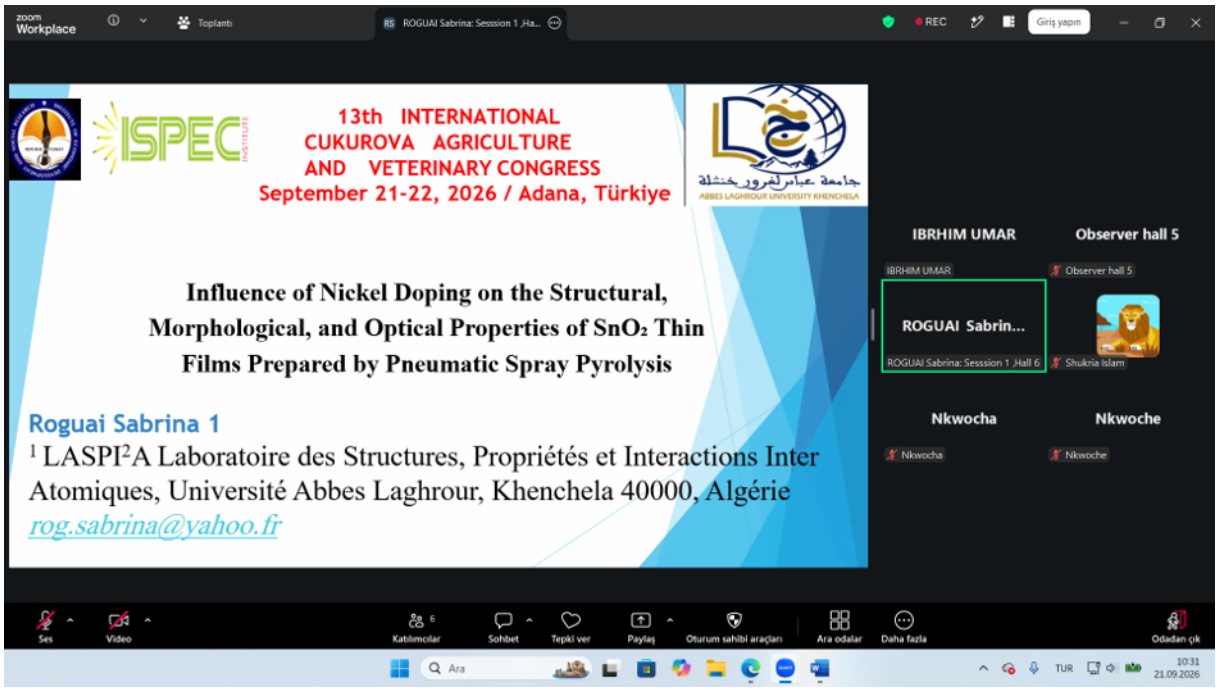

zoom Workplace
Toplantı
H6-Afriana adlı kişinin ekranı
REC
Giriş yapın
Results: Video-Level Prevalence
Sensory / evaluative 84%
Local / place 76%
Product variety / choice 72%
Novelty / popularity 64%
Price / value / promotion 56%
Experiential / lifestyle 28%
Authenticity / quality 24%
Directive / engagement 4%
0
20
40
60
80
100
Videos (%)
Observer Hall 6
H6-Afriana
Observer Hall 6
S 2-H 6_Ristina...
H: 6 Christopher Akpan
S 2-H 6_Ristina Siti Sundari-Indo..
Yetunde Eunice Ajibade
2 atanmamış katılımcı
Ses
Video
Katılımcılar
Sohbet
Tepki ver
Paylaş
Oturum sahibi araçları
Ara odalar
Daha fazla
Odadan çık
Ara
13:03
21.09.2026

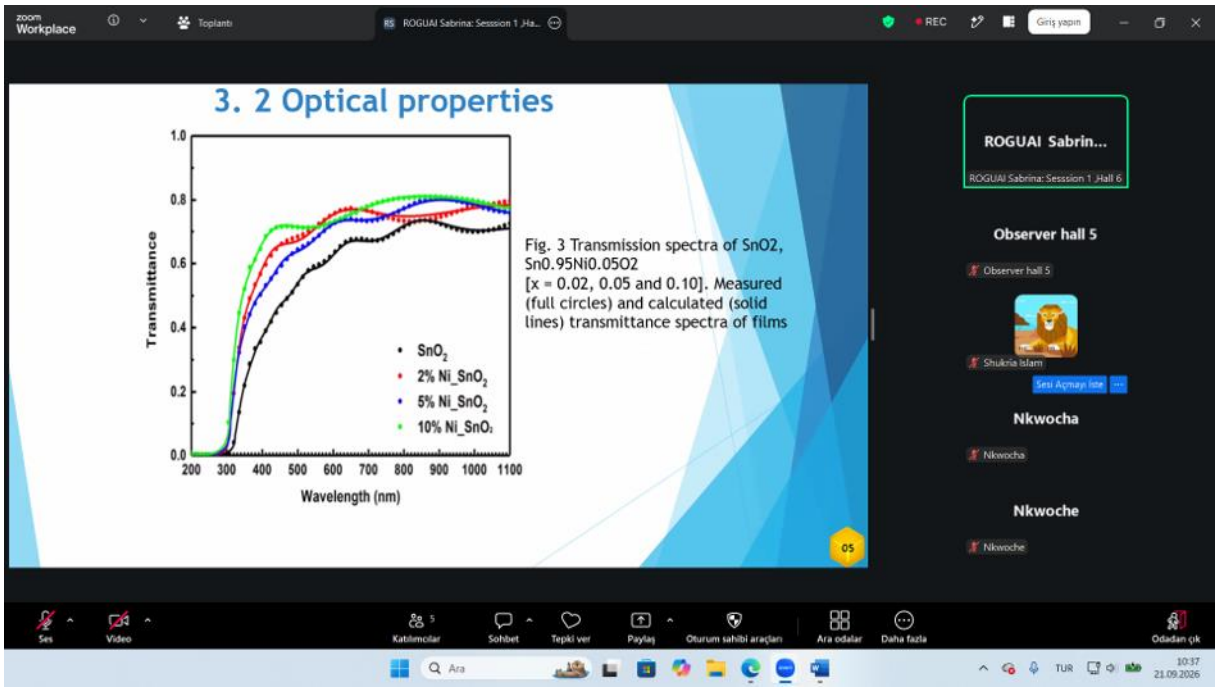

Design of Research
Test of Unit Root
Observer hall 5
Shukria Islam
3 atanmamış katılımcı

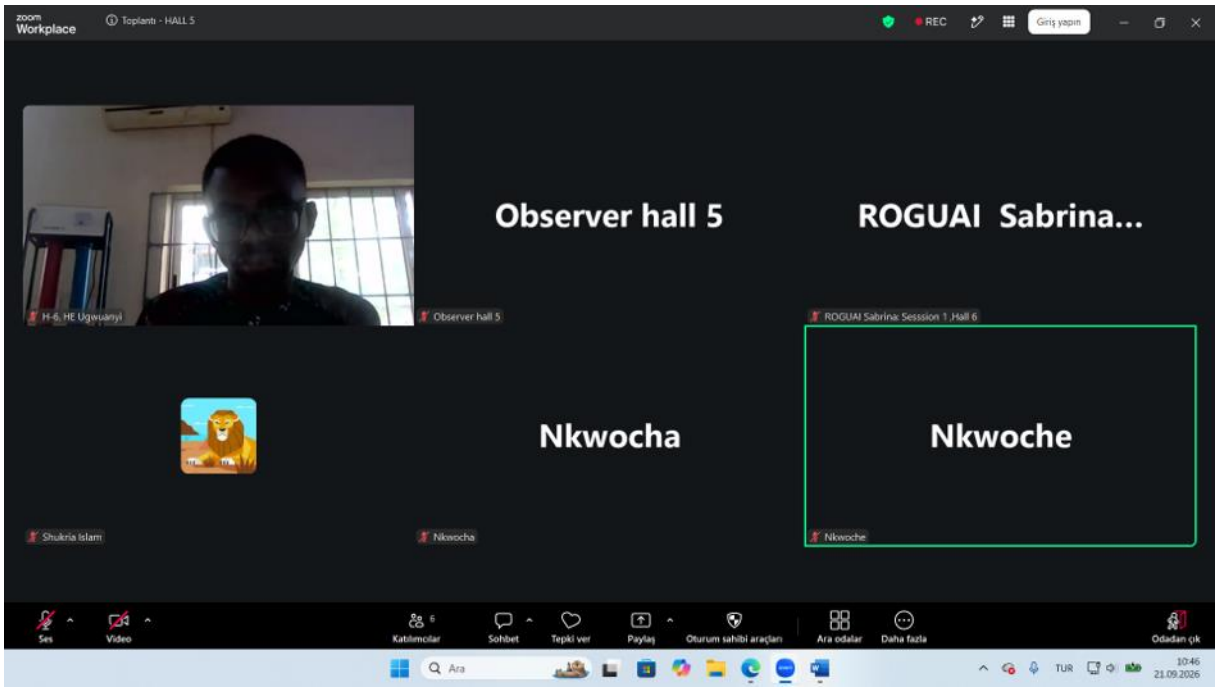

Transforming Agricultural and Food Crop Production
through Sustainable Practices, Innovation, and Digital Technologies in Nigeria
Observer hall 5
Shukria Islam
H-6, HE Ugwuanyi

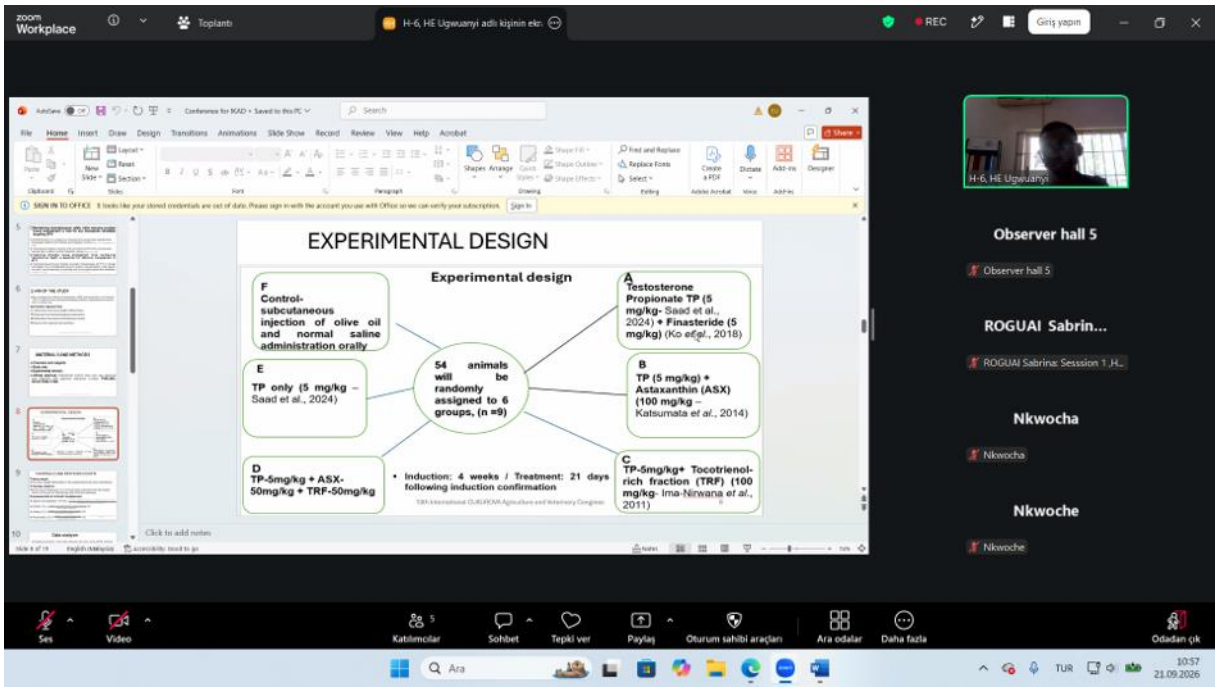

Methodology
23
Observer hall 5
IBRHIM UMAR

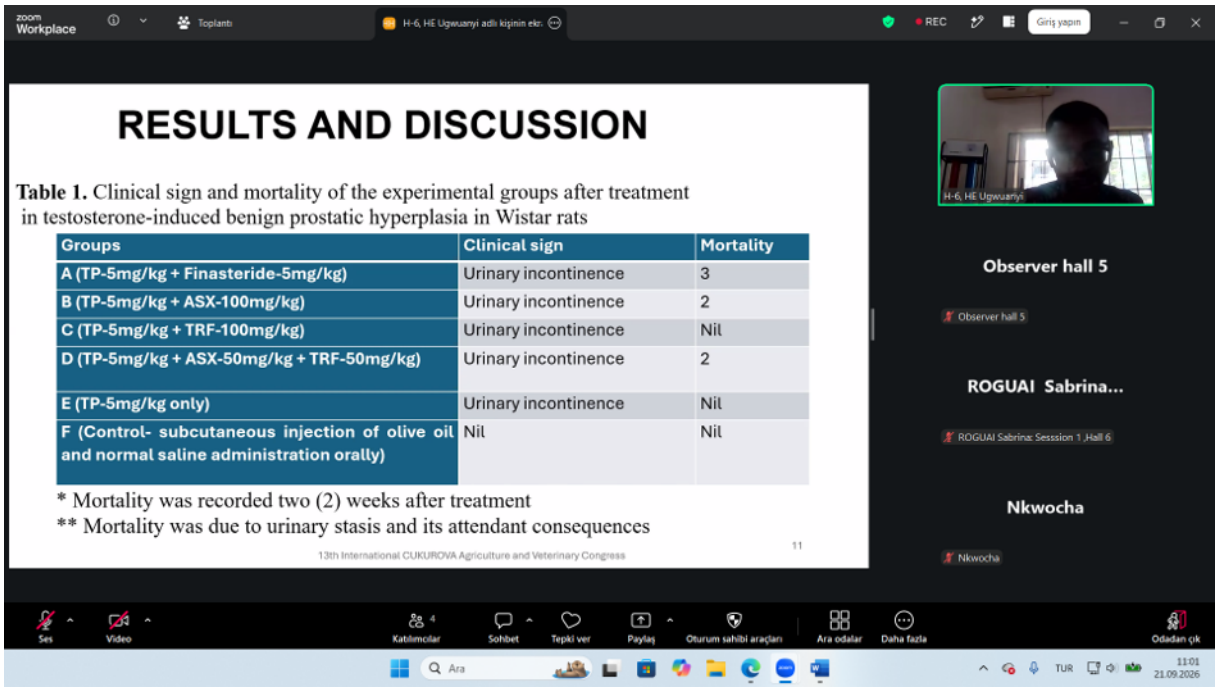

Results: Food Prices Eased, July 2024–July 2025
Observer hall 5
IBRHIM UMAR


13th INTERNATIONAL
CUKUROVA AGRICULTURE
AND VETERINARY CONGRESS
September 21-22, 2026 / Adana, Türkiye
Influence of Nickel Doping on the Structural, Morphological, and Optical Properties of SnO₂ Thin Films Prepared by Pneumatic Spray Pyrolysis
Roguai Sabrina 1
[1] LASPI²A Laboratoire des Structures, Propriétés et Interactions Inter Atomiques, Université Abbes Laghrour, Khenchela 40000, Algérie
rog.sabrina@yahoo.fr
IBRHIM UMAR
Observer hall 5
ROGUAI Sabrin...
Nkwocha
Nkwoche


3. 2 Optical properties
Transmittance
Wavelength (nm)
SnO2
2% Ni_SnO2
5% Ni_SnO2
10% Ni_SnO2
Fig. 3 Transmission spectra of SnO2, Sn0.95Ni0.05O2 [x = 0.02, 0.05 and 0.10]. Measured (full circles) and calculated (solid lines) transmittance spectra of films
ROGUAI Sabrin...
Observer hall 5
Nkwocha
Nkwoche


Observer hall 5
ROGUAI Sabrina...
Nkwocha
Nkwoche
H-6, HE Ugwuanyi
Observer hall 5
ROGUAI Sabrina: Sesssion 1 ,Hall 6
Shukria Islam
Nkwocha
Nkwoche


EXPERIMENTAL DESIGN
Experimental design
F
Control- subcutaneous injection of olive oil and normal saline administration orally
E
TP only (5 mg/kg – Saad et al., 2024)
D
TP-5mg/kg + ASX-50mg/kg + TRF-50mg/kg
54 animals will be randomly assigned to 6 groups, (n =9)
A
Testosterone Propionate TP (5 mg/kg- Saad et al., 2024) + Finasteride (5 mg/kg) (Ko et al., 2018)
B
TP (5 mg/kg) + Astaxanthin (ASX) (100 mg/kg – Katsumata et al., 2014)
C
TP-5mg/kg+ Tocotrienol-rich fraction (TRF) (100 mg/kg- Ima-Nirwana et al., 2011)
• Induction: 4 weeks / Treatment: 21 days following induction confirmation
H-6, HE Ugwuanyi
Observer hall 5
ROGUAI Sabrin...
Nkwocha
Nkwoche



RESULTS AND DISCUSSION

Table 1. Clinical sign and mortality of the experimental groups after treatment in testosterone-induced benign prostatic hyperplasia in Wistar rats

Groups	Clinical sign	Mortality
A (TP-5mg/kg + Finasteride-5mg/kg)	Urinary incontinence	3
B (TP-5mg/kg + ASX-100mg/kg)	Urinary incontinence	2
C (TP-5mg/kg + TRF-100mg/kg)	Urinary incontinence	Nil
D (TP-5mg/kg + ASX-50mg/kg + TRF-50mg/kg)	Urinary incontinence	2
E (TP-5mg/kg only)	Urinary incontinence	Nil
F (Control- subcutaneous injection of olive oil and normal saline administration orally)	Nil	Nil

* Mortality was recorded two (2) weeks after treatment
** Mortality was due to urinary stasis and its attendant consequences

13th International CUKUROVA Agriculture and Veterinary Congress 11

Observer hall 5
ROGUAI Sabrina...
Nkwocha

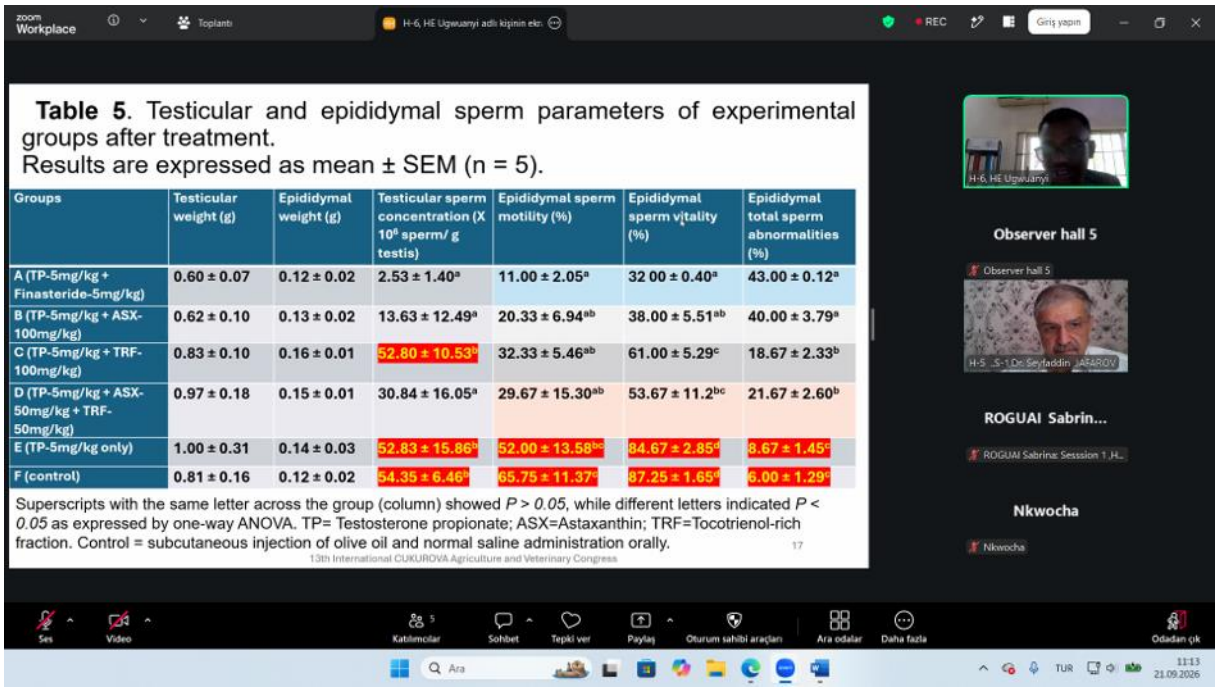


Table 5. Testicular and epididymal sperm parameters of experimental groups after treatment.
Results are expressed as mean ± SEM (n = 5).

Groups	Testicular weight (g)	Epididymal weight (g)	Testicular sperm concentration (X 10^6 sperm/ g testis)	Epididymal sperm motility (%)	Epididymal sperm vitality (%)	Epididymal total sperm abnormalities (%)
A (TP-5mg/kg + Finasteride-5mg/kg)	0.60 ± 0.07	0.12 ± 0.02	2.53 ± 1.40^a	11.00 ± 2.05^a	32 00 ± 0.40^a	43.00 ± 0.12^a
B (TP-5mg/kg + ASX-100mg/kg)	0.62 ± 0.10	0.13 ± 0.02	13.63 ± 12.49^a	20.33 ± 6.94^{ab}	38.00 ± 5.51^{ab}	40.00 ± 3.79^a
C (TP-5mg/kg + TRF-100mg/kg)	0.83 ± 0.10	0.16 ± 0.01	52.80 ± 10.53^b	32.33 ± 5.46^{ab}	61.00 ± 5.29^c	18.67 ± 2.33^b
D (TP-5mg/kg + ASX-50mg/kg + TRF-50mg/kg)	0.97 ± 0.18	0.15 ± 0.01	30.84 ± 16.05^a	29.67 ± 15.30^{ab}	53.67 ± 11.2^{bc}	21.67 ± 2.60^b
E (TP-5mg/kg only)	1.00 ± 0.31	0.14 ± 0.03	52.83 ± 15.86^b	52.00 ± 13.58^{bc}	84.67 ± 2.85^d	8.67 ± 1.45^c
F (control)	0.81 ± 0.16	0.12 ± 0.02	54.35 ± 6.46^b	65.75 ± 11.37^c	87.25 ± 1.65^d	6.00 ± 1.29^c

Superscripts with the same letter across the group (column) showed $P > 0.05$, while different letters indicated $P < 0.05$ as expressed by one-way ANOVA. TP= Testosterone propionate; ASX=Astaxanthin; TRF=Tocotrienol-rich fraction. Control = subcutaneous injection of olive oil and normal saline administration orally.

13th International CUKUROVA Agriculture and Veterinary Congress 17

Observer hall 5
ROGUAI Sabrin...
Nkwocha

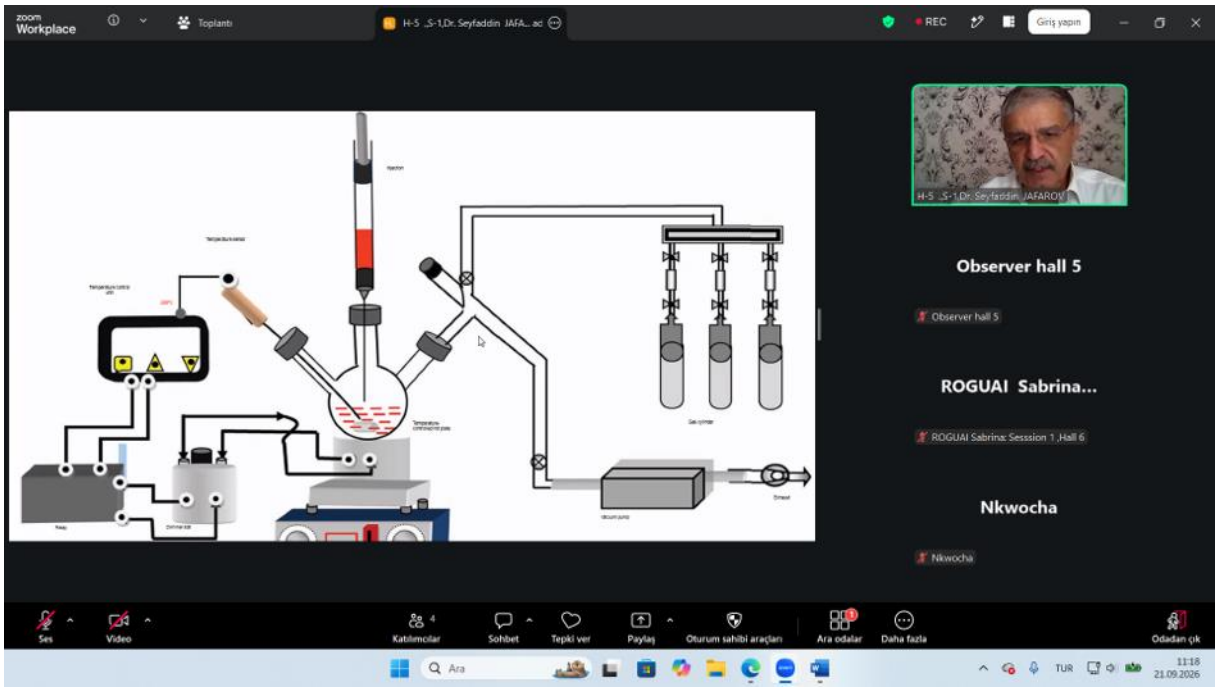

zoom Workplace
Toplantı
REC
Giriş yapın
Observer hall 5
ROGUAI Sabrina...
Nkwocha
Ses
Video
Katılımcılar
Sohbet
Tepki ver
Paylaş
Oturum sahibi araçları
Ara odalar
Daha fazla
Odadan çık

TABLE OF CONTENTS

UTHOR(S)	PRESENTATION TITLE	No
Erhan KAHYA	Learning-dynamics-oriented optimization of yolov12 for green bean detection	1
1Ebru AKIN	Effects of Time of Day of Harvest on Essential Oil Yield and Chemical Composition in Medicinal and Aromatic Plants	22
Ahmet Cihat TUNÇ *Sercan Hüseyin BAYENDUR*	Evaluation of the relationships between homocysteine, neutrophil-to-lymphocyte ratio, and acid-base parameters in neonatal calves with diarrhea	30
Fatih BÜYÜKFİLİZ *Korkmaz BELLİTÜRK* *Bekir AÇIKBAŞ*	Assessment Of Drought And Climate Conditions In Turkiye: The Case Of Süleymanpaşa District, Tekirdağ Province	32
Fatih BÜYÜKFİLİZ *Korkmaz BELLİTÜRK*	Evaluation Of Microplastics In Agricultural Production	39
Aydemir BARIŞ *Cenk YÜCEL* *Ekrem ATAKAN*	Thrips (Thysanoptera) Species Associated With Cumin (Cuminum cyminum L.): First Records And Preliminary Observations From Türkiye	45
Kubra OZDEMİR DİRİK	Determination of Drought Tolerance At The Early Growth Stage Of Some Durum Wheat Cultivars	47
Mesut ÇOŞLU	Comparison Of Different Digital Elevation Models At The Basin Scale: A Case Study Of The Burdur Basin	54
Neslişah ÖZMEN *Mehmet SİNCİK*	Potential Of Indian Mustard As An Energy Crop	65
Sena ÇELİK *Mehmet SİNCİK*	The Importance And Usage Areas Of The Kenaf Plant	69
Sena ÇELİK *Gökhan ŞEN*	Probiotics, Prebiotics, And Postbiotics In Poultry	72
Emre YILMAZ	Effect Of Short-Term Exposure To High Ambient Temperature On Aerobic Deterioration In Corn Silage	93
Onur YILDIRIM *Ali GÜLAYDIN*	Surgical Management Of Concurrent Mandibular Body And Supracondylar Femoral Fractures Following A Fall From Height In A Cat	98
Selda DURAN-YELKEN *Zelfinaz AYDIN*	Viral Respiratory Pathogens In Cattle With Respiratory Disease In Kastamonu, Türkiye	105
Büşra ASLAN AKYOL *Nurullah GÜÇLÜ* *Kübra DELİKLİTAŞ* *Oğuzhan KORKUT* *Fazilet ŞEN METİN* *Cengiz GÖKBULUT*	Development of a Rapid and Sensitive HPLC Analysis Method for the Determination of Antiparasitic Macrocyclic Lactone Residues in Edible Sheep Tissues	107
Meltem SAĞIROĞLU *Gözde ARKALI* *Edanur GÜLER EKMEN* *Mustafa FİRİK*	Investigation of the Effects of Thyme Oil on Cardiac Irisin and Cardiac Oxidative Stress Parameters in Hyperthyroid Rats	109
Mesut SIRRI	Investigation of the Allelopathic Potential of Inula thapsoides (M. Bieb. ex Willd.) Spreng. on Seed Germination and Seedling Growth of Selected Weed Species	111
Gülten SIRRI *Mesut SIRRI*	Weed Species Included in the List of Plants Permitted for Use in Food Supplements	118
Gizem ÖZTÜRK *Keziban YAZICI*	Genotype-Dependent Variation in Rooting and Root Development Performance of Tea Cuttings	128
Gizem ÖZTÜRK *Keziban YAZICI*	Renewal Of Aging Tea Plantations: Experiences Of Major Producer Countries And Strategic Approaches For Türkiye	130
Mehmet Sait KİREMİT *Hakan ARSLAN*	Humic acid dose responses in salicylic acid-treated wheat under saline soil conditions	132
Erdal ORMAN	Comparison of the Phenological, Morphological, and Pomological Performances of Some Native and Foreign Almond Genotypes under Yalova Ecological Conditions	142
LAZORENKO Andrii *BONDARENKO Iryna* *SHUMSKA Iryna*	Radioanatomical Characteristics Of The Hooves Of Trotting And Riding Horse Breeds	149
DANKEVYCH Nina	Diagnosis, Treatment, And Prevention Of Foreign Bodies In Small Companion Animals (A review)	150
MUHAMMAD FAISAL	Distributed Hub-and-Spoke Architecture for Centers of Excellence in AI (CoE-AI)	151

UTHOR(S)	PRESENTATION TITLE	No
Moses Adeolu AGOI *Olayemi Grace ABIMBOLA* *Oluwadamilola Peace AGOI* *Oluwanifemi Opeyemi AGOI*	Artificial Intelligence-Enabled Genomic Sequencing For Precision Detection And Prediction Of Antimicrobial Resistance In Veterinary Pathogens	152
Moses Adeolu AGOI *Olayemi Grace ABIMBOLA* *Oluwanifemi Opeyemi AGOI* *Oluwadamilola Peace AGOI*	Transforming Field Crop Production With Artificial Intelligence: Predictive Analytics For Yield, Nutrition, And Food Security	163
Bornare Ashwini	Artificial Intelligence and Machine Learning in Pharmaceutical Quality Assurance: Applications, Challenges and Future Perspectives	176
Agbaji Mercy Ene *Emmanuel Agada*	Antifungal activity of Garcinia kola (Bitter kola) on fungal isolates from spoilt tomatoes	177
Sumayya Akram *Matloob Ahmad* *Sana Aslam*	Exploring the Anticancer Potential of Plant, Marine, and Synthetic Glycosides	178
Ayobami Josiah Aderemi *Abdulrazaq Izuafa* *Oluwafemi Adebayo Oyewole*	Screening and Isolation of Chitosan-Producing Bacteria	179
VORONEANU-POPA Rareș-Vasile *CONSTANTINESCU Richard*	Informed Consent – Ethical and Legal Aspects	180
Shukria Islam	Exploring the Capital Structure and Testing of Applicable Theories: Empirical Evidence from Pharmaceutical and Chemical Companies in Bangladesh.	181
Ibrahim Umar *Ahmed Yusuf Mundi* *Buda Mohammed Kabir* *Yakubu Usman*	Transforming Agricultural and Food Crop Production through Sustainable Practices, Innovation, and Digital Technologies in Nigeria	182
Faiza Baghida *Mourad Boughrara* *Mohamed Kerouad*	First-Principles Investigation of Cu and Se Vacancies and Their Effects on the Properties of Cu_2Se.	189
Amna Yousaf	Climate Change and Food Security in South Asia: A Review of Observed Trends, Impacts, and Vulnerabilities	190
S.Rubin thara *M.K.Vijayalakshmi* *N.Arshad ahamed* *N.Manjula peratchi Devi* *R.Swathi* *E.Praveena*	Nutraceuticals: Bridging the Gap Between Food and Medicine	191
Babita Gupta,	Drug Repurposing Strategies for Neglected Tropical Diseases	192
Seyfaddin Jafarov	Nanotechnology İn Agriculture; Prosoects And İnnovations	193
Voroneanu-Popa Rareș-Vasile *Constantinescu Richard*	Similarities and Differences Between Medical and Veterinary Malpractice	197
Belete Debalkie	On Solution of Time- Fractional Nonlinear Partial Differential Equations	198
Maryem Arraji *Mohamed Khalis* *Mohamed Chahboune*	Use of artificial intelligence for medication adherence assessment in patients with type 2 diabetes: an exploratory study in Morocco using ChatGPT and the validated general medication adherence scale	199
Maroua RIAD *Ahmad AL-SHAMI* *Jamal MABROUKI*	Breast Cancer Metastasis: Molecular Mechanisms And Emerging Therapeutic Strategies	200
Sabrina Roguai	Influence of Nickel Doping on the Structural, Morphological, and Optical Properties of SnO_2 Thin Films Prepared by Pneumatic Spray Pyrolysis	201
Ugwuanyi HE *Aba PE* *Udem SC* *Odeghe UE* *Onyeke MC*	Effects Of Astaxanthin And Tocotrienols On Haematological And Reproductive Parameters In Testosterone-Induced Benign Prostatic Hyperplasia In Wistar Rats	202
Tarik Touiss *Driss Bria*	Electromagnetic transmission and defect induced resonances in a periodic cylindrical comb-like waveguide for tunable terahertz filters and dielectric sensors	203

UTHOR(S)	PRESENTATION TITLE	No
NKWOCHA, G.A. *Edih, M.C.* *Iwuagwu, C.E.* *Anosike F.C.* *Okoro, L.C.*	Canavalia Gladiata: An Underutilized Leguminous Crop For Food Security And Nutrition In Sub-Saharan Africa	204
Akpan, Christopher Anieken	Beautification and bio-safety farming: Cultivation of short-cycle African Legumes for aesthetic enhancement, weed suppression and income generation.	205
Liudmyla GARNYK *Oleg KATERYNYCH*	Economic And Social Structure Of Poultry Farming In Ukraine: Regional Transformation Under Wartime Conditions	206
Kenan Sezer *Saliha Kaya*	"Knowledge–Practice Gap Regarding Zoonotic Parasites Among Cat and Dog Owners: A Current Review from the Perspective of Preventive Behaviors and One Health"	207
Oznur YILMAZ KOC *Tarık ŞAFAK*	Type II Vaginal Hyperplasia In A Pregnant Bitch: A Case Report	209
Doğan Can HANEY	Feline Infectious Peritonitis (FIP): Diagnosis And Treatment	211
Serya Tülin ÖZKÜTÜK *Fatih ÖZOĞUL*	Mechanisms Of Spoilage Inhibition By Lactic Acid Bacteria In Seafood Products	212
Serya Tülin ÖZKÜTÜK *Fatih ÖZOĞUL*	Postbiotics From Marine Lactic Acid Bacteria As Next-Generation Natural Preservatives For Seafood	213
Murat ER *Kanber KARA* *Eren KUTER* *Hulusi AKÇAY* *Sena Yılmaz Öztaş*	Effects Of Dry Matter Level On Microbial Distribution In Olive Cake-Containing Total Mixed Rations Ensiled At Different Dry Matter Ratios	214
Tolga Meriç Dümbek	Cpr In Dogs And Cats: Basic Life Support	216
Aysun SAĞIR *Sedat ÇAM*	Ameliorative Effects Of Azotobacter Strains And Macroalgal Extract On Maize Seedlings Under Drought Stress	217
Kemal YILDIRIM *Aysun ŞEHİT*	Effects Of Organic Applications On Tuber And Plant Traits Of Cultivated Salep Orchid (Serapias vomeracea) Under Eastern Black Sea Conditions	218
Alperen KURT *Aysun ŞEHİT*	Effects Of Nutrient And Bioactive Applications On Cold-Induced Cellular Damage And Tissue Viability In Grapevine Buds	223
Bekir PARLAK *Gül Beril ÇALIŞKAN*	Analysis of Agricultural Production Dynamics in Yenişehir District Using Koyck and Almon Models	230
Merve Dilek KARATAŞ	Biotechnological Approaches To Improving Abiotic Stress Tolerance In Plants	237
Hilal YILMAZ *Sibel Boysan CANAL*	The Role of Siderophore-Producing Rhizobacteria in Iron (Fe) and Zinc (Zn) Biofortification	238
Zeynep KİLCİ *Ramazan Ülkü ÇETİN* *Melike CİNİVİZ*	Sensory Evaluation Of Red Beet Sauces Produced With Different Formulations And Determination Of Selected Quality Characteristics Of The Preferred Formulation	248
Sibel Boysan CANAL *Hilal YILMAZ*	Effects of AMF and Organic Amendments on Soil and Rapeseed Microelement Levels under Cd and Cr Stress	250
Selim ÖZDEMİR *Erdal ÇAÇAN*	Production Potential, Feed Value, and Utilization Possibilities of Alternative and Lesser-Known Forage Crops in Roughage Production	255
S. Sivasakthi	Ai-Based Early Disease Detection and Intelligent Monitoring	256
Yalçın Alper ÖZTURAN	Radiographic Cardiac Area Index in Dogs with Cardiogenic Interstitial Pulmonary Edema: Agreement Between Right Lateral and Ventrodorsal Views	257
Aykut ZEREK *İpek ERDEM*	Current Changes in Microsporidia Taxonomy: From Nosema to Vairimorpha	258
Yağmur DEMIREL	Potential Effects of Stinging Nettle (Urtica dioica L.) On Cancer	260
Merve ÜNVER *Ali ÜNVER*	A Case of Unilateral Fetal Mummification İn A Twin-Pregnant Ewe	265
İlyas RAT *Erdal KÜÇÜK*	Determination of Population Density of Bemısia tabaci GENN. (Hemiptera: Aleyrodidae)] and Empoasca spp. (Hemiptera: Cicadellidae)] in Different Eggplant Genotypes and Varieties	267
Abdelghani Bouchyoua *Abdelmajid Khabbach* *Laila ouardi* *Khalil Hammani* *Abdelghani Nabloussi*	Rapeseed genotypes under contrasting water regimes: a field selection	273

UTHOR(S)	PRESENTATION TITLE	No
Matthew Durojaiye Ayeni *Ibukun Elizabeth Ojo* *E. A Kolawole* *O. A. Oluwadare*	Digital Financial Services Adoption and Agricultural Productivity Among Smallholder Farmers in Kwara State, Nigeria: Implications for Sustainable Development Goals	274
DAHMOUCH Zineb *AZDEM Driss*	Green Hydrogen Production in Water-Scarce Regions: Water Demand, Desalination, and Implications for Agricultural Water Security	275
Fateme Asadi Touranlou *Mobina Moshirian*	Climate-Driven Shifts in Seafood-Borne Vibrio Risk: A Systematic Review of Warming Waters and Changing Foodborne Illness Patterns	276
Mobina Moshirian *Fateme Asadi Touranlou*	Extended Producer Responsibility and Food-Contact Packaging Safety: A Systematic Review of Recycled and Bio-Based Material Migration Risks	277
Mobina Moshirian *Fateme Asadi Touranlou*	Food Safety Risks of 3D-Printed and Personalized Nutrition Foods: A Systematic Review of Emerging Hygiene and Regulatory Challenges	278
Subhasis Roy	Chemical Approaches to Addressing the Instability and Toxicity of Perovskite Based Thin Films Solar Cells	279
DAHMANE Thoraya *KACI Zakia* *AROUS Ali* *KARAHACANE Taher*	Inventory Of Medicinal Plants In The Azazga Region (Tizi-Ouzou)	280
Baltabayeva Mubarak İsmailovna *Keldibek Nurbakıt Nursayınkızı*	The Effectiveness of Using Virtual Laboratories in Biology Education	281
Kyzaikhan Utegenova	Developing Students' Logical Thinking In Mathematics Lessons Through The Use Of Interactive Technologies	288
Azhibekova Perizat	Algeria: The Fate Of Women And Children During Years Of Political Repression	291
K.Aruna *T.Karunasaghar*	Social Impact of Artificial Intelligence: Opportunities, Challenges and the Way Forward	295
Saem Oeun *Kimkong Heng* *Sereyrath Em*	Examining The Perceived Effects Of Students' Failure In The English Subject In National Grade 12 Examinations In Cambodia: A Qualitative Case Study	296
Mahvish Javed	Sacral Hiatus: A Study of Its Anatomical Variations in Dry Sacra	297
Moses Adeolu AGOI *Emmanuel Taiwo AGOI* *Oluwanifemi Opeyemi AGOI* *Oluwadamilola Peace AGOI*	Blockchain-Enabled Iot Architecture For Intelligent, Transparent, Secure, And Sustainable Farm-To-Fork Food Traceability Across Next-Generation Agricultural Supply Chains	298
Temitope Banjo *Mayowa Olabode* *Yewande Olojo*	Microbiological, Aflatoxin and sensory evaluation of garri samples produced and sold in Adie owe community, Ogun state, Nigeria	309
Umar Baba Shaaba	Green Accounting And Corporate Environmental Performance: Emerging Evidence From Nigeria	310
Umar Baba Shaaba	Accounting Education And The Development Of Digital Competencies Among University Students	311
Valery V. Belakhov	The Use Of Tetraene Macrolide Antibiotic Natamycin In Agriculture As Highly Effective Ecologically Safe Fungicide For Plant Protection	312
Ajibade, Y.E. *Ayeni, M.D.* *Folayan, J.A.*	Determinants Of Farming Households' Income And Challenges After Fuel Subsidy Removal In Kogi State, Nigeria	313
Saksham Srivastava *Khushi Tiwari*	Ashes of Neglect: Crop Residue Burning, Agrarian Distress, and the Limits of India's Environmental Law	314
Guma, Edward Pishikeni *Shuaibu, Shuaibu Jamiu* *Musa, Gbaje Wumani* *Musa, Richard*	Multifaceted Drivers of Food Insecurity in Kogi State: A Mixed-Methods Study of Communal Clashes, Agricultural Practices, and Infrastructure Gaps	319
Afriana *Zia Hisni Mubarak* *Sipri Hanus Tewarat*	Persuasive Language And Culinary Promotion On Tiktok: A Pragmatic Analysis Of Food-Related Content In Batam, Indonesia	320
Memiş SARI *Engin TAKIL* *Nihal KAYAN*	The Effects of Different Herbicide Application Methods and Weed Control Methods on Morphological Characteristics and Yield Of Common Bean (Phaseolus vulgaris L.)	321
Gamze AYDIN ERYILMAZ	Assessment of the Economic Impacts of Bacterial, Fungal, and Viral Cereal Diseases	323
Vahit AĞIR	Molecular Basis Of Developmental Competence And Hatching Capacity In Bovine Embryos	333

UTHOR(S)	PRESENTATION TITLE	No
Fatiha CHAGANE *Hamid ESSABIR*	From Agricultural Residues to Sustainable materials	335
İhsan Serkan VAROL	Response of Germination and Early Seedling Growth of the Oat (Avena sativa L.) Cultivar Kahraman to Increasing NaCl Concentrations	337
Hülya ŞEREFLİŞAN *Menderes ŞEREFLİŞAN*	Permanent Substrate Cementation in Spondylus Species (Bivalvia: Spondylidae): Structural and Biomineralization Basis of the Shell–Substrate Interface and Its Biomimetic Potential	345
Hülya ŞEREFLİŞAN *Menderes ŞEREFLİŞAN*	Byssal Adhesion in Dreissena polymorpha (Bivalvia: Dreissenidae): Structural and Molecular Mechanisms and the Roles of DOPA and Non-DOPA Components	359
Ferda ÖZKORKMAZ *Ayşe Özge ŞİMŞEK SOYSAL* *Buse TAGAY BİCE*	Effect of different iron doses on stomatal characteristics and spad values in cowpea (Vigna unguiculata L.) plants	367
Ferda ÖZKORKMAZ *Buse TAGAY BİCE* *Ayşe Özge ŞİMŞEK SOYSAL*	Effect of different iron doses on some vegetatif development of the cowpea (Vigna unguiculata L.) plant	370
Laiba Hameed *Syed Mohsan Raza Shah* *Sania Abid Fateh* *Asia Kainat* *Tauseef Nawaz* *Aqsa Mahnoor* *Muhammad Farooq*	Neem Leaf Extract-Mediated Mitigation of Drought Stress in Zea mays L.: Structural and Functional Responses	373
KUJORE Oludotun Idowu	Genetically Modified Foods And Yoruba Philosophy: An Indigenous Perspective On Food, Nature And Human Wellbeing	374
Owoyemi, S. I.	Integrated Geoelectrical Characterization And Evaluation Of Subsurface Resistivity Distribution Using Vertical Electrical Sounding In A Tropical Basement Complex Terrain: A Case Study Of Igem City, Alakia–Adegbayi, Ibadan, Southwestern Nigeria	375
Dovletova Shirinjemal *Dovletova Guljemal* *Muhammetdurdyyeva Mayajan*	Development Of A Natural Bioindicator From Pomegranate Peels For Sustainable Ph Detection	376
Dovletova Shirinjemal *Dovletova Guljemal* *Muhammetdurdyyeva Mayajan*	Sustainable Fabrication Of A Natural Polymer-Based Bioplastic Using Agar, Gelatin, And Glycerin: A Low-Cost Approach To Eco-Friendly Material Design	380
Dovletova Shirinjemal *Dovletova Guljemal* *Muhammetdurdyyeva Mayajan*	Development Of Sustainable Construction Materials From Recycled Plastic Wastes And Rubber Crumbs	385
Misbah Asmae *Houmy Nadia* *Khallou Abdelhak*	Postharvest Handling And Quality Management Of Citrus Fruit In Commercial Packing Facilities In Berkane, Morocco	389
MISBAH Asmae *BOUAZZAOUI Adnane* *KHALLOU Abdelhak* *Harnafi Zineb* *HOUMY Nadia* *KHALLOUF Hanane* *ABOUKHALID Kaoutar*	Phytochemical Profiles and Antioxidant Properties of Loquat (Eriobotrya japonica) Leaves, Seed Coats, and Kernels from Zegzel, Morocco	390
Maryjane Adaobi Obi	Effect of Goron Tula (Azanza garckeana) Syrup on the Sensory Properties and Mineral Composition of Zobo (Hibiscus sabdariffa) Beverage	391
Maryjane Adaobi Obi *Obianuju Eneasato*	Sensory and Proximate Evaluation of Bread Spread Produced from Blends of Cashew Nut Paste and Date Fruit Syrup	392
Helda Syahfari *Noor Jannah*	Invontory Of Leaf Spot Disease (Curvularia Sp.) At The Oil Palm Nursery Of Pt Ketapang Hijau Lestari2 In Abit Village, Mook Manaar Bulatn Sub District Of West Kutai Distric	393
Abdul Rahmi *Marisi Napitupulu*	Pengaruh Pupuk Kompos Dan Pupuk Organik Cair Nasa Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Mentimun (Cucumis sativus L.) Varietas Misano F1	394
Zuhdi yahya *Legowo kamarubayana*	Analysis Of Soil Chemical Properties Characteristics In Coal Pre And Post Mining Land In Pt Trubaindo Coal Mining, West Kutai Regency, East Kalimantan Province	395
Jumani *Heni Emawati*	Potency Of Pole And Tree Level Stand In Education And Training Khdtk Forest Areal Loa Haur Kecamatan Loa Janan Kabupaten Kutai Kartanegara East Kalimantan Province	396
Abdul Fatah *Abdul Rahmi* *dan Maya* *Preva Biantary*	Overview The Strategic Agricultural Commodities As The Base For Determinating Improved Local Products At Village Level In Paser Regency Of East Kalimantan Province.	397

UTHOR(S)	PRESENTATION TITLE	No
Ismail, Mohammad Taufan *Tirkaamiana* *Rolly Yulianthi*	Study On The Development Of Social Forestry Activities In The Utilization Of Dumaring River Park Ecotourism In Dumaring Village, Berau Regency As A Assisted By Uptd Kphp Berau Pantai	398
Jumani Naqiyyah Ariska *Januati* *Karolina Sherly Orianto* *Zevie Tresna Evrizal* *Heni Emawati*	Younger Generation Awareness Of The Mangrove Ecosystem	399
Kaoutar Aboukhalid *Soufiane Elaayadi* *Taha Nour* *Abdesselam Maâtougui* *Hanane Khallouf* *Mounsef Neffa*	Enhancing Climate Change Adaptation in Grazing Systems through Integrated Forage Quality Assessment and Indigenous Knowledge	400
Kaoutar Aboukhalid *Abdesselam Maâtougui* *Hanane Khallouf* *Mounsef Neffa*	Adaptive Responses of Pastoral Species to Arid Climate Conditions in Eastern Morocco	401
Kaoutar Aboukhalid *Chaouki Al Faiz* *Nathalie Machon* *Mohamed Bakha* *Abdelkarim Khiraoui* *Mounsef Neffa*	Preserving Morocco’s Botanical Heritage: Genetic Insights into Two Endemic Origanum Species	402
Elkady A A *Gerish E KH* *Abu Irkheis A M*	Metabolic and Inflammatory Changes in Mastitic Dairy Cows: The Role of Oxidative Stress and The Therapeutic Potential of Antioxidant Supplementation	403
Ogunlade S.O	Geospatial Assessment Of The Impact Of Climate On The Performance Of Futa Research Farm	405
Merve NENNİ	Evaluation Of The In Vitro Antioxidant Activity Of Salvia Sclarea L. Essential Oil Using The Dpph Assay	406
Hatice Şeyma YÜCEL	Mınıature Vegetables And Theır Uses	408
Undang *Ristina Siti Sundari* *Rizky Adi Nugraha Tarigan* *Shazma Anwar* *Korkmaz Bellitürk*	The Effect Of Different Led Intensities And Growing Media On Microgreens Cowpea (Vigna unguiculata L. Walp) Agribusiness	410
Muazzez DEĞERLİ *ERDOĞAN* *Arzu ÇIĞ*	Effects Of The Beneficıal Bacterıum Paenarthrobacter Nıtroguajacolıcus (Kf3b) And Dıfferent Moısture Levels On The Shoot Yıeld Of Oleander Cuttıngs	419
Dilan KARATAŞ *M. Zeki KARİPÇİN*	Effects Of Peg 6000-Induced Osmotıc Stress On Shoot Bıomass And Adventıtıous Root Spread In Watermelon Seedlıngs	428
İrem AVCI *M. Zeki KARİPÇİN*	Morphologıcal Responses Of Two Pepper Genotypes To Carob Molasses Applıcatıons	435
Muazzez DEĞERLİ *ERDOĞAN* *Arzu ÇIĞ*	Effects of the Beneficial Bacterium Paenarthrobacter nitroguajacolicus (KF3B) and Different Moisture Levels on the Rooting of Oleander Cuttings	446
Mustafa ÇİRKA	Effects of Salt Stress on Plants	455
Faruk AKKAŞ *Gökhan BAKTEMUR*	MORPHOLOGICAL RESPONSES OF LETTUCE CULTIVARS TO IN VITRO DROUGHT STRESS	461

INVITED SPEAKER

Global climate change has emerged as one of the most significant environmental pressures fundamentally affecting agricultural production systems. Rising atmospheric CO_2 concentrations, increasing temperatures, erratic precipitation patterns, and the resulting increase in the frequency of drought, flood, and salinity stresses profoundly alter nutrient uptake, transport, and use efficiency in plants. These changes not only disrupt the physical balances within the soil-plant-atmosphere system but also directly impact plants' requirements for -and access to -macronutrients such as nitrogen, phosphorus, and potassium, as well as micronutrients like iron, zinc, and manganese.

While it is known that rising CO_2 levels stimulate plant growth by increasing the rate of photosynthesis, this phenomenon is also accompanied by "nutrient dilution"-a process in which the protein and mineral content within plant tissues relatively decreases. This situation poses a serious threat to both the quantity and the nutritional quality of plant production. Furthermore, rising temperatures and drought stress limit nutrient uptake by adversely affecting root development and symbiotic relationships such as mycorrhizal associations, whereas salinity exacerbates antagonistic interactions between nutrient elements through ion imbalance.

The impacts of climate change on plant nutritional physiology are addressed at molecular, physiological, and agronomic levels, while the adaptive mechanisms plants develop in response to these stress conditions-such as alterations in root architecture, variations in the expression levels of transport proteins, and biochemical signaling pathways-are evaluated in light of current literature. Furthermore, adaptive strategies developed for sustainable agricultural production are examined within the scope of breeding climate-resilient varieties, precision fertilization approaches, the use of biostimulants and microbial fertilizers, and practices aimed at improving soil health.

Understanding and effectively managing plant nutrition under changing climate conditions necessitates an interdisciplinary approach to ensure food security sustainably. The current body of scientific knowledge presented here aims to offer a holistic perspective to researchers and practitioners working in the field.

Assoc. Prof. Dr. Neriman Tuba BARLAS
Ege Unıversity, Faculty of Agriculture, Department of Soil Science and Plant Nutrition
İzmir, Türkiye

LEARNING-DYNAMICS-ORIENTED OPTIMIZATION OF YOLOv12 FOR GREEN BEAN DETECTION

Dr. Erhan KAHYA
Computer Programming Programme, Department of Computer Technologies, Vocational School of Technical Sciences, Tekirdağ Namık Kemal University, Tekirdağ, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-7768-9190

Özet
Doğal tarım koşullarında yeşil fasulye baklalarının doğru biçimde tespit edilmesi; yoğun yaprak örtüsü, kısmi örtülme, baklalar ile çevredeki bitki örtüsü arasındaki renk benzerliği, üst üste binme ve değişken aydınlatma koşulları nedeniyle hâlen güç bir problemdir. Bu çalışmada, temel ağ mimarisini değiştirmeden YOLOv12 tabanlı yeşil fasulye tespit performansını geliştirmek amacıyla Learning-Dynamics-Oriented Stability Optimisation Framework (LD-SOF) önerilmiştir. Önerilen yaklaşım; optimizör, öğrenme oranı, weight decay, momentum, batch size ve veri artırma ayarlarının koordineli olarak düzenlenmesi yoluyla öğrenme dinamiklerini iyileştirmeyi amaçlamaktadır.
Çalışmada 459 görüntü ve 2.045 etiketlenmiş yeşil fasulye baklasından oluşan veri kümesi kullanılmış ve görüntüler %70 eğitim, %20 doğrulama ve %10 test alt kümelerine ayrılmıştır. Buna ek olarak, farklı bir görüntü kaynağındaki davranışı nitel olarak değerlendirmek amacıyla bağımsız olarak elde edilmiş 40 sera görüntüsü kullanılmıştır. İlk aşamada YOLOv8, YOLOv10, YOLOv11 ve YOLOv12 model aileleri karşılaştırılmış ve doğruluk ile hesaplama maliyeti arasındaki dengeye göre YOLOv12n temel model olarak seçilmiştir. İkinci aşamada modifiye YOLOv12 varyantları değerlendirilmiş ve YOLOv12n-mod, yüksek Recall ve Fitness değerlerini 2.6 M parametre ve 7.5 GFLOPs hesaplama maliyetiyle sağlaması nedeniyle LD-SOF optimizasyonunun başlangıç modeli olarak belirlenmiştir. Son aşamada LD-SOF uygulanarak YOLOv12n-SOF yapılandırması elde edilmiştir.
YOLOv12n-SOF modeli %77.59 Precision, %81.86 Recall, %79.67 F1-score, %83.61 mAP@0.5 ve %60.56 mAP@0.5–0.95 değerlerine ulaşmıştır. mAP@0.5–0.95 açısından model, başlangıç YOLOv12n modeline göre +4.28 yüzde puan, LD-SOF aşamasının doğrudan başlangıç noktası olan YOLOv12n-mod modeline göre ise +2.73 yüzde puan iyileşme sağlamıştır. Ablasyon analizi, optimizasyon bileşenlerinin farklı performans ölçütleri üzerinde farklı etkiler oluşturduğunu ve nihai yapılandırmanın özellikle lokalizasyon başarısı ile genel performans dengesi açısından güçlü sonuçlar verdiğini göstermiştir.
Ayrıca çoklu-seed tekrarlanabilirlik ve istatistiksel analizler, model performansının farklı başlangıç koşulları altında tutarlı bir eğilim sergilediğini ortaya koymuştur. Sonuçlar, öğrenme dinamiklerinin mimari karmaşıklık artırılmadan optimize edilmesinin yeşil fasulye baklalarının tespit ve konumlandırma performansını geliştirebileceğini ve yaklaşımın otomatik ürün izleme, verim tahmini ve hassas tarım uygulamaları için uygulanabilir bir çerçeve sunduğunu göstermektedir.
Anahtar Kelimeler: Yeşil fasulye; nesne algılama; öğrenme dinamiği; kararlılık optimizasyonu; derin öğrenme.

Abstract
Accurately detecting green bean pods under natural farming conditions remains a challenging problem due to dense foliage, partial occlusion, colour similarity between the pods and the surrounding vegetation, overlap, and variable lighting. In this study, the Learning-Dynamics-Oriented Stability Optimisation Framework (LD-SOF) is proposed to improve the green bean detection performance of YOLOv12 without altering its basic network architecture. The proposed approach aims to optimise learning dynamics by coordinating the settings of the optimiser, learning rate, weight decay, momentum, batch size, and data augmentation.
The study used a dataset consisting of 459 images and 2,045 labelled green bean pods, with the images split into training (70%), validation (20%), and test (10%) subsets. Additionally, 40 independently acquired greenhouse images were used to qualitatively evaluate performance on a different image source. In the first phase, the YOLOv8, YOLOv10, YOLOv11, and YOLOv12 model families were compared, and YOLOv12n was selected as the base model based on the balance between accuracy and computational cost. In the second phase, modified YOLOv12 variants were evaluated, and YOLOv12n-mod was selected as the starting model for LD-SOF optimisation because it achieved high Recall and

Fitness values with 2.6 M parameters and a computational cost of 7.5 GFLOPs.In the final stage, the YOLOv12n-SOF architecture was obtained by applying LD-SOF. The YOLOv12n-SOF model achieved a precision of 77.59%, a recall of 81.86%, an F1-score of 79.67%, a mAP@0.5 of 83.61%, and a mAP@0.5–0.95 of 60.56%. In terms of mAP@0.5–0.95, the model achieved an improvement of 4.28 percentage points compared to the baseline YOLOv12n model and 2.73 percentage points compared to the YOLOv12n-mod model, which served as the direct starting point for the LD-SOF stage. Ablation analysis showed that the optimisation components affected the performance metrics differently and that the final configuration yielded strong results, particularly in terms of balancing localisation accuracy and overall performance. Furthermore, multi-seed reproducibility and statistical analyses revealed that model performance exhibited a consistent trend under different initial conditions. The results indicate that optimising learning dynamics without increasing architectural complexity can improve the detection and localisation performance for green bean pods and that the approach offers a viable framework for automated crop monitoring, yield estimation, and precision agriculture applications.
Keywords: Green bean; object detection; learning dynamics; stability optimization; deep learning.

1.Giriş

Tarım sektöründe artan üretim gereksinimi, iş gücü maliyetleri ve sürdürülebilir üretim hedefleri; bitkisel ürünlerin otomatik olarak izlenmesi, tespit edilmesi ve sayılması amacıyla bilgisayarlı görü tabanlı sistemlerin kullanımını giderek daha önemli hâle getirmektedir. Derin öğrenme tabanlı nesne tespit yöntemleri; ürün izleme, verim tahmini, fenotipleme, hassas tarım ve robotik hasat gibi uygulamalarda hızlı ve nesnel veri elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Özellikle You Only Look Once (YOLO) ailesi, tek aşamalı tespit yaklaşımı sayesinde doğruluk ve hesaplama maliyeti arasında sağladığı denge nedeniyle tarımsal nesne tespitinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Badgujar ve ark., 2024).

Yeşil fasulye (Phaseolus vulgaris L.), ekonomik ve besinsel değeri yüksek önemli bir sebze türüdür. Yeşil fasulye baklalarının görüntü tabanlı olarak doğru biçimde belirlenmesi; ürün izleme, verim tahmini, fenotipik değerlendirme ve otomatik hasat sistemlerinin geliştirilmesi açısından önem taşımaktadır. Phaseolus vulgaris baklaları üzerinde gerçekleştirilen bilgisayarlı görü çalışmaları, RGB görüntülerinden bakla özelliklerinin hızlı ve nesnel biçimde belirlenebildiğini ortaya koymuştur (Jollet ve ark., 2023). Benzer şekilde yeşil fasulye bitkilerinin saha koşullarındaki görüntü tabanlı analizlerinde derin öğrenme ve YOLO tabanlı yöntemlerin kullanılabilirliği gösterilmiştir (Tarabye ve ark., 2025).

Bununla birlikte doğal tarımsal ortamlarda yeşil fasulye baklalarının otomatik tespiti önemli görsel zorluklar içermektedir. Baklaların yaprak ve gövdelerle benzer yeşil renk özelliklerine sahip olması, yoğun bitki örtüsü içerisinde kısmen veya tamamen örtülmesi, üst üste binmesi, farklı yönelim ve ölçeklerde bulunması ve değişken doğal aydınlatmaya maruz kalması hedef ile arka plan arasındaki görsel ayrımı azaltmaktadır. Karmaşık tarımsal koşullarda fasulye tespitine yönelik çalışmalar da yaprak örtüşmesi, baklaların birbirini örtmesi, renk benzerliği ve karmaşık arka planın tespit performansını sınırlayan temel faktörler arasında olduğunu göstermektedir (Qi ve ark., 2025). Benzer sorunların yoğun ve örtüşmeli soya fasulyesi baklalarının tespitinde de önemli olduğu bildirilmiştir (Jia ve ark., 2025; Li ve ark., 2024).

Bakla tespitine yönelik güncel çalışmalar, derin öğrenme tabanlı yaklaşımların söz konusu güçlüklerin azaltılmasında önemli avantajlar sağlayabildiğini göstermektedir. Jia ve ark. (2025), yoğun ve örtüşmüş soya fasulyesi baklalarının tespiti ve sayımı için YOLOv8n tabanlı geliştirilmiş bir model önermiş ve farklı ölçeklerdeki hedeflerin temsilini geliştirmeye yönelik mimari düzenlemeler gerçekleştirmiştir. Li ve ark. (2024) ise soya fasulyesi bakla tiplerinin otomatik olarak belirlenmesi amacıyla hafif FEI-YOLO modelini geliştirmiş ve tespit başarısı ile hesaplama verimliliğini birlikte ele almıştır. Bunun yanında Fu ve ark. (2022), saha koşullarında soya fasulyesi baklalarının dinamik fenotiplenmesi için geliştirilmiş YOLOv5 tabanlı bir yaklaşım kullanmış ve yoğun bitki örtüsü altında hedef tespitinin önemini ortaya koymuştur.

Tarımsal nesne tespitindeki benzer güçlükler farklı ürün gruplarında da rapor edilmiştir. Liu ve ark. (2024), karmaşık bahçe koşullarında yeşil eriklerin küçük nesne olarak tespitinde değişken arka plan, örtüşme ve aydınlatma koşullarının önemli sorunlara yol açabileceğini göstermiştir. Li ve ark. (2025a) ise tarımsal robot sistemleri için geliştirilen hafif ananas tespit modelinde doğruluk ile model karmaşıklığı arasındaki dengeyi ele almıştır.

Benzer şekilde, karmaşık doğal bahçe koşullarında meyve tespiti ve edge cihazlarda model kullanımı üzerine gerçekleştirilen çalışmalar, yüksek doğruluğun yanı sıra düşük parametre sayısı ve hesaplama maliyetinin de pratik uygulamalar açısından önemli olduğunu göstermektedir (Li ve ark., 2025b). Bu bulgular, tarımsal nesne tespit sistemlerinin yalnızca doğruluk açısından değil, hesaplama maliyeti ve saha uygulanabilirliği açısından da değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

YOLO ailesinin gelişimiyle birlikte gerçek zamanlı nesne tespitinde doğruluk,verimlilik dengesini geliştirmeye yönelik çalışmalar devam etmektedir. Wang ve ark. (2024) tarafından geliştirilen YOLOv10, NMS tabanlı son işleme gereksinimini azaltmaya yönelik uçtan uca eğitim yaklaşımı ve bütüncül verimlilik, doğruluk tasarımıyla gerçek zamanlı nesne tespitinde hesaplama maliyetinin azaltılmasını hedeflemiştir. Daha yakın zamanda Tian ve ark. (2025) tarafından geliştirilen YOLOv12 ise attention merkezli bir tasarım benimseyerek güçlü özellik temsil kapasitesini gerçek zamanlı nesne tespitinin hız gereksinimleriyle birleştirmeyi amaçlamıştır. YOLOv12 tabanlı yapıların farklı nesne tespit problemlerindeki uygulanabilirliği de güncel çalışmalarla araştırılmaktadır (Ji ve ark., 2025).

Bununla birlikte tarımsal nesne tespitinde performansı artırmaya yönelik çalışmaların önemli bir bölümü mevcut YOLO mimarisine attention mekanizmaları, yeni convolution blokları, feature-fusion yapıları veya ek tespit bileşenleri entegre etmektedir (Jia ve ark., 2025; Liu ve ark., 2024). Bu tür mimari değişiklikler belirli veri kümelerinde tespit başarısını artırabilmesine rağmen ağ yapısının karmaşıklaşmasına, parametre sayısının yükselmesine ve hesaplama gereksiniminin artmasına neden olabilmektedir. Özellikle robotik hasat, gerçek zamanlı ürün izleme ve edge tabanlı tarımsal uygulamalarda bu durum önemli bir sınırlama oluşturabilir. Nitekim soya fasulyesi tarlalarında YOLOv8 tabanlı model optimizasyonu üzerine gerçekleştirilen çalışmalar, hesaplama karmaşıklığının azaltılması ile tespit performansının korunmasının birlikte ele alınması gerektiğini göstermektedir (Sulzbach ve ark., 2025).

Derin öğrenme tabanlı bir nesne tespit modelinin performansı yalnızca ağ mimarisine bağlı değildir. Optimizör, başlangıç learning rate, weight decay, momentum, batch size ve veri artırma stratejileri gibi eğitim hiperparametreleri; ağırlık güncellemelerini, yakınsama davranışını ve modelin genelleme performansını doğrudan etkileyebilmektedir. Tarımsal nesne tespitinde model ve eğitim stratejilerinin birlikte optimize edilmesine yönelik çalışmalar, eğitim sürecinin doğru yapılandırılmasının model performansı üzerinde önemli rol oynayabileceğini göstermektedir (Khan ve ark., 2024; Sulzbach ve ark., 2025).

Adam optimizörü, gradyanların birinci ve ikinci momentlerine ilişkin adaptif tahminlerden yararlanarak her parametre için ağırlık güncellemelerini dinamik biçimde düzenleyen etkili bir optimizasyon yöntemidir (Kingma ve Ba, 2014). Bu adaptif yapı, öğrenme sürecindeki parametre güncellemelerinin düzenlenmesine ve farklı optimizasyon koşullarına uyum sağlanmasına olanak tanımaktadır. Dolayısıyla model mimarisini daha karmaşık hâle getirmek yerine optimizör ve diğer eğitim hiperparametrelerinin koordineli biçimde düzenlenmesi, tespit performansı ile hesaplama verimliliği arasındaki dengenin geliştirilmesi açısından alternatif bir araştırma yaklaşımı sunmaktadır.

Yapılan çalışmada, doğal ve karmaşık tarımsal koşullarda yeşil fasulye baklalarının tespit performansını geliştirmek amacıyla Learning-Dynamics-Oriented Stability Optimisation Framework (LD-SOF) önerilmiştir. LD-SOF, YOLOv12'nin temel ağ mimarisine yeni bir katman veya tespit modülü eklemek yerine optimizör, başlangıç learning rate, weight decay, momentum, batch size ve veri artırma parametrelerini koordineli biçimde düzenleyerek öğrenme sürecinin kararlılığını ve genelleme yeteneğini geliştirmeyi amaçlamaktadır. Böylece performans kazanımının model mimarisinin büyütülmesi yerine öğrenme dinamiklerinin sistematik optimizasyonu yoluyla elde edilmesi hedeflenmiştir.

Çalışma üç aşamalı bir deneysel tasarım üzerine kurulmuştur. İlk aşamada YOLOv8, YOLOv10, YOLOv11 ve YOLOv12 ailelerine ait farklı ölçeklerdeki modeller tespit performansı ve hesaplama maliyeti açısından karşılaştırılmıştır. Bu değerlendirme sonucunda YOLOv12n, yüksek tespit başarısını düşük hesaplama maliyetiyle birleştirmesi nedeniyle temel model olarak seçilmiştir. İkinci aşamada modifiye edilmiş YOLOv12 varyantları karşılaştırılmış ve YOLOv12n-mod, yüksek Recall ve Fitness değerlerini düşük model karmaşıklığıyla sağlaması nedeniyle LD-SOF optimizasyonunun başlangıç modeli olarak belirlenmiştir. Son aşamada ise YOLOv12n-mod üzerine LD-SOF uygulanarak YOLOv12n-SOF yapılandırması elde edilmiştir.

Bu çalışmanın temel katkıları;

(i) YOLOv8, YOLOv10, YOLOv11 ve YOLOv12 ailelerine ait farklı model ölçeklerinin yeşil fasulye tespiti açısından kapsamlı biçimde karşılaştırılması,

(ii) Tespit performansı ile hesaplama maliyetinin birlikte değerlendirilmesi sonucunda hafif YOLOv12n tabanının seçilmesi,

(iii) Model mimarisini değiştirmeden öğrenme dinamiklerini sistematik biçimde düzenleyen LD-SOF optimizasyon çerçevesinin geliştirilmesi,

(iv) Optimizasyon bileşenlerinin performansa etkisinin ablasyon analiziyle incelenmesi,

(v) Model davranışının çoklu-seed, bootstrap ve istatistiksel analizlerle değerlendirilmesidir.

Çalışma, yeşil fasulye tespitinde mimari karmaşıklığı artırmak yerine öğrenme sürecinin optimizasyonuna odaklanan ve hesaplama verimliliğini korumayı amaçlayan alternatif bir yaklaşım sunmaktadır.

2. Matyeryal ve Yöntem

2.1.Materyal

2.1.1. Veri Toplama ve Artırma

Bu çalışmada model geliştirme ve nicel performans değerlendirmesi için Roboflow Universe platformunda yer alan 459 etiketli Green Bean (https://universe.roboflow.com/cihan-ee5jr/green-bean-vp5lq)görüntüsü kullanılmıştır. Veri kümesi toplam 2.045 etiketli yeşil fasulye baklası örneği içermekte olup, görüntüler sırasıyla %70 eğitim, %20 doğrulama ve %10 test alt kümelerine ayrılmıştır. Böylece model eğitimi, doğrulama ve nihai test işlemleri aynı veri kaynağı üzerinde ancak birbirinden ayrılmış alt kümeler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Buna ek olarak, modelin farklı bir görüntüleme kaynağındaki davranışını nitel olarak incelemek amacıyla Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Teknik Bilimler MYO serasında 40 bağımsız yeşil fasulye görüntüsü elde edilmiştir. Bu görüntüler Nikon D3100 fotoğraf makinesiyle doğal ışık altında, nesne-kamera mesafesi yaklaşık 20–40 cm olacak şekilde farklı açılardan çekilmiş ve 640 × 640 piksel RGB formatında hazırlanmıştır. Sera görüntüleri eğitim, doğrulama veya test kümelerine dâhil edilmemiş; yalnızca kaynaklar arası nitel gözlem amacıyla kullanılmıştır. Böylece modelin eğitim verisinden farklı görüntüleme koşullarındaki davranışı ayrıca incelenmiştir. Dosyada sera görüntülerinin çekim koşulları ve bağımsız kullanım amacı bu şekilde tanımlanmaktadır.

Görüntülerde tekli, kümelenmiş, yapraklarla kısmen örtülmüş ve farklı yönelimlere sahip yeşil fasulye baklalarının temsil edilmesine dikkat edilmiştir. Etiketleme işlemleri LabelImg aracı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve nesne sınırlayıcı kutuları Pascal VOC formatında hazırlanmıştır. Bulanık, belirgin biçimde hatalı veya güvenilir etiketleme yapılamayan görüntüler veri hazırlama sürecinde çıkarılmıştır. Harici bir veri artırma işlemi uygulanmamış; veri çeşitliliğini artırmak amacıyla eğitim sırasında YOLO'nun yerleşik augmentasyon mekanizmalarından yararlanılmıştır. Bu kapsamda döndürme, ölçekleme, öteleme ve renk/kontrast değişimleri gibi dönüşümlerin yanı sıra mosaic artırma yöntemi kullanılmıştır. Nihai LD-SOF yapılandırmasında augment=True ve mosaic=0.5 ayarları tercih edilerek modelin değişken aydınlatma, örtüşme ve yoğun bitki örtüsü koşullarına karşı genelleme yeteneğinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Eğitim süreci maksimum 100 epoch ve patience=30 early stopping ayarıyla yürütülmüştür. Model çalışmasında kullanılan resimlerden örnekler Şekil 1 de verilmiştir.

Orijinal

Roboflow



Şekil 1. Model çalışmasında kullanılan resim örnekleri

Model eğitimleri iki farklı donanım ortamında yürütülmüştür. Büyük ölçekli model karşılaştırmaları ve hiperparametre optimizasyonu Google Colab Pro+ üzerinde NVIDIA A100 80 GB GPU ile gerçekleştirilirken, ön deneyler, model ince ayarları ve ablation çalışmaları RTX 4060 8 GB GPU bulunan yerel sistemde yürütülmüştür. Tablo 1'te ayrıntıları verilen donanım özellikleri ve yazılımlar kullanılarak sistem yazılımı yapılmıştır. Büyük ölçekli karşılaştırmalı eğitimler ve hiperparametre optimizasyonu ise bulut tabanlı Google Colab Pro+ ortamında NVIDIA A100 80 GB PCIe GPU üzerinde yürütülmüştür (Tablo 2).Bu yaklaşım, farklı deneylerin hesaplama gereksinimlerine uygun ve verimli bir eğitim süreci sağlamıştır.

Tablo 1. Deneysel Platform Yapılandırması.

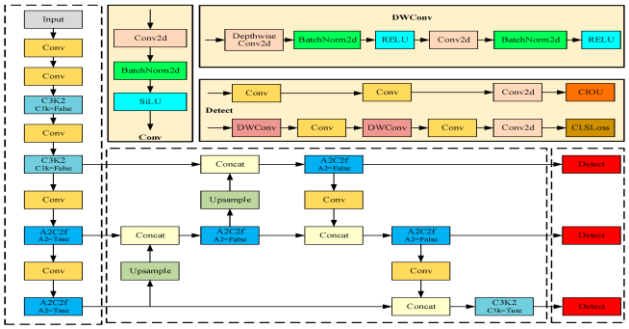
Bileşen	**Teknik Özellik / Sürüm**
Grafik İşlem Birimi (GPU)	RTX 4060 8G
Merkezi İşlem Birimi (CPU)	13th Gen Intel(R) Core(TM) i7-13700H (2.40 GHz)
GPU ile hızlandırılmış kütüphaneler	Cuda11.6
Deep Learning Framework	Pytorch 2.4.0
İşletim Sistemi	Windows11

Tablo 2.NVIDIA A100 80 GB PCIe Teknik Özellikleri

Donanım Özelliği	**Teknik Spesifikasyon**
GPU Model	NVIDIA A100 80 GB PCIe
FP64 Performansı	9.7 TFLOPS
FP64 (Tensor Core)	19.5 TFLOPS
FP32 Performansı	19.5 TFLOPS
Tensor Float 32 (TF32)	156 TFLOPS
BFLOAT16 (Tensor Core)	312 TFLOPS
FP16 (Tensor Core)	312 TFLOPS
INT8 (Tensor Core)	624 TOPS
GPU Belleği	80 GB HBM2e
Bellek Bant Genişliği	1 935 GB/s
Maksimum TDP	300 W
Multi-Instance GPU (MIG)	En fazla 7 MIG @ 10 GB
Form Faktörü	PCIe dual-slot air-cooled veya single-slot liquid-cooled
İnterconnect	NVIDIA NVLink Bridge (2 GPU için), PCIe Gen4 – 64 GB/s
Sunucu Seçenekleri	Partner ve NVIDIA-Certified Systems™ (1-8 GPU destekli)

2.1.2.Yolo(You Only Look Once) modeli

YOLO serisinin evrimi, nesne tespitinde hız, doğruluk ve verimlilik dengesini sürekli geliştirmiştir. YOLOv8 (2023), Ultralytics tarafından tanıtılmış olup anchor-free mimarisi ve CSPNet–PANet tabanlı yapısıyla yüksek hız ve mobil uyumluluk sağlamaktadır. Mosaic v2 veri artırma yöntemi sayesinde küçük veri setlerinde dahi başarılıdır. YOLOv10 (2024), Huawei Noah's Ark Lab tarafından geliştirilmiş ve efficient decoupled head yapısıyla FLOPs değerini azaltarak enerji verimliliği ve hızda önemli kazançlar sunmuştur. YOLOv11 (2024 sonu), Transformer tabanlı hibrit backbone ile küçük nesne tespitinde doğruluğu artırmış; özellikle yaprak altındaki ürünlerin belirlenmesinde öne çıkmıştır. En yeni sürüm YOLOv12 (2025) ise yeniden tasarlanmış feature pyramid ve attention mekanizmaları ile karmaşık tarımsal ortamlarda en yüksek mAP@50–95 başarısını elde etmiş; genelleme gücü ve kararlılığıyla önceki tüm sürümleri geride bırakmıştır.Şekil 2'de YOLOv12 blok diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 2. Yolov12 yapısı(Ji ve ark.,2025)

2.1.3.Model Performans Değerlendirme Kriterleri

Bu çalışmada, önerilen YOLO tabanlı tespit modellerinin performansını çok boyutlu ve güvenilir bir biçimde değerlendirmek amacıyla kapsamlı bir metrik seti kullanılmıştır. Seçilen göstergeler yalnızca doğruluk oranıyla sınırlı kalmayıp, tespit güvenilirliği, genelleme kabiliyeti, hesaplama verimliliği ve gerçek zamanlı uygulanabilirlik gibi yönleri de kapsamaktadır. Her bir metrik, modelin belirli bir özelliğini vurgulamakta ve modeller arası karşılaştırmanın daha anlamlı, nesnel ve tekrarlanabilir biçimde yapılmasını sağlamaktadır.

Precision, modelin yaptığı tüm pozitif tahminler içinde gerçekten doğru olanların oranını gösteren ölçüttür.

$$\text{Precision} = \frac{\text{TP}}{(\text{FP}+\text{TP})} \qquad (1)$$

Recall, gerçekte pozitif olan örneklerin içinde modelin doğru şekilde tespit ettiği kısmın oranını gösteren ölçüttür.

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

F1-Score: Precision ve Recall'un harmonik ortalamasıdır; modelin doğruluk ve kapsama dengesini tek bir değerde özetler.

$$\text{F1 Score} = \frac{2*\text{Precision}}{(\text{Precision}+\text{Recall})} \qquad (3)$$

mAP (mean Average Precision): Tüm sınıflar için ortalama doğruluk değerlerinin (AP) ortalamasıdır; modelin genel tespit performansını gösterir.

$$\text{mAP} = \frac{1}{\text{C}} + \sum_{\text{k}=1}^{\text{T}} \text{P(k)}\Delta\text{R(k)} \qquad (4)$$

GFLOPs (Giga Floating Point Operations): Modelin bir görüntü üzerinde yaptığı milyarlarca işlem sayısını ifade eder; hesaplama karmaşıklığını ve hız gereksinimini belirtir.

$$\text{GFLOPS} = \frac{\sum_{\text{i}=1}^{\text{L}} (2 \text{ x } \text{H}_{\text{out,i}} \text{ x} \text{W}_{\text{out,i}} \text{ x } \text{C}_{\text{in,i}} \text{ x } \text{K}_{\text{i}}^2 \text{ x } \text{C}_{\text{out,i}})}{10^9} \qquad (5)$$

Hout,Wout: çıktı boyutları
Cin,Cout: giriş/çıkış kanalı sayıları
K: çekirdek boyutu (kernel)
L: katman sayısı

Parametre Sayısı ve Model Boyutu: Modeldeki öğrenilebilir ağırlık ve bias parametrelerinin toplamı:

$$\text{Parametre Sayısı} = \sum_{\text{l}=1}^{\text{L}} \left(\text{K}_{\text{i}}^2 \text{ x } \text{C}_{\text{in,i}} \text{ x } \text{C}_{\text{out,l}} \right) + \text{C}_{\text{out,l}} \qquad (6)$$

Bu parameterlerin 32-bit kayan noktalı formatta (FP32) bellekte kapladığı alan:

$$\text{Boyut(MB)} = \frac{\text{Parametre Sayısı x } 32}{8 \text{ x} 10^6} \qquad (7)$$

FPS(kare Hızı):Modelin gerçek zamanlı çalışma hızını ifade eder

$$\text{Boyut(MB)} = \frac{\text{İşlenen Görüntü Sayısı}}{\text{Süre (s)}} \qquad (8)$$

Yüksek FPS,modelin pratik uygulamalarda daha hızlı tepki verdiğini gösterir.

Fitness fonksiyonu:YOLO tabanlı modellerin genel performansını tek bir nicel ölçüt altında ifade edebilmek amacıyla fitness fonksiyonu kullanılmıştır. Fitness değeri, modelin doğruluk (Precision), duyarlılık (Recall), F1 skoru ve ortalama doğruluk oranı (mAP) metriklerini belirli ağırlıklarla

birleştiren bileşik bir performans göstergesidir. Böylece farklı YOLO sürümlerinin çok boyutlu başarıları tek bir genel değerlendirme değeri ile ifade edilmiştir.
Fitness değeri, modelin genelleme kabiliyetini ve farklı metrikler arasındaki dengeyi yansıtmak amacıyla sürüme göre farklı biçimlerde tanımlanmıştır. Bu formülasyonlar Tablo 3'te özetlenmiştir.

Tablo 3. YOLO sürümlerine göre fitness hesaplama formülleri

Model / Model Ailesi	Fitness Formülü	Ana Odak / Değerlendirme Kriteri
YOLOv8	0.45 × P + 0.45 × R + 0.10 × mAP@0.5	Precision–Recall dengesi ve genel tespit başarısı
YOLOv10	0.45 × P + 0.45 × R + 0.10 × mAP@0.5	Precision–Recall dengesi ve genel tespit başarısı
YOLOv11	0.45 × P + 0.45 × R + 0.10 × mAP@0.5	Precision–Recall dengesi ve genel tespit başarısı
YOLOv12	0.45 × P + 0.45 × R + 0.10 × mAP@0.5	Precision–Recall dengesi ve genel tespit başarısı
YOLOv12-mod	0.45 × P + 0.45 × R + 0.10 × mAP@0.5	Precision–Recall dengesi ve genel tespit başarısı

2.1.4. Model Performans Değerlendirme Analizleri

Bu çalışmada kullanılan analiz yöntemleri, yalnızca modellerin ortalama performanslarını göstermekle kalmayıp, her bir modelin istatistiksel anlamda ne ölçüde üstün veya eşdeğer olduğunu belirlemek amacıyla seçilmiştir. Böylece YOLO tabanlı modellerin doğruluk değerlerinin ötesine geçilerek, güvenilirlik, genelleme kabiliyeti, tutarlılık ve istatistiksel anlamlılık çok yönlü olarak değerlendirilmiştir.

2.1.4.1.Ablation Analizi

Ablation analizi, modelin yapısında veya eğitim parametrelerinde yapılan değişikliklerin (örneğin eklenti modüller, veri artırma stratejileri, optimizasyon parametreleri vb.) performansa etkisini ölçmek için kullanılan sistematik bir yöntemdir.Amaç, her bileşenin genel başarıya olan katkısını nicel olarak belirlemek ve nihai modelin neden en yüksek performansa ulaştığını istatistiksel olarak göstermektir.
Ablation analizi, her modelin "temel modele göre" kazandığı performans farkını gösterir:

$$\Delta S_i = S_i - S_{base} \quad (9)$$

$$\text{Katkı } (\%) = \frac{S_i - S_{base}}{S_{base}} \times 100 \quad (10)$$

Burada:

- S_i: test edilen modelin fitness veya ortalama başarı değeri
- S_{base}: temel (baseline) modelin performans skoru
- ΔS_i: ilgili bileşenin performansa katkısı (iyileşme veya azalma)

2.1.4.2.Wilcoxon Signed-Rank Testi

Wilcoxon Signed-Rank testi, iki farklı modelin aynı veri seti üzerindeki performanslarını çift yönlü (paired) biçimde karşılaştırmak için kullanılan parametrik olmayan bir istatistiksel yöntemdir.Test, dağılım varsayımlarına gerek duymadan, iki modelin sonuçları arasında anlamlı fark olup olmadığını değerlendirir.

$$T = \min(W^+, W^-) \quad (11)$$

Küçük örneklemler için tablo değeriyle, büyük örneklemler için z-dönüşümü ile karşılaştırılır:

$$z = \frac{T - \frac{n(n+1)}{4}}{\sqrt{\frac{n(n+1)(2n+1)}{24}}} \quad (12)$$

Burada n= sıfır olmayan farkların sayısıdır.

2.1.4.3. Bootstrap ve Çoklu-Seed Kararlılık Analizi

YOLOv12n-mod modelinin farklı başlangıç koşullarına duyarlılığını değerlendirmek amacıyla beş bağımsız seed çalıştırması kullanılmıştır. Precision, Recall, F1-score, mAP@0.5 ve mAP@0.5–0.95 değerleri için ortalama ve standart sapma hesaplanmış; ayrıca bootstrap yeniden örnekleme ile %95 güven aralıkları elde edilmiştir. Bu analizler YOLOv12n-mod aşamasının tekrarlanabilirliğini değerlendirmekte olup, nihai YOLOv12n-SOF modelinin istatistiksel doğrulaması olarak yorumlanmamıştır.

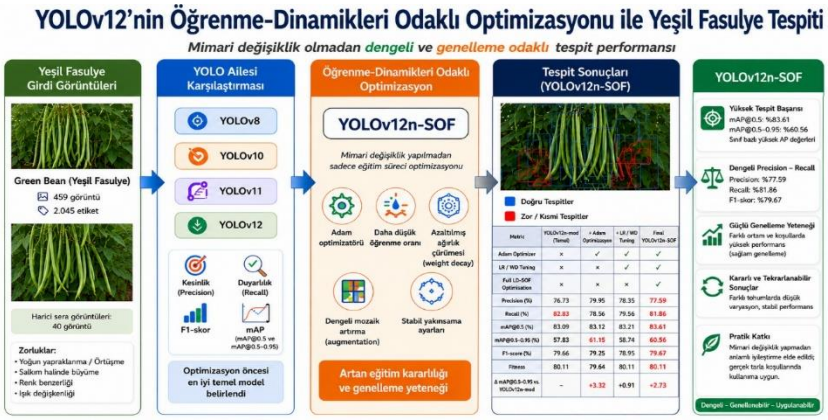
2.2.Yöntemler

2.2.1.Deney Tasarımı

Bu çalışmada deneysel süreç üç aşamalı olarak tasarlanmıştır. İlk aşamada, yeşil fasulye tespiti için uygun temel modeli belirlemek amacıyla YOLOv8, YOLOv10, YOLOv11 ve YOLOv12 ailelerine ait farklı ölçeklerdeki modeller aynı veri seti üzerinde karşılaştırılmıştır. Modeller Precision, Recall, F1-score, mAP@0.5, mAP@0.5–0.95 ve fitness ölçütlerinin yanı sıra parametre sayısı ve GFLOPs açısından değerlendirilmiştir. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda YOLOv12n, yüksek tespit performansını düşük hesaplama maliyetiyle birleştirmesi nedeniyle temel model olarak seçilmiştir. YOLOv12n, 0.8334 Precision, 0.7268 Recall, 0.7764 F1-score, 0.8241 mAP@0.5, 0.5628 mAP@0.5–0.95 ve 0.7845 fitness değerlerine yalnızca 2.6 M parametre ve 7.5 GFLOPs ile ulaşmıştır.

İkinci aşamada, seçilen YOLOv12 temel mimarisi üzerinde farklı optimize edilmiş model ölçekleri değerlendirilerek YOLOv12-mod ailesi oluşturulmuştur. Bu aşamada YOLOv12s-mod, YOLOv12n-mod, YOLOv12m-mod, YOLOv12l-mod ve YOLOv12x-mod karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, YOLOv12n-mod'un 0.8283 Recall ve 0.8011 fitness değerlerine yalnızca 2.6 M parametre ve 7.5 GFLOPs ile ulaşarak doğruluk ve hesaplama verimliliği açısından en uygun dengeyi sağladığını göstermiştir. Bu nedenle YOLOv12n-mod, sonraki optimizasyon aşamasının başlangıç modeli olarak seçilmiştir.

Üçüncü aşamada, YOLOv12n-mod'un öğrenme sürecinin kararlılığını ve tespit performansını geliştirmek amacıyla Learning-Dynamics-Oriented Stability Optimisation Framework (LD-SOF) uygulanmıştır. Bu aşamada ağ mimarisine yeni bir katman eklenmemiş; optimizör, learning rate, weight decay, momentum, batch size ve veri artırma ayarları sistematik olarak yeniden yapılandırılmıştır. Böylece deneysel süreç YOLOv12n ,YOLOv12n-mod ,YOLOv12n-SOF şeklinde ilerlemiş ve nihai model çoklu performans ölçütleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Şekil 3'de veri kümesi ve saha koşullarını, YOLO ailesi karşılaştırmasını, öğrenme dinamikleri odaklı optimizasyon sürecini, tespit sonuçlarını ve YOLOv12n-SOF modelinin performans kazanımlarını gösterilmektedir.



Şekil 3. Yeşil fasulye tespiti için önerilen YOLOv12n-SOF yaklaşımının genel iş akışı

2.2.2. Modifikasyon ve LD-SOF Optimizasyon Yaklaşımı

Çalışmanın ikinci aşamasında, temel model olarak seçilen YOLOv12n üzerinde eğitim yapılandırmasına dayalı modifikasyonlar gerçekleştirilmiş ve elde edilen model YOLOv12n-mod olarak adlandırılmıştır. YOLOv12n-mod, bu aşamada nihai model olarak değil, modifiye YOLOv12 varyantları arasından seçilen ve sonraki LD-SOF optimizasyonuna aktarılacak ara model olarak değerlendirilmiştir.

Model seçiminde yalnızca tek bir doğruluk metriği değil; Precision, Recall, F1-score, mAP değerleri, fitness ve hesaplama maliyeti birlikte dikkate alınmıştır. YOLOv12n-mod'un 2.6 M parametre ve 7.5 GFLOPs düzeyindeki düşük hesaplama maliyetini korurken yüksek Recall ve Fitness değerleri sağlaması, LD-SOF optimizasyonunun başlangıç modeli olarak seçilmesini desteklemiştir.

Çalışmanın üçüncü aşamasında ise YOLOv12n-mod üzerine Learning-Dynamics-Oriented Stability Optimisation Framework (LD-SOF) uygulanmıştır. Bu aşamada modelin ağ ölçeği artırılmamış ve yeni bir tespit katmanı veya mimari modül eklenmemiştir. Bunun yerine öğrenme sürecini doğrudan etkileyen optimizör, başlangıç learning rate, weight decay, momentum, batch size, AMP ve veri artırma parametreleri yeniden yapılandırılmıştır. YOLOv12n-mod yapılandırmasında kullanılan SGD optimizörü LD-SOF aşamasında Adam ile değiştirilmiş; başlangıç learning rate değeri 0.01'den 0.0005'e, weight decay 0.0005'ten 0.0001'e ve momentum 0.937'den 0.90'a ayarlanmıştır. Ayrıca augmentation, mosaic, batch size ve AMP ayarları yeniden düzenlenmiştir. Dosyada iki yapılandırma arasındaki hiperparametre farklılıkları bu şekilde tanımlanmaktadır.

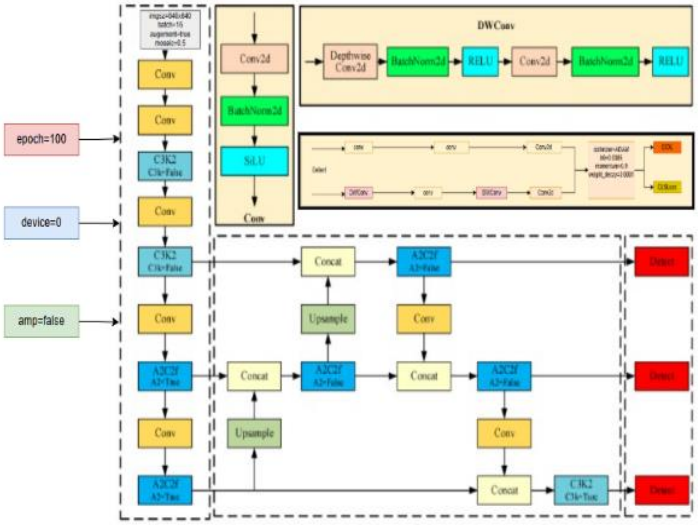
Bu nedenle çalışmada YOLOv12n-mod ve YOLOv12n-SOF iki farklı deneysel aşamayı temsil etmektedir. YOLOv12n-mod, modifiye edilmiş YOLOv12 modellerinin karşılaştırılması sonucunda LD-SOF'a aktarılmak üzere seçilen modeldir. YOLOv12n-SOF ise seçilen YOLOv12n-mod üzerine LD-SOF'un tam olarak uygulanması sonucunda elde edilen nihai optimize edilmiş modeldir. Böylece model geliştirme süreci aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

YOLOv12n (temel model) , YOLOv12n-mod (seçilen modifiye model) , YOLOv12n-SOF (nihai LD-SOF modeli)

LD-SOF yaklaşımının temel amacı, modelin mimari karmaşıklığını artırmak yerine öğrenme dinamiklerini sistematik biçimde düzenleyerek tespit ve lokalizasyon performansını geliştirmektir. Bu doğrultuda YOLOv12n-mod'un ağ ölçeği korunmuş ve performans kazanımı eğitim sürecinin optimizasyonu üzerinden hedeflenmiştir. Böylece YOLOv12n-SOF, YOLOv12n-mod'dan mimari büyütme yoluyla değil, öğrenme dinamiklerinin koordineli optimizasyonu yoluyla ayrılmaktadır.Şekil 4'de modifiye edilmiş Yolov12 'nin blok diyagramı gösterilmiştir.Tablo 4'de eğitim yapılarının karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 4. LD-SOF öncesi YOLOv12n-mod ve nihai YOLOv12n-SOF eğitim yapılandırmalarının karşılaştırılması

Parametre	**YOLOv12n-mod**	**LD-SOF Yapılandırması**
Optimizasyon algoritması	SGD	Adam
Başlangıç öğrenme oranı (lr0)	0.01	0.0005
Momentum	0.937	0.90
Ağırlık azaltma (Weight decay)	0.0005	0.0001
Veri artırma	Hayır	Evet
Mosaic	1.0	0.5
Epoch sayısı	300	100
Karma hassasiyet (AMP)	Evet	Hayır
Batch boyutu	32	16
Görüntü boyutu	640	640



Şekil.4. Modifiye Blok diyagramı

Bu yöntem, "light-modification" olarak tanımlanabilecek bir strateji olup, modelin ağ derinliğini değiştirmeden konverjans hızını, ağırlık güncelleme istikrarını ve küçük nesne tespit performansını artırmaya odaklanmaktadır.

Ayrıca, veri artırma (augmentation) süreci manuel olarak tanımlanmak yerine, model tarafından otomatik olarak yürütülmüştür. YOLOv12'nin yerleşik otomatik artırma mekanizması (mosaic, hsv, flip, scale, translation, vb.), veri çeşitliliğini dinamik biçimde artırarak overfitting riskini azaltmış ve modelin farklı ışık, örtüşme ve yaprak yoğunluğu koşullarına karşı daha dayanıklı hale gelmesini sağlamıştır.

Bu yaklaşım sayesinde, hem modelin yapısal sadeliği korunmuş hem de hesaplama maliyetinde artış olmadan performans kazanımı elde edilmiştir. Sonuç olarak, YOLOv12n-mod üzerine LD-SOF'un uygulanmasıyla elde edilen YOLOv12n-SOF, ağ ölçeği ve hesaplama karmaşıklığı artırılmadan öğrenme dinamikleri optimize edilmiş nihai model olarak değerlendirilmiştir.

Temel YOLOv12 modelinde kullanılan SGD optimizasyonu, sabit öğrenme oranı nedeniyle karmaşık tarımsal görüntülerde (gölgelenme, örtüşme, renk benzerliği vb.) yavaş yakınsamaya ve kararsız gradyan güncellemelerine yol açabilmektedir.

Bu nedenle, momentum ve öğrenme oranı adaptasyonu sağlayan Adam algoritması tercih edilmiştir. Adam, her parametre için gradyan ortalaması ve varyansını ayrı ayrı izleyerek daha dengeli, hızlı ve kararlı bir öğrenme süreci sunmuş; küçük nesne tespiti performansını ve genelleme kabiliyetini belirgin biçimde artırmıştır.

3.Araştırma Sonuçları

3.1. YOLO Model Ailelerinin Karşılaştırılması ve Temel Model Seçimi

Farklı YOLO sürümlerine (YOLOv8, YOLOv10, YOLOv11 ve YOLOv12) ait modellerin tespit performansları, doğruluk (Precision), duyarlılık (Recall), F1 skoru, ortalama ortalama doğruluk (mAP@0.5 ve mAP@0.5:0.95), hesaplama karmaşıklığı (GFLOPs) ve parametre sayısı gibi çoklu ölçütler açısından karşılaştırılmıştır. Tablo 5'de karşılaştırma sonuçları verilmiştir.

Tablo 5. Yeşil fasulye tespiti için YOLOv8, YOLOv10, YOLOv11 ve YOLOv12 ailelerine ait farklı model ölçeklerinin tespit performansı ve hesaplama karmaşıklığı açısından karşılaştırılması

Model	Precision	Recall	F1-score	mAP@.5	mAP@.5:.95	Fitness	Params (M)	FLOPs (GFLOPs. 640px)	Size (MB. FP32 .pt)
YOLOv8s	0.7630	0.7692	0.7661	0.8093	0.5502	0.7704	11.2	28.6	22.6
YOLOv8n	0.8077	0.7240	0.7636	0.7959	0.5501	0.7689	3.2	8.7	6.5
YOLOv8m	0.7661	0.7512	0.7586	0.7913	0.5494	0.7619	25.9	78.9	52.1
YOLOv8l	0.7544	0.7611	0.7577	0.7875	0.5423	0.7607	43.7	165.2	87.8
YOLOv8x	0.7770	0.7389	0.7575	0.7904	0.5426	0.7612	68.2	257.8	137
YOLOv10s	0.7602	0.6970	0.7688	0.7688	0.5110	0.6928	9	25	20
YOLOv10n	0.7623	0.6207	0.7397	0.7397	0.4994	0.6613	3	8	6
YOLOv10m	0.7106	0.7197	0.7664	0.7664	0.5137	0.6851	25	70	50
YOLOv10l	0.7525	0.7118	0.7617	0.7617	0.5153	0.6946	45	150	85
YOLOv10x	0.7642	0.6823	0.7604	0.7604	0.5222	0.6900	70	230	130
YOLOv11s	0.8049	0.7518	0.7774	0.8154	0.5606	0.7821	2.6	6.5	9.9
YOLOv11n	0.8033	0.7512	0.7764	0.8200	0.5623	0.7815	9.4	21.5	35.9
YOLOv11m	0.8009	0.7217	0.7592	0.8148	0.5614	0.7667	20.1	68	76.6
YOLOv11l	0.7604	0.7505	0.7554	0.8024	0.5517	0.7601	25.3	86.9	96.5
YOLOv11x	0.8076	0.6847	0.7411	0.7849	0.5402	0.7500	56.9	194.9	217.1
YOLOv12s	0.7929	0.7365	0.7636	0.8060	0.5530	0.7688	9.4	21	36
YOLOv12n	0.8334	0.7268	0.7764	0.8241	0.5628	0.7845	2.6	7.5	10
YOLOv12m	0.7479	0.7241	0.7358	0.7896	0.5389	0.7414	20	65	77
YOLOv12l	0.7653	0.7148	0.7392	0.7832	0.5369	0.7444	25.5	87.5	96
YOLOv12x	0.7623	0.7143	0.7375	0.7771	0.5161	0.7422	57	195	217

fitness = 0.45·Precision + 0.45·Recall + 0.10·mAP@.5

YOLOv8 Ailesi: YOLOv8 model ailesinde yeşil fasulye veri seti için genel doğruluk, genelleme ve hesaplama maliyeti birlikte değerlendirildiğinde YOLOv8s en uygun model olarak belirlenmiştir. YOLOv8s; Precision = 0.7630, Recall = 0.7692, F1 = 0.7661, mAP@0.5 = 0.8093 ve mAP@0.5–0.95 = 0.5502 değerlerine ulaşmıştır.

Ayrıca 0.7704 ile YOLOv8 ailesindeki en yüksek fitness değerini elde etmiştir. YOLOv8n daha yüksek Precision (0.8077) göstermesine rağmen, YOLOv8s özellikle Recall, F1, mAP@0.5 ve fitness açısından daha dengeli bir performans sunmuştur. Modelin 11.2 M parametre, 28.6 GFLOPs hesaplama maliyeti ve 22.6 MB model boyutuna sahip olması da doğruluk–maliyet dengesi açısından avantaj sağlamıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda YOLOv8s, YOLOv8 ailesinin yeşil fasulye tespiti için en uygun modeli olarak seçilmiştir.

YOLOv10 Ailesi: YOLOv10 ailesinde modeller çoklu performans ölçütleri dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Yeşil fasulye veri setinde YOLOv10l; Precision = 0.7525, Recall = 0.7118, mAP@0.5 = 0.7617, mAP@0.5–0.95 = 0.5153 ve fitness = 0.6946 değerlerine ulaşmıştır. Özellikle 0.6946'lık fitness değeri YOLOv10 ailesindeki en yüksek genel sonucu temsil etmektedir. Bununla birlikte YOLOv10x, mAP@0.5–0.95 = 0.5222 ile ailenin en yüksek genelleme skoruna ulaşmıştır. Ancak YOLOv10l'nin çoklu performans ölçütleri arasındaki daha dengeli yapısı nedeniyle aileyi temsil eden model olarak seçilmesi uygun görülmüştür.

Modelin 45 M parametre, 150 GFLOPs hesaplama maliyeti ve yaklaşık 85 MB model boyutuna sahip olması, diğer seçilen YOLO aile modellerine kıyasla daha yüksek bir hesaplama gereksinimine işaret etmektedir.

YOLOv11 Ailesi: YOLOv11 ailesinde farklı modeller belirli metriklerde üstünlük göstermekle birlikte, genel performans ve hesaplama verimliliği açısından YOLOv11s öne çıkmıştır. YOLOv11s; Precision = 0.8049, Recall = 0.7518, F1 = 0.7774, mAP@0.5 = 0.8154, mAP@0.5–0.95 = 0.5606 ve fitness = 0.7821 değerlerine ulaşmıştır. YOLOv11n, mAP@0.5 = 0.8200 ve mAP@0.5–0.95 = 0.5623 ile bu iki metrikte küçük bir üstünlük göstermesine rağmen, YOLOv11s daha yüksek F1 ve fitness değerleriyle daha dengeli bir sonuç vermiştir.

Ayrıca yalnızca 2.6 M parametre, 6.5 GFLOPs ve yaklaşık 9.9 MB model boyutuna sahip olması, YOLOv11s'in hesaplama verimliliğini güçlendirmektedir. Bu nedenle Precision–Recall dengesi, genel fitness performansı ve operasyonel uygulanabilirlik birlikte değerlendirildiğinde YOLOv11s, YOLOv11 ailesinin en uygun modeli olarak belirlenmiştir.

YOLOv12 Ailesi: YOLOv12 ailesinde yeşil fasulye veri seti için en güçlü genel performans YOLOv12n tarafından elde edilmiştir. YOLOv12n; Precision = 0.8334, Recall = 0.7268, F1 = 0.7764, mAP@0.5 = 0.8241, mAP@0.5–0.95 = 0.5628 ve fitness = 0.7845 değerlerine ulaşmıştır. YOLOv12s daha yüksek Recall (0.7365) göstermesine rağmen, YOLOv12n Precision, F1, mAP@0.5, mAP@0.5–0.95 ve fitness açısından daha üstün bir genel performans sergilemiştir.

Bunun yanında yalnızca 2.6 M parametre, 7.5 GFLOPs hesaplama maliyeti ve yaklaşık 10 MB model boyutuna sahip olması, modelin doğruluk–verimlilik dengesini daha da güçlendirmiştir. Bu nedenle YOLOv12n, yeşil fasulye tespiti için YOLOv12 ailesinin en uygun temel modeli olarak belirlenmiştir.

Her YOLO ailesinin en başarılı modeli karşılaştırıldığında YOLOv8s, YOLOv10l, YOLOv11s ve YOLOv12n sırasıyla kendi ailelerini temsil eden modeller olarak belirlenmiştir. Bu modeller arasında YOLOv12n, 0.8334 Precision, 0.8241 mAP@0.5, 0.5628 mAP@0.5–0.95 ve 0.7845 fitness ile en yüksek genel performansı göstermiştir.

Ayrıca 2.6 M parametre ve 7.5 GFLOPs ile yüksek doğruluğu düşük hesaplama maliyetiyle birleştirmesi, YOLOv12n'in optimizasyon çalışmalarında baseline model olarak seçilmesini desteklemektedir. YOLOv11s ise fitness = 0.7821 ile YOLOv12n'e oldukça yakın bir sonuç vermesine rağmen, YOLOv12n özellikle Precision ve mAP değerlerindeki üstünlüğü nedeniyle nihai temel model olarak tercih edilmiştir. Bu sonuçlar, dosyanızda YOLOv12n'in yeşil fasulye için en uygun model olarak belirlenmesiyle de uyumludur.Tablo 6'da en modelleri ait farklı model ölçeklerinin tespit performansı ve hesaplama karmaşıklığı açısından karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 6. Yeşil fasulye veri setinde YOLO model ailelerinden seçilen en iyi modellerin karşılaştırılması

Model	Precision	Recall	F1	mAP@0.5	mAP@0.5–0.95	Fitness	Parametre (M)	GFLOPs @640	Boyut (MB, FP32)
YOLOv8s	0.7630	0.7692	0.7661	0.8093	0.5502	0.7704	11.2	28.6	22.6
YOLOv10l	0.7525	0.7118	0.7617	0.7617	0.5153	0.69458	45.0	150.0	85.0
YOLOv11s	0.8049	0.7518	0.7774	0.8154	0.5606	0.7821	2.6	6.5	9.9
YOLOv12n	0.8334	0.7268	0.7764	0.8241	0.5628	0.7845	2.6	7.5	10.0

Fitness = 0.45·Precision + 0.45·Recall + 0.10·mAP@.5

Karşılaştırmalı sonuçlar, yeşil fasulye tespiti için en uygun temel modelin YOLOv12 ailesinden seçilebileceğini göstermiştir. Özellikle YOLOv12n, Precision = 0.8334, Recall = 0.7268, F1 = 0.7764, mAP@0.5 = 0.8241 ve mAP@0.5–0.95 = 0.5628 değerlerine ulaşmıştır. Ayrıca 0.7845 ile karşılaştırılan modeller arasındaki en yüksek fitness değerini elde etmesi ve yalnızca 2.6 M parametre ile 7.5 GFLOPs hesaplama maliyetine sahip olması, modelin doğruluk ve hesaplama verimliliği açısından güçlü bir denge sunduğunu göstermiştir. Sonuç olarak, çoklu performans metrikleri, fitness değeri ve hesaplama gereksinimleri birlikte değerlendirildiğinde YOLOv12n, yeşil fasulye tespiti için optimizasyon çalışmalarında kullanılacak en uygun baseline model olarak belirlenmiştir. Tablo 7'de seçilen temel ve optimize edilmiş YOLO modellerinin performansları verilmiştir.

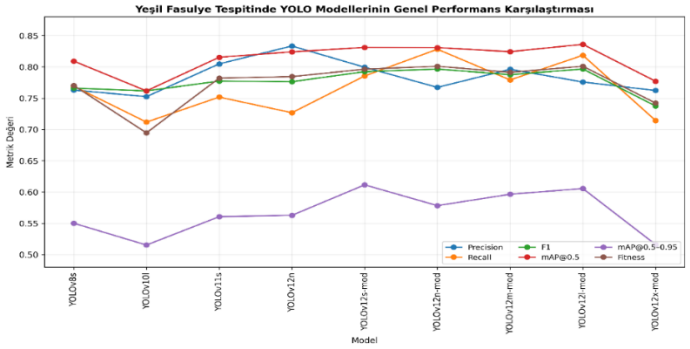
Tablo 7. Yeşil fasulye veri setinde seçilen temel ve optimize edilmiş YOLO modellerinin performans karşılaştırması

Model	Precision	Recall	F1	mAP@0.5	mAP@0.5–0.95	Fitness	Parametre (M)	GFLOPs @640	Boyut (MB. FP32)
YOLOv8s	0.7630	0.7692	0.7661	0.8093	0.5502	0.7704	11.2	28.6	22.6
YOLOv10l	0.7525	0.7118	0.7617	0.7617	0.5153	0.6946	45.0	150.0	85.0
YOLOv11s	0.8049	0.7518	0.7774	0.8154	0.5606	0.7821	2.6	6.5	9.9
YOLOv12n	0.8334	0.7268	0.7764	0.8241	0.5628	0.7845	2.6	7.5	10.0
YOLOv12s-mod	0.7995	0.7856	0.7924	0.8312	0.6115	0.7964	9.4	21.0	36.0
YOLOv12n-mod	0.7673	0.8283	0.7966	0.8309	0.5783	0.8011	2.6	7.5	10.0
YOLOv12m-mod	0.7962	0.7792	0.7876	0.8244	0.5965	0.7914	20.0	65.0	77.0
YOLOv12l-mod	0.7759	0.8186	0.7967	0.8361	0.6056	0.8011	25.5	87.5	96.0
YOLOv12x-mod	0.7623	0.7143	0.7375	0.7771	0.5161	0.7422	57.0	195.0	217.0

fitness = 0.45·Precision + 0.45·Recall + 0.10·mAP@50

Karşılaştırmalı sonuçlar, optimize edilmiş YOLOv12 modelleri arasında YOLOv12n-mod modelinin doğruluk ve hesaplama verimliliği açısından en uygun dengeyi sağladığını göstermiştir. YOLOv12n-mod; 0.7673 Precision, 0.8283 Recall, 0.7966 F1, 0.8309 mAP@0.5, 0.5783 mAP@0.5–0.95 ve 0.8011 fitness değerlerine ulaşmıştır. Özellikle 0.8283 ile tüm modifiye modeller arasındaki en yüksek Recall değerini elde ederken, 0.8011 ile en yüksek fitness değerini YOLOv12l-mod ile paylaşmıştır. Buna karşılık YOLOv12n-mod yalnızca 2.6 M parametre ve 7.5 GFLOPs hesaplama maliyetine sahipken, aynı fitness değerine ulaşan YOLOv12l-mod 25.5 M parametre ve 87.5 GFLOPs gerektirmektedir. Ayrıca YOLOv12n-mod'un F1 değeri (0.7966), en yüksek F1 değerine sahip YOLOv12l-mod'dan (0.7967) yalnızca 0.0001 daha düşüktür.

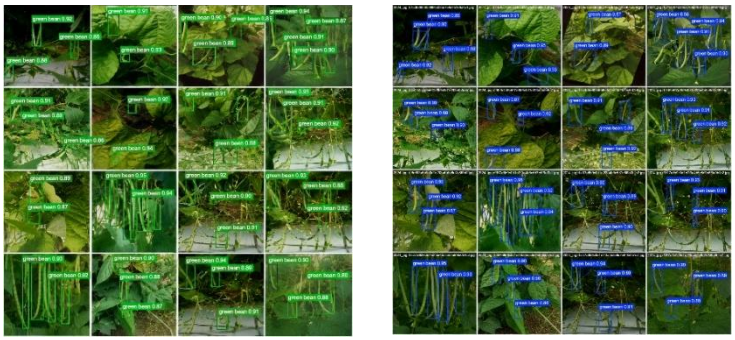
Her ne kadar YOLOv12s-mod mAP@0.5–0.95 açısından daha yüksek bir değer (0.6115) elde etmiş olsa da, doğruluk metrikleri ile model karmaşıklığı birlikte değerlendirildiğinde YOLOv12n-mod'un daha avantajlı bir doğruluk–verimlilik dengesi sunduğu görülmektedir. Bu nedenle YOLOv12n-mod, doğruluk ve hesaplama verimliliği arasındaki uygun denge nedeniyle LD-SOF optimizasyonunun başlangıç modeli olarak seçilmiştir.Şekil 5 ‘de değer karşılaştırma grafiği aşağıda verilmiştir. Şekil 6 ‘da en iyi modellerin tahmin görüntüleri gösterilmiştir.



Şekil 5. Seçilen temel ve optimize edilmiş YOLO modellerinin performans karşılaştırma grafiği



Yolov8s Yolov10l Yolov11s



Yolov12n Yolov12n-mod

Şekil 6. En iyi modellerin tahmin görüntüleri

3.2. YOLOv12n-mod’dan YOLOv12n-SOF’a LD-SOF Optimizasyonu

Çalışmanın ilk aşamasında YOLOv8, YOLOv10, YOLOv11 ve YOLOv12 ailelerine ait modeller karşılaştırılmış ve doğruluk–hesaplama maliyeti dengesi dikkate alınarak YOLOv12n temel model olarak seçilmiştir. İkinci aşamada YOLOv12 ailesinin modifiye edilmiş varyantları değerlendirilmiş; YOLOv12n-mod, yüksek Recall ve Fitness değerlerinin yanı sıra düşük model karmaşıklığını koruması nedeniyle LD-SOF optimizasyonuna aktarılacak model olarak belirlenmiştir.

Böylece deneysel süreç, YOLOv12n , YOLOv12n-mod , YOLOv12n-SOF olmak üzere üç aşamalı bir yapı üzerinde yürütülmüştür.Tablo 8’de YOLOv12 ailesinin modifiye edilmiş modellerin karşılaştırma sonuçları verilmiştir.

Tablo 8. YOLOv12 ailesinin modifiye edilmiş modellerinin karşılaştırılması

Model	Precision	Recall	F1-score	mAP@0.5	mAP@0.5–0.95	Fitness	Parametre (M)	GFLOPs @640	Boyut (MB, FP32)
YOLOv12s-mod	0.7995	0.7856	0.7924	0.8312	0.6115	0.7964	9.4	21.0	36
YOLOv12n-mod	0.7673	0.8283	0.7966	0.8309	0.5783	0.8011	2.6	7.5	10
YOLOv12m-mod	0.7962	0.7792	0.7876	0.8244	0.5965	0.7914	20.0	65.0	77
YOLOv12l-mod	0.7759	0.8186	0.7967	0.8361	0.6056	0.8011	25.5	87.5	96
YOLOv12x-mod	0.7623	0.7143	0.7375	0.7771	0.5161	0.7422	57.0	195.0	217

Modifiye edilmiş YOLOv12 modellerinin karşılaştırılması, farklı yapılandırmaların farklı performans ölçütlerinde üstünlük sağladığını göstermiştir. YOLOv12s-mod en yüksek mAP@0.5–0.95 (0.6115) değerine, YOLOv12l-mod ise en yüksek F1-score (0.7967) ve mAP@0.5 (0.8361) değerlerine ulaşmıştır. Bununla birlikte, YOLOv12n-mod, en yüksek Recall değerini (0.8283) ve en yüksek Fitness değerini (0.8011, YOLOv12l-mod ile eşit) yalnızca 2.6 M parametre ve 7.5 GFLOPs hesaplama maliyetiyle sağlamıştır. Bu nedenle YOLOv12n-mod, tek bir doğruluk metriğinde en yüksek değeri sağlayan model olarak değil, tespit performansı ile hesaplama verimliliği arasındaki en uygun dengeyi sunan yapılandırma olarak değerlendirilmiş ve sonraki LD-SOF optimizasyon aşamasının başlangıç modeli olarak seçilmiştir.

3.3. Çoklu Çalıştırma Kararlılığı ve İstatistiksel Değerlendirme

Bu bölümdeki çoklu-seed, bootstrap ve Wilcoxon analizleri YOLOv12n-mod yapılandırmasının model seçim aşamasındaki tekrarlanabilirliğini ve YOLOv12n temel modele göre performans eğilimini değerlendirmektedir.

3.3.1. Bootstrap ve Beş-Seed Tekrarlanabilirlik Analizi

Beş bağımsız seed çalıştırmasına dayalı tekrarlanabilirlik analizi, YOLOv12n-mod modelinin yeşil fasulye tespitinde farklı başlangıç koşulları altında kararlı bir performans sergilediğini göstermiştir. Model, beş çalıştırma genelinde Precision = 0,7943 ± 0,0125, Recall = 0,8112 ± 0,0114, F1-score = 0,8026 ± 0,0083, mAP@0.5 = 0,8360 ± 0,0160 ve mAP@0.5–0.95 = 0,6034 ± 0,0052 ortalama performans değerlerine ulaşmıştır. Bootstrap analizi sonucunda mAP@0.5–0.95 için %95 güven aralığının 0,5991–0,6075 gibi dar bir aralıkta bulunması, modelin genelleme performansının farklı seed değerlerine karşı düşük değişkenlik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Benzer şekilde F1-score için düşük standart sapma (±0,0083), Precision ve Recall arasındaki performans dengesinin farklı eğitim tekrarlarında korunduğunu göstermektedir. Genel olarak sonuçlar, YOLOv12n-mod'un yalnızca yüksek tespit başarısı değil, aynı zamanda tekrarlanabilir ve kararlı bir öğrenme performansı sunduğunu göstermektedir.Tablo 9 ‘da YOLOv12n-mod modelinin beş-seed Bootstrap ve tekrarlanabilirlik analizi sonuçları verilmiştir.

Tablo 9. YOLOv12n-mod modelinin beş-seed Bootstrap ve tekrarlanabilirlik analizi

Metrik	YOLOv12n Mean ± SD	YOLOv12n-mod Mean ± SD	W	p (iki yönlü)	Sonuç
Precision	0.7565 ± 0.0252	0.7943 ± 0.0125	1.0	0.1250	Anlamlı değil
Recall	0.6842 ± 0.0116	0.8112 ± 0.0114	0.0	0.0625	Anlamlı değil
F1-score	0.7182 ± 0.0078	0.8026 ± 0.0083	0.0	0.0625	Anlamlı değil

Metrik	YOLOv12n Mean ± SD	YOLOv12n-mod Mean ± SD	W	p (iki yönlü)	Sonuç
mAP@0.5	0.7560 ± 0.0144	0.8360 ± 0.0160	0.0	0.0625	Anlamlı değil
mAP@0.5–0.95	0.4708 ± 0.0041	0.6034 ± 0.0052	0.0	0.0625	Anlamlı değil

YOLOv12n ve YOLOv12n-mod modellerinin aynı random seed'ler altında elde edilen performans sonuçları arasındaki farklılıklar, iki yönlü Wilcoxon signed-rank testi kullanılarak değerlendirilmiştir. Test sonucunda hiçbir performans metriğinde $\alpha = 0.05$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık belirlenmemiştir ($p > 0.05$). Bununla birlikte Recall, F1-score, mAP@0.5 ve mAP@0.5–0.95 metriklerinde $W = 0$ ve $p = 0.0625$ elde edilmesi, eşleştirilmiş çalıştırmalardaki değişimlerin aynı yönde olduğunu ancak beş tekrarlı deneyin sınırlı örneklem büyüklüğü nedeniyle bu eğilimin %5 anlamlılık düzeyine ulaşmadığını göstermektedir. Bu nedenle sonuçlar, YOLOv12n-mod'un YOLOv12n'e göre istatistiksel olarak anlamlı bir üstünlüğü olarak değil, farklı başlangıç koşullarında gözlenen tutarlı bir performans eğilimi olarak değerlendirilmelidir.

3.3.2. Wilcoxon Signed-Rank Testi

Tablo 10 ‘da iki model aynı Seed 0–4 çalıştırmaları üzerinden eşleştirildiğinde sonuçlar gösterilmiştir.

Tablo 10. İki model aynı Seed 0–4 çalıştırmaları üzerinden eşleştirme sonuçları

Metrik	YOLOv12n Mean ± SD	YOLOv12n-mod Mean ± SD	W	p (iki yönlü)	Sonuç (α=0.05)
Precision	0.7565 ± 0.0252	0.7943 ± 0.0125	1.0	0.1250	Anlamlı değil
Recall	0.6842 ± 0.0116	0.8112 ± 0.0114	0.0	0.0625	Anlamlı değil
F1-score	0.7182 ± 0.0078	0.8026 ± 0.0083	0.0	0.0625	Anlamlı değil
mAP@0.5	0.7560 ± 0.0144	0.8360 ± 0.0160	0.0	0.0625	Anlamlı değil
mAP@0.5–0.95	0.4708 ± 0.0041	0.6034 ± 0.0052	0.0	0.0625	Anlamlı değil

YOLOv12n temel modeli ile YOLOv12n-mod modelinin beş bağımsız seed çalıştırmasındaki performans farklılıkları Wilcoxon signed-rank testi kullanılarak değerlendirilmiştir. YOLOv12n-mod modeli Recall, F1-score, mAP@0.5 ve mAP@0.5–0.95 metriklerinin tamamında beş seed boyunca temel modelden daha yüksek değerler elde etmiştir. Özellikle ortalama mAP@0.5–0.95 değeri YOLOv12n modelinde 0,4708 ± 0,0041 iken YOLOv12n-mod modelinde 0,6034 ± 0,0052'ye yükselmiştir. Bununla birlikte, iki yönlü Wilcoxon testi sonucunda Recall, F1-score, mAP@0.5 ve mAP@0.5–0.95 için $W = 0$ ve $p = 0,0625$ elde edilmiş ve $\alpha = 0,05$ düzeyinde istatistiksel anlamlılığa ulaşılamamıştır. Precision için ise $W = 1$ ve $p = 0,1250$ bulunmuştur.

Bu durum, YOLOv12n-mod'un tüm seed'lerde tutarlı performans artışı göstermesine rağmen, yalnızca beş eşleştirilmiş çalıştırmadan oluşan küçük örneklem büyüklüğünün iki yönlü Wilcoxon testinin istatistiksel gücünü sınırladığını göstermektedir. Dolayısıyla sonuçlar, YOLOv12n-mod lehine güçlü ve tutarlı bir performans eğilimi ortaya koymakta, ancak iki yönlü test kapsamında bu üstünlük $p < 0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmemektedir.

Bu istatistiksel sonuçlar YOLOv12n-mod seçim aşamasını desteklemektedir. Nihai YOLOv12n-SOF için ayrı bir beş-seed deney seti bulunmadığından, YOLOv12n-mod ile YOLOv12n-SOF arasında istatistiksel anlamlılık iddiasında bulunulmamıştır; LD-SOF katkısı aşamalı ablation sonuçları üzerinden değerlendirilmiştir.Tablo 11’de Yolov12 mod karşılaştırma sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 11. Yolov12 mod ailesi karşılaştırma sonuçları

Model	Precision	Recall	F1	mAP@0.5	mAP@0.5–0.95	Fitness	Parametre (M)	GFLOPs
YOLOv12s-mod	0.7995	0.7856	0.7924	0.8312	0.6115	0.7964	9.4	21.0
YOLOv12n-mod	0.7673	0.8283	0.7966	0.8309	0.5783	0.8011	2.6	7.5
YOLOv12m-mod	0.7962	0.7792	0.7876	0.8244	0.5965	0.7914	20.0	65.0
YOLOv12l-mod	0.7759	0.8186	0.7967	0.8361	0.6056	0.8011	25.5	87.5
YOLOv12x-mod	0.7623	0.7143	0.7375	0.7771	0.5161	0.7422	57.0	195.0

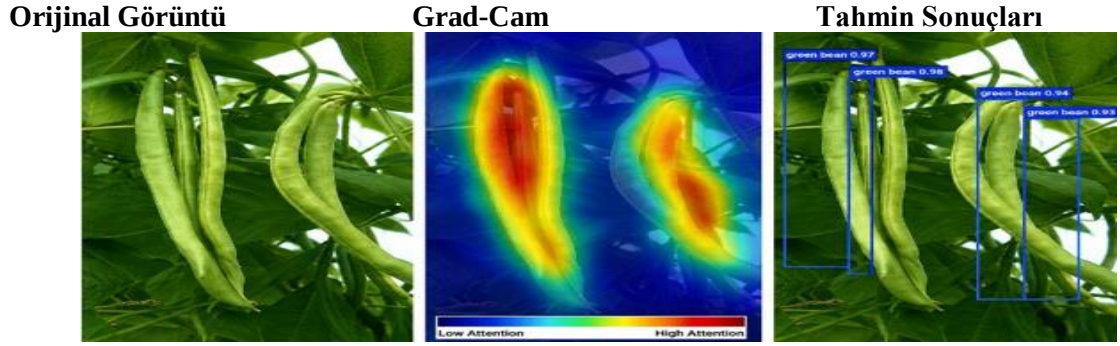
Modifiye modeller arasında tek bir model tüm performans ölçütlerinde üstünlük göstermemiştir. YOLOv12s-mod en yüksek mAP@0.5–0.95 değerini (0.6115), YOLOv12l-mod ise en yüksek mAP@0.5 (0.8361) ve F1-score (0.7967) değerlerini sağlamıştır. Buna karşılık YOLOv12n-mod, en yüksek Recall değerine (0.8283) ulaşmış ve 0.8011 ile en yüksek Fitness değerini YOLOv12l-mod ile paylaşmıştır. Daha önemlisi, bu performansı yalnızca 2.6 M parametre ve 7.5 GFLOPs ile sağlamıştır. Bu nedenle model seçimi yalnızca maksimum doğruluk değerine değil, performans ile hesaplama maliyetinin birlikte değerlendirilmesine dayandırılmıştır.Tablo 12'de YOLOv12n-mod üzerinde LD-SOF optimizasyonunun aşamalı ablation analizi sonuçları verilmiştir.

Tablo 12. YOLOv12n-mod üzerinde LD-SOF optimizasyonunun aşamalı ablation analizi

Metrik / Bileşen	YOLOv12n-mod	+ Adam Optimizasyonu	+ Öğrenme Oranı / Weight Decay Ayarı	YOLOv12n-SOF
Adam optimizasyonu	×	✓	✓	✓
Öğrenme Oranı / Weight decay ayarı	×	×	✓	✓
LD-SOF optimizasyonu	×	×	×	✓
Precision (%)	76.73	79.95	78.35	77.59
Recall (%)	82.83	78.56	79.56	81.86
mAP@0.5 (%)	83.09	83.12	83.21	83.61
mAP@0.5–0.95 (%)	57.83	61.15	58.74	60.56
F1-score (%)	79.66	79.25	78.95	79.67
Fitness	80.11	79.64	80.11	80.11
Δ mAP@0.5–0.95 (YOLOv12n-mod'a göre)	–	+3.32	+0.91	+2.73

Ablation analizi, LD-SOF kapsamında uygulanan optimizasyon adımlarının performans ölçütleri üzerinde farklı etkiler oluşturduğunu göstermiştir. Başlangıç yapılandırması olan YOLOv12n-mod, %82.83 ile en yüksek Recall değerini sağlarken, Adam optimizasyonunun uygulanması Precision değerini %79.95'e ve mAP@0.5–0.95 değerini %61.15'e yükselterek bu iki metrikte en yüksek sonuçları üretmiştir.Öğrenme oranı ve weight decay ayarlarının eklenmesiyle mAP@0.5 değeri %83.21'e ulaşmış, tüm LD-SOF bileşenlerinin birlikte uygulanmasıyla ise bu değer %83.61'e yükselmiştir. YOLOv12n-SOF; %77.59 Precision, %81.86 Recall, %79.67 F1-score, %83.61 mAP@0.5, %60.56 mAP@0.5–0.95 ve %80.11 Fitness değerleri elde etmiştir. YOLOv12n-mod ile karşılaştırıldığında Precision, mAP@0.5 ve mAP@0.5–0.95 değerlerinde sırasıyla 0.86, 0.52 ve 2.73 yüzde puanlık artış gözlenirken, F1-score büyük ölçüde korunmuş (%79.66 → %79.67) ve Recall 0.97 yüzde puan azalmıştır.

Özellikle mAP@0.5–0.95'teki 2.73 yüzde puanlık artış, LD-SOF sonrasında daha sıkı IoU eşiklerinde lokalizasyon performansının iyileştiğini göstermektedir.
Bununla birlikte, hiçbir yapılandırmanın tüm performans ölçütlerinde eş zamanlı olarak üstün olmadığı görülmüştür. Adam optimizasyonu %61.15 ile en yüksek mAP@0.5–0.95 değerini sağlarken, YOLOv12n-mod %82.83 ile en yüksek Recall değerini elde etmiştir. Bu durum, ardışık optimizasyon adımlarının tüm metriklerde monoton bir performans artışı oluşturmadığını ortaya koymaktadır. Bu nedenle model seçimi tek bir metriğin maksimum değerine dayandırılmamıştır. YOLOv12n-SOF; en yüksek mAP@0.5 (%83.61) ve F1-score (%79.67) değerlerini elde etmesi, başlangıç modeline göre mAP@0.5–0.95'te 2.73 yüzde puanlık iyileşme sağlaması ve Fitness değerini %80.11 düzeyinde koruması nedeniyle genel tespit ve lokalizasyon performansı arasındaki denge dikkate alınarak nihai yapılandırma olarak belirlenmiştir. Nicel performans sonuçlarına ek olarak, nihai modelin karmaşık bitki örtüsü koşullarındaki tespit davranışını ve hedef bölgelere odaklanma eğilimini nitel olarak değerlendirmek amacıyla YOLOv12n-SOF'a ait örnek tespit sonuçları ve Grad-CAM görselleştirmeleri Şekil 7'de sunulmuştur.



Şekil 7. YOLOv12n-SOF modelinin yeşil fasulye tespitine ilişkin nitel sonuçları ve Grad-CAM görselleştirmesi

Şekil 7, YOLOv12n-SOF modelinin yoğun bitki örtüsü altında yeşil fasulye baklalarını tespit etme davranışını nitel olarak göstermektedir. Orijinal görüntüde baklaların çevredeki yaprak ve gövdelerle yüksek renk ve doku benzerliğine sahip olması, hedeflerin arka plandan ayrıştırılmasını güçleştirmektedir. Grad-CAM görselleştirmesinde yüksek aktivasyon bölgelerinin büyük ölçüde fasulye baklaları üzerinde yoğunlaşması, modelin tahmin sırasında hedef nesnelerle ilişkili görsel bölgelere odaklandığını göstermektedir. Özellikle belirgin ve büyük baklalarda daha yoğun aktivasyon gözlenirken, yapraklarla kısmen örtülmüş veya arka planla görsel benzerliği yüksek bölgelerde aktivasyonun daha dağınık olduğu görülmektedir.
Tespit sonuçları, modelin farklı konum, boyut ve örtüşme düzeylerindeki birden fazla yeşil fasulye baklasını aynı görüntü içerisinde lokalize edebildiğini göstermektedir. Bazı belirgin hedeflerde güven skorlarının 0.90–1.00 düzeyine ulaşması modelin açık biçimde görülebilen baklalarda yüksek tahmin güveni sağlayabildiğini gösterirken, kısmen örtülü bir hedefte 0.40 düzeyindeki daha düşük güven skoru, yoğun yaprak örtüsü ve hedef–arka plan benzerliğinin tespit güvenini azaltabildiğine işaret etmektedir. Genel olarak görsel sonuçlar, YOLOv12n-SOF'un karmaşık bitki örtüsü altında yeşil fasulye baklalarını lokalize edebildiğini göstermekle birlikte, örtüşme ve kamuflaj benzeri koşulların düşük güvenli tahminlere neden olabileceğini ortaya koymaktadır.

4. Sonuç ve Öneriler

Yapılan çalışmada doğal tarım koşullarında yeşil fasulye baklalarının tespiti için doğruluk ve hesaplama verimliliğini birlikte dikkate alan üç aşamalı bir model geliştirme yaklaşımı uygulanmıştır. İlk aşamada YOLOv8, YOLOv10, YOLOv11 ve YOLOv12 ailelerinin farklı ölçeklerdeki modelleri karşılaştırılmış ve YOLOv12n, yüksek tespit performansını düşük hesaplama maliyetiyle birleştirmesi nedeniyle temel model olarak seçilmiştir. Seçilen model, güncel tarımsal nesne tespiti çalışmalarında vurgulanan doğruluk–hesaplama maliyeti dengesiyle uyumludur. Pugazhendi ve ark. (2026), YOLO tabanlı tarımsal ürün tespitinde doğruluk–hız dengesinin ve hesaplama verimliliğinin gerçek saha uygulamalarına geçiş açısından önemli olduğunu belirtmiştir. Tian ve ark. (2025), YOLOv12'nin dikkat merkezli mimarisinin rekabetçi hesaplama maliyetini korurken yüksek tespit performansı sağlayabildiğini göstermiştir.

Bu özellikler, sınırlı donanım kaynaklarının bulunduğu hassas tarım ve edge tabanlı uygulamalar açısından hafif modellerin tercih edilmesini desteklemektedir.

İkinci aşamada modifiye YOLOv12 varyantlarının değerlendirilmesi sonucunda YOLOv12n-mod, 2.6 M parametre ve 7.5 GFLOPs hesaplama maliyetini korurken yüksek Recall ve Fitness değerleri sağlaması nedeniyle optimizasyon aşamasına aktarılmıştır. Elde edilen sonuçlar, tarımsal nesne tespitinde daha büyük modellerin her zaman en uygun çözümü sunmadığını ve model seçiminde doğruluk ile hesaplama maliyetinin birlikte değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Chen ve ark. (2024), renk değiştiren kavunların tespitinde geliştirdikleri hafif YOLOv8-CML modeliyle hesaplama yükünün azaltılması ve tespit performansının korunmasının birlikte ele alınabileceğini göstermiştir. Karacaoglu ve Sahin (2025), yoğun örtüşmenin bulunduğu kivi görüntülerinde YOLO modellerinin performansını karşılaştırmış ve hiperparametre optimizasyonu yoluyla mimari değişiklik yapılmadan doğruluk–verimlilik dengesinin geliştirilebileceğini ortaya koymuştur. Önceki çalışmalarda elde edilen sonuçlar, çalışmada benimsenen YOLOv12n , YOLOv12n-mod , YOLOv12n-SOF biçimindeki aşamalı geliştirme yaklaşımını desteklemektedir.

Doğal tarım ortamında yeşil fasulye baklalarının tespiti; baklaların yaprak ve gövdelerle benzer renkte olması, ince ve uzun geometrik yapıları, farklı yönelimlerde bulunmaları ve kısmi örtüşmeler nedeniyle güçleşmektedir. Benzer sorunlar diğer yeşil tarımsal ürünlerin tespitinde de bildirilmiştir. Ang ve ark. (2024), yoğun yeşil yapraklar arasında genç turunçgil meyvelerinin tespitinde hedef–arka plan renk benzerliğinin ve karmaşık bitki örtüsünün önemli güçlükler oluşturduğunu belirtmiştir. Liu ve ark. (2024) ise gerçek bahçe koşullarında yeşil eriklerin küçük boyutları, arka planla renk benzerliği ve meyveler arasındaki örtüşmenin tespit performansını sınırlandırdığını göstermiştir. Elde edilen bulgular, yeşil fasulye tespitinin de yalnızca hedefin varlığının belirlenmesini değil, karmaşık arka plan koşullarında güçlü özellik ayrımı ve hassas lokalizasyon gerektirdiğini göstermektedir.

Son aşamada YOLOv12n-mod üzerine uygulanan Learning-Dynamics-Oriented Stability Optimisation Framework (LD-SOF) ile ağ mimarisi ve hesaplama karmaşıklığı artırılmadan öğrenme dinamikleri optimize edilmiştir. Elde edilen YOLOv12n-SOF modeli %77.59 Precision, %81.86 Recall, %79.67 F1-score, %83.61 mAP@0.5 ve %60.56 mAP@0.5–0.95 değerlerine ulaşmıştır. Başlangıç YOLOv12n-mod modeliyle karşılaştırıldığında mAP@0.5–0.95 değerinde +2.73 yüzde puanlık iyileşme elde edilmiştir. Sonuçlardaki artış, farklı IoU eşiklerini birlikte değerlendiren mAP@0.5–0.95 metriği açısından LD-SOF yaklaşımının özellikle lokalizasyon hassasiyetinin geliştirilmesine katkı sağlayabildiğini göstermektedir. Bu durum yeşil fasulye baklalarının ince ve uzun geometrik yapısı açısından önemlidir. Çünkü tahmin edilen sınır kutularındaki konumsal sapmalar daha sıkı IoU eşiklerinde performansı doğrudan etkileyebilmektedir. Tarımsal robotik uygulamalarda doğru lokalizasyonun önemi Zhao ve ark. (2025) tarafından da vurgulanmıştır. Meyvelerin yalnızca tespit edilmesinin yeterli olmadığı, aynı zamanda konumlarının doğru ve hassas bir şekilde belirlenmesinin robotik hasat sistemlerinin etkinliği açısından kritik öneme sahip olduğu belirtilmiştir.

Ablation sonuçları, optimizasyon bileşenlerinin farklı performans ölçütleri üzerinde farklı etkiler oluşturduğunu ve hiçbir yapılandırmanın tüm metriklerde mutlak üstünlük sağlamadığını ortaya koymuştur. Bu nedenle YOLOv12n-SOF, tek bir performans ölçütündeki üstünlük yerine Recall, F1-score, mAP@0.5, mAP@0.5–0.95, Fitness ve hesaplama maliyeti arasındaki genel denge esas alınarak seçilmiştir. Bu yaklaşım, tarımsal YOLO uygulamalarında doğruluk ve hesaplama verimliliğinin birlikte değerlendirilmesi gerektiğini vurgulayan Pugazhendi ve ark. (2026) ile uyumludur. Ayrıca Karacaoglu ve Sahin (2025), mimari değişiklik yapılmaksızın gerçekleştirilen hiperparametre optimizasyonunun tarımsal nesne tespitinde model performansını artırabileceğini göstermiştir.

Çalışma sonucunda YOLOv12n , YOLOv12n-mod , YOLOv12n-SOF şeklinde gerçekleştirilen aşamalı model geliştirme süreci, ağ mimarisi büyütülmeden yeşil fasulye baklalarının tespit ve lokalizasyon performansının geliştirilebileceğini göstermiştir. YOLOv12n-SOF'un 2.6 M parametre ve 7.5 GFLOPs düzeyindeki düşük hesaplama maliyetini korurken dengeli bir performans sağlaması, yöntemin otomatik ürün izleme, verim tahmini, hasat planlama ve hassas tarım uygulamalarında kullanılma potansiyelini desteklemektedir. Diğer taraftan sonuçlar mevcut veri seti ve deney koşulları kapsamında değerlendirilmelidir. Tarımsal YOLO çalışmalarında özel veri kümelerinin yaygın kullanılması, modellerin farklı üretim ortamlarına genellenebilirliğinin değerlendirilmesinde önemli bir sınırlılıktır.

Bu nedenle gelecekte YOLOv12n-SOF'un farklı fasulye çeşitleri, yetiştirme ortamları, gelişim dönemleri ve çevresel koşulları kapsayan daha büyük bağımsız veri kümeleri üzerinde doğrulanması planlanmaktadır.

Kaynaklar

Ang G, Zhiwei T, Wei M, Yuepeng S, Longlong R, Yuliang F, Jianping Q and Lijia X (2024) Fruits hidden by green: an improved YOLOV8n for detection of young citrus in lush citrus trees. Front. Plant Sci. 15:1375118. doi: 10.3389/fpls.2024.1375118

Badgujar, C., Poulose, A., & Gan, H. (2024). Agricultural object detection with You Only Look Once (YOLO) Algorithm: A bibliometric and systematic literature review. Computers and Electronics in Agriculture, 223, 109090. https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109090

Chen, G., Hou, Y., Cui, T., Li, H., Shangguan, F., & Cao, L. (2024). YOLOv8-CML: a lightweight target detection method for color-changing melon ripening in intelligent agriculture. Scientific Reports, 14(1). https://doi.org/10.1038/s41598-024-65293-w

Fu, X., Li, A., Meng, Z., Yin, X., Zhang, C., Zhang, W., & Qi, L. (2022). A Dynamic Detection Method for Phenotyping Pods in a Soybean Population Based on an Improved YOLO-v5 Network. *Agronomy*, *12*(12), 3209. https://doi.org/10.3390/agronomy12123209

Ji, Y., Ma, T., Shen, H., Feng, H., Zhang, Z., Li, D., & He, Y. (2025). Transmission Line Defect Detection Algorithm Based on Improved YOLOv12. *Electronics*, *14*(12), 2432. https://doi.org/10.3390/electronics14122432

Jia, X., Hua, Z., Shi, H., Zhu, D., Han, Z., Wu, G., & Deng, L. (2025). A Soybean Pod Accuracy Detection and Counting Model Based on Improved YOLOv8. *Agriculture*, *15*(6), 617. https://doi.org/10.3390/agriculture15060617

Jollet, D., Junker-Frohn, L. V., Steier, A., Meyer-Lüpken, T., & Müller-Linow, M. (2023). A new computer vision workflow to assess yield quality traits in bush bean (Phaseolus vulgaris L.). Smart Agricultural Technology, 5, 100306. https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100306

Karacaoglu, B., Sahin, M.E. Optimized YOLO architectures for efficient Kiwi detection in precision agriculture on embedded systems. *Sci Rep* **15**, 45113 (2025). https://doi.org/10.1038/s41598-025-32770-9

Khan, Z., Liu, H., Shen, Y., & Zeng, X. (2024). Deep learning improved YOLOv8 algorithm: Real-time precise instance segmentation of crown region orchard canopies in natural environment. Computers and Electronics in Agriculture, 224, 109168. https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109168

Kingma, D.P., & Ba, J. (2014). Adam: A Method for Stochastic Optimization. *CoRR, abs/1412.6980*.

Li, J., Li, C., Zeng, S., Luo, X., Chen, C. L. P., & Yang, C. (2025a). A lightweight pineapple detection network based on YOLOv7-tiny for agricultural robot system. Computers and Electronics in Agriculture, 231, 109944. https://doi.org/10.1016/j.compag.2025.109944

Li, H., Chen, J., Gu, Z., Dong, T., Chen, J., Huang, J., Gai, J., Gong, H., Lu, Z., & He, D. (2025b). Optimizing edge-enabled system for detecting green passion fruits in complex natural orchards using lightweight deep learning model. Computers and Electronics in Agriculture, 234, 110269. https://doi.org/10.1016/j.compag.2025.110269

Li, Y., Teng, S., Chen, J., Zhou, W., Zhan, W., Wang, J., Huang, L., & Qiu, L. (2024). FEI-YOLO: A Lightweight Soybean Pod-Type Detection Model. *Agronomy*, *14*(11), 2526. https://doi.org/10.3390/agronomy14112526

Liu, Q., Lv, J., & Zhang, C. (2024). MAE-YOLOv8-based small object detection of green crisp plum in real complex orchard environments. Computers and Electronics in Agriculture, 226, 109458. https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109458

Pugazhendi, P., Badgujar, C. M., Sapkota, R., Dhillon, R., Rajesh, S., Joselin Jeya Sheela, J., & Ganapathy, M. R. (2026). Advances in agricultural fruit detection using you only look once (YOLO) algorithm: A review. *Smart Agricultural Technology*, *13*, 101896. https://doi.org/10.1016/j.atech.2026.101896

Qi, J., & Liu, C. (2025). Kidney bean detection in complex agricultural scenarios based on the kidney B-YOLO model. Frontiers in Plant Science, 16. https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1672179

Sulzbach, E., Scheeren, I., Torres Veras, M. S., Tosin, M. C., Ellert Kroth, W. A., Merotto, A., & Markus, C. (2025). Deep learning model optimization methods and performance evaluation of

YOLOv8 for enhanced weed detection in soybeans. Computers and Electronics in Agriculture, 232, 110117. https://doi.org/10.1016/j.compag.2025.110117

Tarabye, H. H. H., & Aboelyousr, A. G. (2025). YOLOv5s for Field Plant Disorders Detection: Challenges and Insights from a Comparative Analysis of Green bean and Faba Bean. Egyptian Journal of Agronomy, 47(2), 279–291. https://doi.org/10.21608/agro.2025.313737.1496

Tian, Y., Ye, Q., & Doermann, D. (2025). YOLOv12: Attention-centric real-time object detectors. In *Proceedings of the 39th Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2025)* (Vol. 38, pp. 87151–87175). Neural Information Processing Systems Foundation, Inc. https://doi.org/10.52202/085713-2627

Wang, A., Chen, H., Liu, L., Chen, K., Lin, Z., Han, J., & Ding, G. (2024). YOLOv10: Real-time end-to-end object detection. In Proceedings of the 38th International Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2024) (Article 3429). Curran Associates Inc.

Zhao, K., Li, Y., & Liu, Z. (2025). Three-Dimensional Spatial Perception of Blueberry Fruits Based on Improved YOLOv11 Network. *Agronomy*, *15*(3), 535. https://doi.org/10.3390/agronomy15030535

TIBBİ VE AROMATİK BİTKİLERDE GÜN İÇİ HASAT ZAMANININ UÇUCU YAĞ VERİMİ VE KİMYASAL BİLEŞİMİ ÜZERİNE ETKİLERİ

EFFECTS OF DIURNAL HARVEST TIME ON ESSENTIAL OIL YIELD AND CHEMICAL COMPOSITION IN MEDICINAL AND AROMATIC PLANTS

Ebru AKIN
Faculty of Agriculture, Erciyes University, Kayseri, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-4609-4906

Özet

Tıbbi ve aromatik bitkiler, içerdikleri uçucu yağlar ve biyolojik olarak aktif sekonder metabolitler nedeniyle gıda, ilaç, kozmetik ve parfümeri başta olmak üzere birçok endüstriyel alanda önem taşımaktadır. Bu bitkilerde uçucu yağ miktarı ve kimyasal bileşim; genotip, fenolojik dönem, çevresel koşullar ve yetiştirme uygulamalarının yanı sıra hasadın gerçekleştirildiği gün içi zamana bağlı olarak da değişebilmektedir. Bu derlemenin amacı, tıbbi ve aromatik bitkilerde gün içi hasat zamanının uçucu yağ verimi ve kimyasal bileşim üzerindeki etkilerini mevcut bilimsel çalışmalar doğrultusunda değerlendirmektir. Literatürde *Mentha*, *Salvia*, *Ocimum*, *Origanum*, *Lavandula*, *Melissa*, *Thymbra*, *Thymus*, *Satureja*, *Rosmarinus* ve *Rosa* gibi farklı tıbbi ve aromatik bitkiler üzerinde gerçekleştirilen çalışmalar, uçucu yağ miktarı ve başlıca uçucu bileşenlerin gün içerisinde belirgin değişimler gösterebildiğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, en yüksek toplam uçucu yağ miktarının elde edildiği hasat zamanı ile hedeflenen ana bileşenin en yüksek düzeye ulaştığı zamanın her zaman örtüşmediği görülmektedir. Örneğin bazı türlerde sabah saatleri toplam uçucu yağ veya belirli bileşenler açısından avantaj sağlarken, diğer türlerde öğle, öğleden sonra veya akşam saatlerinin daha uygun olabildiği bildirilmektedir. Bu farklılıkların tür ve genotip özelliklerinin yanı sıra fenolojik dönem, sıcaklık, ışık ve bağıl nem gibi çevresel faktörlerle ilişkili olduğu değerlendirilmektedir. Sonuç olarak, tıbbi ve aromatik bitkilerde optimum gün içi hasat zamanının yalnızca toplam uçucu yağ miktarı dikkate alınarak belirlenmesinin yeterli olmadığı; hedeflenen uçucu yağ bileşeni, ürünün kullanım amacı, genotip ve yetiştirme koşullarının birlikte değerlendirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Tür ve kullanım amacına özgü hasat zamanlarının belirlenmesi, uçucu yağ veriminin ve ürün kalitesinin artırılmasına katkı sağlayabilir.

Anahtar kelimeler: Tıbbi ve aromatik bitkiler, gün içi varyasyon, hasat zamanı, uçucu yağ

Abstract

Medicinal and aromatic plants have considerable importance in various industrial sectors, particularly in the food, pharmaceutical, cosmetic, and perfumery industries, due to their essential oils and biologically active secondary metabolites. Essential oil content and chemical composition in these plants may vary depending on genotype, phenological stage, environmental conditions, and cultivation practices, as well as the time of harvest during the day. This review aims to evaluate the effects of diurnal harvest time on essential oil yield and chemical composition in medicinal and aromatic plants based on available scientific studies. Studies conducted on various medicinal and aromatic plants, including *Mentha*, *Salvia*, *Ocimum*, *Origanum*, *Lavandula*, *Melissa*, *Thymbra*, *Thymus*, *Satureja*, *Rosmarinus*, and *Rosa*, have demonstrated that essential oil content and major volatile constituents may exhibit considerable diurnal variation. However, the harvest time associated with the highest total essential oil content does not necessarily coincide with the time at which the concentration or yield of a targeted major constituent reaches its maximum. While morning harvesting may be advantageous for total essential oil content or specific constituents in some species, midday, afternoon, or evening harvesting may provide more favorable results in others. These differences appear to be associated with species- and genotype-specific characteristics as well as phenological stage and environmental factors such as temperature, light, and relative humidity. In conclusion, determining the optimum diurnal harvest time for medicinal and aromatic plants solely on the basis of total essential oil content may not be sufficient. The targeted essential oil constituent, intended use of the final product, genotype, and growing conditions should be considered together when determining the appropriate harvest time. Establishing species- and purpose-specific harvesting schedules may contribute to improving essential oil yield and overall product quality.

Keywords: Medicinal and aromatic plants, diurnal variation, harvest time, essential oil

GİRİŞ

Tıbbi ve aromatik bitkiler, ekonomik, sosyal, kültürel ve ekolojik açıdan önemli bitkisel kaynaklar arasında yer almaktadır. Bu bitkiler günümüzde farmasötik, parfümeri, kozmetik, gıda ve içecek endüstrileri başta olmak üzere farklı alanlarda değerlendirilmekte ve özellikle kırsal alanlarda ekonomik faaliyetlerin çeşitlendirilmesi açısından da önem taşımaktadır (Pergola ve ark., 2024). Tıbbi ve aromatik bitkilerden elde edilen doğal ürünlerin farmasötik, gıda, kozmetik ve sağlık sektörlerinde yaygın olarak kullanılması, bu bitkilerde bulunan sekonder metabolitlerin nitelik ve niceliğini önemli hale getirmektedir (Hazrati ve ark., 2024).

Tıbbi ve aromatik bitkilerin önemli doğal ürün gruplarından biri olan uçucu yağlar, çok sayıda bitki türünden elde edilmekte ve gıda, içecek, parfümeri ve kozmetik gibi farklı endüstriyel alanlarda kullanılmaktadır. Uçucu yağların miktarı, kimyasal bileşimi ve biyolojik aktivitesi sabit olmayıp çeşitli içsel ve dışsal faktörlerin etkisi altında değişebilmektedir. Tür, ekotip, kemotip, çeşit, bitkinin gelişme dönemi ve kullanılan bitki kısmı içsel faktörler arasında yer alırken; iklim, ışınım, gün içi ve yıllık ritimler, yetiştirme ve hasat uygulamaları ile hasat sonrası işlemler dışsal faktörler arasında değerlendirilmektedir (Abdelmohsen ve Elmaidomy, 2025). Bu nedenle tıbbi ve aromatik bitkilerden istenilen miktar ve kalitede uçucu yağ ve sekonder metabolit elde edilebilmesi açısından uygun hasat zamanının belirlenmesi önemli bir yetiştiricilik uygulamasıdır (Hazrati ve ark., 2024).Uçucu yağların miktarı ve kimyasal bileşimi üzerinde etkili olan çevresel faktörler gün içerisinde önemli değişimler gösterebilmektedir. Özellikle sıcaklık, ışık ve bağıl nemde meydana gelen günlük değişimler, tıbbi ve aromatik bitkilerde sekonder metabolitlerin miktar ve kalitesini etkileyebilmekte ve buna bağlı olarak uygun hasat zamanının belirlenmesini önemli hale getirmektedir (Hazrati ve ark., 2024). Nitekim gün içerisindeki sıcaklık değişimlerinin uçucu yağ metabolizması üzerinde etkili olabileceği; ışık, sıcaklık ve bağıl nem gibi faktörlerin birlikte değerlendirilmesinin optimum hasat zamanının belirlenmesi açısından önem taşıdığı bildirilmektedir (Hazrati ve ark., 2022). Bu nedenle gün içi hasat zamanı, tıbbi ve aromatik bitkilerde yalnızca uçucu yağ miktarını değil, yağın kimyasal bileşimini ve dolayısıyla ürün kalitesini de etkileyebilen önemli bir faktör olarak değerlendirilmektedir.

Literatürdeki bulgular, gün içi hasat zamanının uçucu yağ verimi ve kimyasal bileşim üzerindeki etkisinin türlere göre farklılaştığını; ayrıca toplam uçucu yağ miktarı ile hedeflenen bileşen açısından uygun hasat saatinin aynı olmayabileceğini göstermektedir. Bu durum, optimum hasat zamanının değerlendirilmesinde ürünün kullanım amacının da dikkate alınmasını gerekli kılmaktadır.

Bu doğrultuda, bu derlemenin amacı tıbbi ve aromatik bitkilerde gün içi hasat zamanının uçucu yağ verimi ve kimyasal bileşim üzerindeki etkilerini mevcut bilimsel çalışmalar ışığında karşılaştırmalı olarak değerlendirmek ve tür ile kullanım amacına bağlı uygun hasat zamanının önemini ortaya koymaktır.

1. Gün İçi Hasat Zamanının Uçucu Yağ Verimine Etkisi

Tıbbi ve aromatik bitkilerde uçucu yağ düzeyi günün farklı saatlerinde değişebilmekte ve bu değişimin örüntüsü türe ve yetiştirme koşullarına göre farklılaşmaktadır. Örneğin *Salvia officinalis* L. için yapılan 24 saatlik örneklemede yağ oranı %0,599 ile %1,14 arasında değişmiş; en düşük değerler 04.00–06.00, en yüksek değerler ise 16.00–18.00 aralığında kaydedilmiştir (Hazrati ve ark., 2022).

Benzer gün içi farklılıklar diğer Lamiaceae üyelerinde de bildirilmiştir. *Satureja cilicica* P.H. Davis'te 07.30, 10.30, 13.30 ve 16.30 hasatları karşılaştırıldığında uçucu yağ oranı %0,32–0,61 aralığında bulunmuş; en düşük değer 13.30, en yüksek değer 16.30 hasadında saptanmıştır (Maral, 2022). *Origanum dubium* Boiss.'ta ise 06.00–18.00 arasındaki beş örnekleme zamanında yağ oranı %6,4–8,6 arasında değişmiş; minimum değer 12.00'de, maksimum değer 18.00'de kaydedilmiştir (Maral, 2025). Bununla birlikte, farklı türlerde optimum hasat saatinin aynı olmaması, gün içi varyasyonun tek başına belirli bir saat aralığıyla açıklanamayacağını göstermektedir.

Salvia officinalis üzerinde farklı fenolojik dönemleri de dikkate alan bir başka çalışmada, gün içi hasat zamanının etkisinin fenolojik dönem ve çevresel koşullarla birlikte değerlendirilmesi gerektiği bildirilmiştir (Soltanbeigi ve Samadpourrigani, 2021).*Mentha spicata* L. üzerinde gerçekleştirilen bir çalışmada bitkiler 24 saat boyunca iki saatlik aralıklarla hasat edilmiş ve uçucu yağ veriminin gün içi zamana bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. En yüksek uçucu yağ verimi 09.00'da elde edilirken, çalışmada uçucu yağ miktarı ile başlıca bileşenlerin maksimum düzeye ulaştığı saatlerin her zaman örtüşmediği görülmüştür (Bufalo ve ark., 2015).

Ocimum basilicum L. üzerinde yürütülen güncel çalışmalar da hasat saatinin etkisinin genotip veya ekotipe bağlı olarak farklılaşabileceğini göstermektedir. Farklı fesleğen genotip ve ekotiplerinde günün değişik saatlerinde gerçekleştirilen hasatlarda uçucu yağ oranı ve kimyasal profil bakımından farklılıklar bildirilmiştir (Aygun ve ark., 2022; Kızıl ve ark., 2025). Bu bulgu, optimum hasat saatinin aynı tür içerisinde dahi genetik materyale bağlı olarak değişebileceğine işaret etmektedir.

Özyazıcı ve Kevseroğlu (2019), *Mentha spicata, Origanum onites, Melissa officinalis* ve *Lavandula angustifolia* türlerini aynı araştırmada sabah (07.00), öğle (13.30) ve akşam (19.00) saatlerinde değerlendirmiştir. Hasat saatinin uçucu yağ oranı üzerindeki etkisi incelenen bütün türlerde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuş; gün içi varyabilite bakımından *M. spicata* için öğle, *O. onites* ve *M. officinalis* için sabah, *L. angustifolia* için ise akşam hasadı önerilmiştir. Bu bulgu, aynı yetiştirme koşullarında dahi türlerin optimum gün içi hasat zamanlarının farklılaşabildiğini göstermektedir.

Farklı türlerden elde edilen bulgular, uçucu yağ verimi açısından tüm tıbbi ve aromatik bitkiler için geçerli tek bir gün içi hasat saatinin bulunmadığını göstermektedir. Sabah, öğle veya akşam hasadının avantajı; tür, genotip, fenolojik dönem, yetiştirme bölgesi ile sıcaklık ve bağıl nem gibi çevresel değişkenlere bağlı olarak farklılaşabilmektedir. Bu nedenle optimum hasat zamanının belirlenmesinde türe özgü deneysel veriler ile yetiştirme koşulları birlikte değerlendirilmelidir.

Tablo 1. Tıbbi ve aromatik bitkilerde gün içi hasat zamanının uçucu yağ verimi ve başlıca bileşenler üzerine etkileri

Bitki türü	**Hasat saatleri**	**Uçucu yağ sonucu**	**Kimyasal bileşim sonucu**	**Kaynak**
Salvia officinalis	2 saat aralıklarla / 24 saat	Maks. %1,14: 16.00–18.00; min. %0,599: 04.00–06.00	cis-thujone %34,38–46,18; maks. %46,18: 04.00–06.00	Hazrati ve ark., 2022
Mentha spicata	07.00–05.00, 2 saat aralıklarla	0,96–1,47 g/100 g kuru herba; maks. 09.00, min. 19.00	Karvon %44,1–66,4; oran maks. 21.00, karvon verimi maks. 03.00	Bufalo ve ark., 2015
Origanum dubium	06.00, 09.00, 12.00, 15.00, 18.00	Maks. %8,6: 18.00; min. %6,4: 12.00	Karvakrol %72,0–83,4; maks. 09.00	Maral, 2025
Satureja cilicica	07.30, 10.30, 13.30, 16.30	Maks. %0,61: 16.30; min. %0,32: 13.30	p-simen %19,24–40,04; karvakrol %16,42–29,59; timol %10,04–19,34	Maral, 2022
Salvia officinalis	06.00, 14.00, 20.00 + 3 fenolojik dönem	En yüksek yağ %2,05: çiçeklenme dönemi, 20.00	Uçucu yağ kalitesi fenolojik dönem ve hasat saatine göre değerlendirilmiştir	Soltanbeigi & Samadpourrigani, 2021
Ocimum basilicum (5 genotip)	00.00, 06.00, 12.00, 18.00	En yüksek değer: G5 kuru yaprakta %2,8, 18.00	Linalool çoğunlukla gün ortasına doğru artış eğilimi göstermiştir	Aygun ve ark., 2022
Ocimum basilicum (Dicle/Silbe)	06.00, 09.00, 12.00, 15.00, 18.00	Dicle: maks. %1,03 (2. biçim, 09.00); Silbe: maks. %0,85 (1. biçim, 06.00)	Uçucu yağ içeriği ekotip × biçim dönemi × hasat saati etkileşiminden etkilenmiştir	Kızıl ve ark., 2025

Bitki türü	**Hasat saatleri**	**Uçucu yağ sonucu**	**Kimyasal bileşim sonucu**	**Kaynak**
Mentha spicata	07.00, 13.30, 19.00	Gün içi değişim açısından öğle (13.30) hasadı önerilmiştir	Kimyasal bileşim incelenmemiştir	Özyazıcı & Kevseroğlu, 2019
Origanum onites	07.00, 13.30, 19.00	Gün içi değişim açısından sabah (07.00) hasadı önerilmiştir	Kimyasal bileşim incelenmemiştir	Özyazıcı & Kevseroğlu, 2019
Melissa officinalis	07.00, 13.30, 19.00	Gün içi değişim açısından sabah (07.00) hasadı önerilmiştir	Kimyasal bileşim incelenmemiştir	Özyazıcı & Kevseroğlu, 2019
Lavandula angustifolia	07.00, 13.30, 19.00	Gün içi değişim açısından akşam (19.00) hasadı önerilmiştir	Kimyasal bileşim incelenmemiştir	Özyazıcı & Kevseroğlu, 2019
Origanum onites	08.00, 12.00, 16.00; 48 hafta	En yüksek yağ %1,92: haziranın 2. yarısı, çiçeklenme sonrası/tohum başlangıcı, öğleden sonra	Çalışmada mevsimsel ve gün içi değişkenlik birlikte değerlendirilmiştir	Yaldız ve ark., 2005
Thymbra spicata var. *spicata*	06.00–21.00, 3 saat aralıklarla	Uçucu yağ %2,02–5,04; maks. 12.00	Karvakrol maks. %70,87: 06.00; min. %66,36: 12.00; p-simen maks. %6,89: 21.00	Toncer ve ark., 2016
Thymus zygioides	08.00, 12.00, 16.00	En yüksek uçucu yağ %1,1: 08.00	08.00'de timol %21,2; p-simen %18,5; γ-terpinen %16,2	Paşa, 2019
Salvia rosmarinus	06.00, 12.00, 18.00 + alt/orta/üst kanopi	Uçucu yağ %0,43–0,75; kanopi konumu ve saat birlikte etkili	Kamfor %6,71–15,59; cis-verbenon %10,48–17,94	Soltanbeigi & Özliman, 2026
Helichrysum italicum	06.00–18.00, 2 saat aralıklarla	Uçucu yağ %0,30–0,47; maks. 14.00, min. 06.00	γ-curcumene maks. %23,60: 06.00; neryl acetate %23,59: 14.00; α-pinene %28,97: 18.00	Özliman, 2026

2. Gün İçi Hasat Zamanının Uçucu Yağ Kimyasal Bileşimine Etkisi

Gün içi hasat zamanı, tıbbi ve aromatik bitkilerde toplam uçucu yağ miktarının yanı sıra uçucu yağı oluşturan bileşenlerin oranlarında da önemli değişimlere neden olabilmektedir. Bu değişimler, özellikle belirli bir bileşen bakımından zengin uçucu yağ elde edilmesinin amaçlandığı üretim sistemlerinde önem taşımaktadır. Nitekim farklı bitki türlerinde gerçekleştirilen çalışmalar, toplam uçucu yağ miktarının maksimum olduğu saat ile uçucu yağın temel veya hedef bileşenlerinin en yüksek orana ulaştığı saatin her zaman aynı olmadığını göstermektedir.

Mentha spicata L. sonuçları, toplam yağ verimi ile tek bir bileşenin oranı ve mutlak veriminin aynı hasat saatinde maksimuma ulaşmayabileceğini göstermektedir. Bufalo ve ark. (2015) karvon oranını %44,1–66,4 aralığında bildirmiş ve en yüksek oranı 21.00'de belirlemiştir. Buna karşılık toplam uçucu yağ veriminin maksimumu 09.00'da, karvon veriminin maksimumu 03.00'da kaydedilmiştir. Limonen oranı da %10,7–15,8 arasında değişerek 19.00'da en yüksek düzeye ulaşmıştır. Dolayısıyla optimum saat, hangi çıktı değişkeninin hedeflendiğine göre farklı tanımlanabilmektedir.

Origanum dubium Boiss. verileri de benzer bir ayrımı ortaya koymaktadır. Maral (2025), yağdaki oksijenli monoterpenlerin toplamını %79,9–88,0, temel bileşen karvakrolü ise %72,0–83,4 aralığında bildirmiştir. Toplam uçucu yağ oranı 18.00'de en yüksek düzeye ulaşırken karvakrol oranı 09.00'da maksimum olmuştur. Aynı örneklemelerde γ-terpinen %1,9–6,3 ve p-simen %4,0–5,4 aralığında değişmiştir. Böylece hasat saatinin toplam yağ miktarı kadar kimyasal profil açısından da değerlendirilmesi gerektiği görülmektedir.

Satureja cilicica P.H. Davis'te de bileşen oranları gün boyunca sabit kalmamıştır. Maral (2022) p-simeni %19,24–40,04, karvakrolü %16,42–29,59, timolü %10,04–19,34 ve γ-terpineni %4,92–12,94 aralığında bildirmiştir. Toplam uçucu yağ oranının da örnekleme saatleri arasında değişmesi, gün içi etkinin hem verim hem kompozisyon düzeyinde ortaya çıkabildiğini göstermektedir.

Salvia officinalis L. çalışması, hedef bileşene göre hasat zamanının değişebileceğine başka bir örnek sunmaktadır. Hazrati ve ark. (2022) yağda 32 bileşen tanımlamış; cis-thujone (%34,38–46,18), 1,8-cineole (%8,70–11,07), camphor (%9,65–14,38) ve trans-thujone'u (%9,43–14,19) başlıca bileşenler arasında bildirmiştir. Cis-thujone 04.00–06.00 aralığında %46,18 ile en yüksek düzeye çıkarken toplam yağ oranı 16.00–18.00 aralığında maksimum olmuştur. Bu ayrım, toplam yağ verimi ile belirli bir bileşenin zenginleştirilmesi için seçilecek hasat saatinin aynı olmak zorunda olmadığını göstermektedir. Fesleğende de uçucu yağ kompozisyonunun hasat saatine verdiği yanıtın genotipe bağlı olarak değişebildiği görülmektedir. Farklı *Ocimum basilicum* L. genotiplerinin günün değişik saatlerinde değerlendirildiği çalışmalarda linalool, eucalyptol, trans-alpha-bergamotene, methyl cinnamate, alpha-muurolol ve eugenol gibi başlıca bileşenlerin oranlarının genotip ve hasat saatine bağlı olarak farklılaştığı bildirilmiştir (Aygun ve ark., 2022; Kızıl ve ark., 2025). Bu bulgular, gün içi hasat zamanının kimyasal bileşim üzerindeki etkisinin bitkinin genetik özelliklerinden bağımsız değerlendirilemeyeceğini göstermektedir.

Thymbra spicata var. *spicata* üzerinde yapılan çalışmada uçucu yağın temel bileşeni olan karvakrolün hasat saatine göre değiştiği; toplam uçucu yağ miktarı ile bazı temel bileşenlerin maksimum düzeye ulaştığı saatlerin farklılaşabildiği bildirilmiştir (Toncer ve ark., 2016). Benzer şekilde *Thymus zygioides* Griseb.'de 08.00, 12.00 ve 16.00 saatlerinde gerçekleştirilen hasatlarda uçucu yağ oranı ve bileşenlerinde diurnal değişim belirlenmiştir (Paşa, 2019). Bu bulgular, aynı uçucu yağ içerisindeki farklı bileşenlerin dahi gün içerisinde farklı değişim örüntüleri gösterebildiğine işaret etmektedir.

Bu çalışmalar, kimyasal bileşimdeki diurnal değişimin tür ve bileşen düzeyinde farklı örüntüler gösterebildiğini ortaya koymaktadır. Toplam yağ miktarının maksimum olduğu saat, hedef bileşen açısından her zaman en uygun zaman değildir; aynı yağ içerisindeki farklı bileşenler de farklı saatlerde maksimum düzeye ulaşabilmektedir. Bu nedenle optimum hasat zamanı, hedeflenen kimyasal profil ve ürünün kullanım amacı doğrultusunda belirlenmelidir.

3. Gün İçi Değişimin Uçucu Yağ Üzerindeki Etkisinde Çevresel ve Biyolojik Faktörler

Tıbbi ve aromatik bitkilerde uçucu yağların miktarı ve kimyasal bileşiminin gün içerisinde değişmesi, çevresel ve biyolojik faktörlerin birlikte etkisiyle açıklanabilir. Işık, sıcaklık ve bağıl nem gibi çevresel değişkenler gün boyunca önemli dalgalanmalar göstermekte ve bu değişimler bitkilerin fizyolojik ve biyokimyasal süreçlerini etkileyebilmektedir.

Uçucu yağların biyosentezi ve birikiminin genetik faktörlerin yanı sıra sıcaklık, ışık, nem, yetiştirme koşulları ve hasat zamanı gibi faktörlerin etkisi altında olduğu bildirilmektedir (Hazrati ve ark., 2024). Sıcaklık, uçucu yağların gün içi değişiminde etkili olabilecek başlıca çevresel faktörlerden biridir. Gün içerisinde hava sıcaklığında meydana gelen değişimler bitkinin fizyolojik süreçlerini ve uçucu yağ metabolizmasını etkileyebilmekte; bununla birlikte sıcaklığın etkisi ışık ve bağıl nem gibi diğer çevresel faktörlerden bağımsız gerçekleşmemektedir. Bu nedenle optimum hasat saatinin belirlenmesinde çevresel değişkenlerin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir (Hazrati ve ark., 2022; Hazrati ve ark., 2024).

Çevresel koşulların yanı sıra bitkinin genetik özellikleri ve gelişme dönemi de gün içi değişime verilen yanıtı belirlemektedir. Farklı fesleğen genotip ve ekotiplerinde gerçekleştirilen çalışmalar, gün içi hasat zamanına verilen yanıtın kullanılan genetik materyale göre değişebildiğini ortaya koymuştur (Aygun ve ark., 2022; Kızıl ve ark., 2025). Benzer şekilde fenolojik dönem de sekonder metabolitlerin miktarı ve bileşimini etkileyebildiğinden, aynı tür için belirlenen optimum gün içi hasat saati farklı gelişme dönemlerinde değişebilmektedir (Soltanbeigi ve Samadpourrigani, 2021; Hazrati ve ark., 2024).

Mevsimsel dönem ile gün içi zamanın birlikte ele alındığı güncel bir çalışma da bu çok faktörlü yapıyı desteklemektedir. Paulus ve ark. (2026), *Tetradenia riparia* (Hochst.) Codd'u Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında 08.00, 11.00, 14.00 ve 17.00 saatlerinde iki yıl boyunca değerlendirmiştir. Uçucu yağ içeriği, kimyasal bileşim ve antioksidan aktivite hem aya hem örnekleme saatine göre değişmiş; yağ içeriği bakımından öne çıkan koşullar ile antioksidan aktivitenin öne çıktığı koşullar her zaman çakışmamıştır. Bu bulgu, hasat zamanının mevsim, gün içi saat ve hedeflenen ürün özelliği birlikte dikkate alınarak optimize edilmesini desteklemektedir.

Dolayısıyla gün içi hasat zamanının uçucu yağ verimi ve kimyasal bileşim üzerindeki etkisi tek bir çevresel veya biyolojik değişkenle açıklanamaz. Günlük sıcaklık, ışık ve bağıl nem değişimleri; tür, genotip ve fenolojik dönemle etkileşerek uçucu yağın miktarını ve bileşimini şekillendirebilir. Bu çok faktörlü yapı, aynı veya yakın akraba türlerde farklı optimum hasat saatlerinin bildirilmesini açıklayan başlıca nedenlerden biridir.

4. Optimum Hasat Zamanının Kullanım Amacına Göre Değerlendirilmesi

Tıbbi ve aromatik bitkilerde optimum hasat zamanının belirlenmesinde yalnızca toplam uçucu yağ miktarının dikkate alınması, ürünün kullanım amacına bağlı olarak yeterli olmayabilir. Uçucu yağların endüstriyel ve biyolojik değerini belirleyen önemli unsurlardan biri kimyasal bileşim olduğundan, belirli bir bileşenin hedeflendiği üretimlerde hasat zamanının söz konusu bileşenin miktarı veya oranı dikkate alınarak belirlenmesi gerekmektedir (Hazrati ve ark., 2024).

Bu açıdan optimum hasat zamanı, sabit bir saatten ziyade, hedeflenen ürün özelliklerine göre tanımlanan bir hasat penceresi olarak değerlendirilmelidir. Ticari üretimde amaç birim bitki materyalinden mümkün olan en yüksek uçucu yağ miktarını elde etmek ise toplam uçucu yağ veriminin maksimum olduğu zaman öncelikli olabilir. Buna karşılık belirli bir bileşenin yüksek oranda bulunması isteniyorsa hedef bileşenin miktarı ve kimyasal profil ön plana çıkacaktır. Bu nedenle hasat programları oluşturulurken tür, genotip, fenolojik dönem ve çevresel koşulların yanı sıra ürünün nihai kullanım amacı da dikkate alınmalıdır.

5. Sonuç ve Öneriler

Tıbbi ve aromatik bitkilerde gün içi hasat zamanı, uçucu yağ verimi ve kimyasal bileşimin belirlenmesinde dikkate alınması gereken temel faktörlerden biridir. İncelenen çalışmalar, uçucu yağ miktarı ve başlıca bileşenlerin gün içerisinde değişebildiğini, ancak bu değişimin yönünün ve optimum hasat saatinin türler arasında farklılaştığını ortaya koymaktadır. Bu farklılıkların tür ve genotip özelliklerinin yanı sıra fenolojik dönem ve çevresel koşullarla ilişkili olabileceği değerlendirilmektedir. Bu nedenle tüm tıbbi ve aromatik bitkiler için geçerli tek bir optimum gün içi hasat saatinden söz etmek mümkün değildir.

Literatürdeki bulgular ayrıca en yüksek uçucu yağ veriminin elde edildiği saat ile hedeflenen ana bileşenin maksimum düzeye ulaştığı saatin her zaman örtüşmediğini göstermektedir. Dolayısıyla hasat zamanının belirlenmesinde toplam uçucu yağ veriminin yanı sıra hedeflenen bileşen, kimyasal profil ve ürünün nihai kullanım amacı birlikte değerlendirilmelidir.

Sonuç olarak, tıbbi ve aromatik bitkilerde tür, genotip, yetiştirme koşulları ve kullanım amacına özgü hasat programlarının geliştirilmesi, istenen miktar ve kalitede uçucu yağ üretimini destekleyebilir. Gelecekteki çalışmalarda gün içi hasat zamanı farklı fenolojik dönemler ve çevresel koşullarla birlikte ele alınmalı; toplam uçucu yağ miktarının yanı sıra hedef bileşen verimi ve biyolojik aktivite de değerlendirilmelidir.

Kaynaklar

Abdelmohsen, U. R., & Elmaidomy, A. H. (2025). Exploring the therapeutic potential of essential oils: A review of composition and influencing factors. *Frontiers in Natural Products, 4*, 1490511. https://doi.org/10.3389/fntpr.2025.1490511

Aygun, Y. Z., Eren, Y., & Ertekin, E. N. (2022). Diurnal variation of essential oil ratio and composition of some basil genotypes. *Bangladesh Journal of Botany, 51*(4), 787–795. https://doi.org/10.3329/bjb.v51i4.63498

Bufalo, J., Zheljazkov, V. D., Cantrell, C. L., Astatkie, T., Ciampa, L., & Jeliazkova, E. (2015). Diurnal effects on spearmint oil yields and composition. *Scientia Horticulturae, 182*, 73–76. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.11.018

Hazrati, S., Beidaghi, P., Kashkooli, A. B., Hosseini, S. J., & Nicola, S. (2022). Effect of harvesting time variations on essential oil yield and composition of sage (Salvia officinalis). *Horticulturae, 8*(2), 149. https://doi.org/10.3390/horticulturae8020149

Hazrati, S., Mousavi, Z., & Nicola, S. (2024). Harvest time optimization for medicinal and aromatic plant secondary metabolites. *Plant Physiology and Biochemistry, 212*, 108735. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.108735

Kizil, S., Toncer, O., Ipekesen, S., Sogut, T., Diraz Yildirim, E., & Nacar Karaman, S. (2025). Day-time variations in essential oil contents of sweet basil (Ocimum basilicum L.) ecotypes in semi-arid climatic conditions. *Anais da Academia Brasileira de Ciências, 97*(Suppl. 4), e20250116. https://doi.org/10.1590/0001-3765202520250116

Maral, H. (2022). Diurnal variations of essential oil content and composition of Satureja cilicica P.H. Davis under culture conditions. *International Journal of Innovative Approaches in Agricultural Research, 6*(3), 239–245. https://doi.org/10.29329/ijiaar.2022.475.7

Maral, H. (2025). Impacts of diurnal variation on essential oil properties and antioxidant activity of endemic Origanum dubium Boiss. *Biological Diversity and Conservation, 18*(3), 342–348. https://doi.org/10.46309/biodicon.2025.1644458

Özliman, S. (2026). Diurnal dynamics of essential oil yield and chemical profile in Helichrysum italicum (Roth) G. Don: Identifying the optimal harvest window. *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences, 1*, 1860769. https://doi.org/10.29133/yyutbd.1860769

Özyazıcı, G., & Kevseroğlu, K. (2019). Mentha spicata L., Origanum onites L., Melissa officinalis L. ve Lavandula angustifolia Mill. bitkilerinde uçucu yağ oranı üzerine ontogenetik ve diurnal varyabilitenin etkileri. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 6*(3), 285–294. https://doi.org/10.19159/tutad.594468

Paşa, C. (2019). Türkiye'de doğal olarak yetişen Thymus zygioides (Lamiaceae)'in uçucu yağı ve bileşenlerinin diurnal varyasyonu. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi, 22*, 6–9. https://doi.org/10.18016/ksutarimdoga.vi.556254

Paulus, D., Toro León, L. D. V., Gonçalves, J. E., & de Oliveira, G. S. (2026). Harvest month and time of day impact the content, chemical composition, and antioxidant activity of the essential oil of Tetradenia riparia (Hochst.) Codd. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 54*, 100737. https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2026.100737

Pergola, M., De Falco, E., Belliggiano, A., & Ievoli, C. (2024). The most relevant socio-economic aspects of medicinal and aromatic plants through a literature review. *Agriculture, 14*(3), 405. https://doi.org/10.3390/agriculture14030405

Soltanbeigi, A., & Samadpourrigani, E. (2021). Phenological cycle and diurnal variation effects on the volatile oil characteristics of sage (Salvia officinalis L.). *Trakya University Journal of Natural Sciences, 22*(1), 59–65. https://doi.org/10.23902/trkjnat.815752

Soltanbeigi, E., & Özliman, S. (2026). Diurnal and intra-plant variation in volatile oil content and constituents of Salvia rosmarinus Spenn. leaves. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences, 10*(1), 113–124. https://doi.org/10.31015/jaefs.2026.1.13

Toncer, O., Karaman, S., Diraz, E., Sogut, T., & Kizil, S. (2016). Diurnal variation effects in essential oils of wild thyme (Thymbra spicata var. spicata L.) under cultivation conditions. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, *19*(8), 2037–2048. https://doi.org/10.1080/0972060X.2016.1252694

Yaldiz, G., Sekeroglu, N., Özgüven, M., & Kirpik, M. (2005). Seasonal and diurnal variability of essential oil and its components in Origanum onites L. grown in the ecological conditions of Çukurova. *Grasas y Aceites, 56*(4), 254–258. https://doi.org/10.3989/gya.2005.v56.i4.89

NEONATAL İSHALLI BUZAĞILARDA HOMOSISTEIN, NÖTROFIL/LENFOSIT ORANI VE ASIT-BAZ PARAMETRELERI ARASINDAKI İLIŞKILERIN DEĞERLENDIRILMESI

EVALUATION OF THE RELATIONSHIPS BETWEEN HOMOCYSTEINE, NEUTROPHIL-TO-LYMPHOCYTE RATIO, AND ACID-BASE PARAMETERS IN NEONATAL CALVES WITH DIARRHEA

Asst. Prof. Dr. Ahmet Cihat TUNÇ
Department of Internal Medicine, Faculty of Veterinary Medicine, Afyon Kocatepe University, Afyonkarahisar, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-6296-6762

Dr. Sercan Hüseyin BAYENDUR
Department of Internal Medicine, Faculty of Veterinary Medicine, Afyon Kocatepe University, Afyonkarahisar, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-4246-8181

Özet
Bu çalışmada, neonatal dönemdeki ishalli buzağılarda homosistein, nötrofil/lenfosit oranı, kan gazı, elektrolit ve asit-baz parametrelerindeki değişimlerin sağlıklı buzağılarla karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi ve parametreler arası ilişkilerin incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında 20 ishalli ve 20 sağlıklı olmak üzere toplam 40 buzağıdan kan örnekleri alınarak hematolojik, kan gazı ve ELISA yöntemleriyle analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular incelendiğinde, ishalli grupta bikarbonat (HCO3) ve baz açığı (BE) değerlerinin anlamlı düzeyde düşük, anyon açığı (AG) değerinin ise kontrol grubuna kıyasla yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Asit-baz kompanzasyonunu yansıtan pCO2 seviyelerinin ishalli grupta düştüğü, kan pH değerlerinin ise ishalli grupta kontrol grubuna göre anlamlı derecede düşük saptandığı (p=0.020) tespit edilmiştir. Elektrolit düzeylerinde ise gruplar arası anlamlı bir farklılık olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca, sistemik yangı indikatörü NLR'nin ishalli buzağılarda belirgin şekilde arttığı, buna karşın homosistein düzeylerinin sağlıklı buzağılara göre daha düşük olduğu ve homosistein ile BE arasında pozitif yönlü bir korelasyon bulunduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, ishalli buzağılarda hücresel düzeyde metabolik asidoz ve sistemik yangı geliştiğine, ancak azalan pCO2 ile sağlanan kompansatör solunum yanıtına rağmen kan pH değerinin dengelenemediğine ve klinik asidemi tablosunun oluştuğuna işaret edilmektedir. Böbrek perfüzyonunun korunduğunu düşündüren elektrolit tablosu eşliğinde saptanan düşük homosistein seviyelerinin ise, doku düzeyindeki asidoz tablosunun bu molekülün sentezini baskılamasından kaynaklanabileceği değerlendirilmektedir.
Anahtar Kelimeler: Asit-baz dengesi, Homosistein, Kan gazları, Neonatal ishal, NLR

Abstract
This study aimed to comparatively evaluate alterations in homocysteine, neutrophil-to-lymphocyte ratio (NLR), blood gas, electrolyte, and acid-base parameters in diarrheic calves during the neonatal period relative to healthy calves, and to investigate the relationships among these parameters. Within the scope of the study, blood samples obtained from a total of 40 calves, comprising 20 diarrheic and 20 healthy animals, were analyzed using hematological, blood gas, and ELISA methodologies. Upon examining the findings, bicarbonate (HCO_3) and base excess (BE) values were observed to be significantly lower, whereas the anion gap (AG) value was higher in the diarrheic group compared to the control group. It was determined that pCO_2 levels, reflecting acid-base compensation, decreased in the diarrheic group, and blood pH values were detected to be statistically significantly lower in the diarrheic group than in the control group (p=0.020). Regarding electrolyte levels, no significant difference was identified between the groups. Furthermore, the NLR, a systemic inflammation indicator, increased prominently in diarrheic calves; conversely, homocysteine levels were lower compared to healthy calves, and a positive correlation was identified between homocysteine and BE. In conclusion, it is indicated that metabolic acidosis and systemic inflammation develop at the cellular level in diarrheic calves; however, despite the compensatory respiratory response provided by the decreased pCO_2, the blood pH value could not be stabilized, leading to a clinical acidemia profile.

Accompanied by an electrolyte profile suggesting that renal perfusion was preserved, the lower homocysteine levels are evaluated to potentially stem from the suppression of this molecule's synthesis by the tissue-level acidosis profile

Keywords: Acid-base balance, Blood gases, Homocysteine, Neonatal diarrhea, NLR

TÜRKİYE'DE KURAKLIK VE İKLİM KOŞULLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ: TEKİRDAĞ İLİ SÜLEYMANPAŞA İLÇESİ ÖRNEĞİ

ASSESSMENT OF DROUGHT AND CLIMATE CONDITIONS IN TURKEY: THE CASE OF SÜLEYMANPAŞA DISTRICT, TEKİRDAĞ PROVINCE

Dr. Fatih BÜYÜKFİLİZ
Tekirdağ Viticulture Research Institute, Tekirdağ, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-8113-876X

Prof. Dr. Korkmaz BELLİTÜRK
Department of Soil Science and Plant Nutrition, Faculty of Agriculture, Tekirdağ Namık Kemal University, Tekirdağ, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-4944-3497

MSc. Bekir AÇIKBAŞ
Tekirdağ Viticulture Research Institute, Tekirdağ, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-0381-4969

Özet
Son yıllarda yaşanan iklim değişiklikleri, tarımsal üretimde bazı olumsuzluklara sebep olmuştur. Özellikle son birkaç yıldır yaşanan şiddetli kuraklık, düzensiz yağış değişimleri ve don olayları, verim miktar ve kalitesinde azalmalara yol açmıştır. Bu durum tarımsal üretimin yoğun olarak yapıldığı Tekirdağ ili Süleymanpaşa ilçesi için de son derece önemli bir hal almıştır. Yörede son yıllarda yağış miktarının oldukça düşmesi ciddi kuraklıklara sebep olmuş. Yapılan çalışmada Tekirdağ ili Süleymanpaşa ilçesinde 2023 yılı toplam yıllık yağış miktarı 514,6 mm düzeyindeyken bu durum 2025 yılında 334,8 mm'ye gerilediği tespit edilmiş olup, 2025 yılı haziran ve temmuz aylarında hiç yağış almadığı belirlenmiştir. Sıcaklık değişimleri ele alındığında, 2022 yılı ortalama sıcaklık değeri 14,51 °C olarak belirlenmiş, bu değer 2024 yılında 15,57 °C 'ye yükselmiş ve iki yıl içerisinde 1 °C'den fazla bir sıcaklık artışı olduğu tespit edilmiştir. Bu sıcaklık artışları da kuraklığı beraberinde getirmekte olup, yörede özellikle hububat ve ayçiçeği ekiliş alanlarında ciddi verim ve kalite düşüklüğüne sebep olmuştur. Tüm bu veriler ele alındığında iklim değişiklikleri ve yağış rejimindeki düzensizlikler Tekirdağ ilinde tarımsal üretim için önem teşkil etmekte olup, yaşanan bu iklim olaylarına karşı bir takım tedbirler alınarak bu koşulların optimize edilmesiyle sürdürülebilir tarımın yapılabilmesi için olanak sağlanmalıdır.
Anahtar Kelimeler: İklim değişikliği, sıcaklık, yağış, kuraklık

Abstract
Climate changes in recent years have led to certain adverse effects on agricultural production. In particular, the severe drought, irregular rainfall patterns, and frost events experienced over the past few years have resulted in declines in both the quantity and quality of crops. This situation has become particularly critical for the Süleymanpaşa district of Tekirdağ Province, where agricultural production is concentrated. The significant decrease in rainfall in the region in recent years has caused severe droughts. In the study, it was determined that while the total annual precipitation in Süleymanpaşa District, Tekirdağ Province, was 514,6 mm in 2023, this figure dropped to 334,8 mm in 2025, and it was established that there was no precipitation at all in June and July of 2025. Regarding temperature changes, the average temperature in 2022 was recorded at 14,51 °C; this value rose to 15,57 °C in 2024, indicating a temperature increase of over 1 °C within two years. These temperature increases have also brought about drought, leading to significant declines in yield and quality, particularly in cereal and sunflower cultivation areas in the region. Considering all these data, climate change and irregularities in the precipitation regime are significant factors affecting agricultural production in Tekirdağ Province. Therefore, certain measures must be taken to address these climate events and optimize these conditions to enable sustainable agriculture**.**
Keywords: Climate change, temperature, drought, rainfall

1. Giriş

Dünya genelinde son zamanlarda yaşanan iklim değişiklikleri oldukça hissedilir bir hale gelmiştir. Özellikle son yıllarda yaşanan aşırı kuraklık ve düzensiz yağış rejimleri tarımsal üretimin yapılmasını güçleştirmektedir. Değişen yağış düzenleri ve yükselen sıcaklıklar nedeniyle, iklim değişikliğinin küresel ölçekte kuraklıkların şiddetini ve sıklığını artırması beklenmektedir (Wang ve ark., 2025). Yetiştirme sezonunda beklenmedik bir zamanda ani sıcaklık değişimleri bilhassa don olayı tarımsal üretim için en önemli olumsuzlukların başında gelmektedir. Bu iklim olayları, üreticiler için büyük bir verim ve kalite kayıplarına yol açmaktadır.

Dünya çapında yaşanan bu iklim değişimlerinden Türkiye de olumsuz olarak etkilenmiştir. Tarımsal üretim için önemli bir yere sahip olan ülkemizde özellikle kuraklık ve don olayları son yıllarda tarımsal üretim için önemli konuların başında gelmektedir. Güneydoğu Anadolu, İç Anadolu ve Trakya bölgelerinde 2024–2025 döneminde yaşanan kuraklık sonucunda buğday veriminde yaklaşık % 40 oranında azalma olduğu; mısır, mercimek ve pamuk üretiminde de benzer verim kayıplarının olduğu bildirilmiştir (Dinç ve Toğay, 2025).

Dünyayı etkisi altına alan bu değişken iklim koşulları, Trakya Bölgesi'nde bulunan Tekirdağ ili Süleymanpaşa ilçesi için de önemli bir sorun haline gelmiştir. Tarımsal üretimin yoğun olarak yapıldığı ilde, özellikle hububat ve ayçiçeği ekilişi büyük bir önem taşımakta olup, yaşanan bu iklimsel değişimler ciddi bir verim kaybına neden olmuş ve bunun beraberinde kalite sorunları yaşanmaya başlanmıştır.

2. Nüfus, Coğrafi Konum ve Tarım Arazileri

Dünya nüfusu her geçen gün artış göstermekte olup, 2025 yılı verilerine göre dünya nüfusu 8 231 613 070 olarak belirlenmiştir (Anonim, 2026a). Küresel olarak artan nüfus miktarı Türkiye'de de artış göstermektedir. 2025 yılı TÜİK verileri incelendiğinde Türkiye toplam nüfus miktarı 86 092 168 kişi; Tekirdağ ili nüfusu da 1 208 441 kişi olarak bildirilmiştir (Anonim, 2026b). Dünya, Türkiye ve Tekirdağ iline ait son beş yıllık veriler Çizelge 1'de detaylı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 1. Dünya, Türkiye ve Tekirdağ iline ait nüfus yoğunlukları

Yıllar	Dünya Nüfusu	Türkiye Nüfusu	Tekirdağ Nüfusu
2021	7 954 448 391	84 680 273	1 113 400
2022	8 021 407 192	85 279 553	1 142 451
2023	8 091 734 930	85 372 377	1 167 059
2024	8 161 972 572	85 664 944	1 187 162
2025	8 275 211 948	86 092 168	1 208 441

Tekirdağ ili, 26° 43'- 28° 08' doğu boylamları, 40° 36'- 41^{0} 31' kuzey enlemleri koordinatları üzerinde bulunmaktadır. Kıyı uzunluğu Marmara Denizi'ne 133 km, Karadeniz'e ise 2,5 km olmak üzere toplam 135,5 km'dir. Türkiye'nin, tamamı Avrupa Kıtası'nda bulunan üç ilinden biri olan Tekirdağ, Marmara Denizi'nin kuzeybatısında az engebeli, zengin alüvyonlarla kaplı topraklar üzerinde bulunmaktadır. Doğusunda İstanbul, batısında Edirne ve Çanakkale, güneyinde Marmara Denizi ve kuzeyinde Kırklareli ve kısa bir kıyıyla Karadeniz ile çevrilidir (Şekil 1). Tekirdağ, Trakya'nın güneyinde, verimli topraklara sahip modern bir tarım ve sanayi kentidir. Marmara Denizi kıyılarında genel olarak Akdeniz iklimi egemendir. Ancak Akdeniz Bölgesi kıyılarından farklı olarak sahil kesiminde kışın kar yağışı görülebilmektedir. İlin iç kesimlerinde ise yazların sıcak, kışların soğuk geçtiği karasal iklim hâkimdir. İlin önemli yükseltisini oluşturan. İlin Marmara kıyılarındaki küçük kıyı ovalarından başka iç kısımlarda da akarsuları ve geniş tabanlı vadilerini kaplayan bereketli ovaları mevcuttur (Anonim, 2026c).



Şekil 1. Tekirdağ ilinin Türkiye haritasındaki görünümü (Anonim, 2026d)

Tekirdağ ili 2024 yılı Çevre Durum Raporu verilerine göre, ilimizin toplam yüzölçümü 6 313 000 da olup, 4 152 611 da alanda tarım yapılmaktadır. Tarım yapılan alanların 381 410 dekar sulanabilir tarım arazisi olup 158 901 dekarı fiili olarak sulanan tarım arazisi vasfındadır. Fiili sulanan alanlardan 116 616 dekarı meyve arazisi, 29 603 dekarı sebze arazisi (273 dekarı örtü altıdır), 109 dekarı süs bitkisi ve 12 573 dekarı da tarla bitkileri arazisidir (Anonim, 2026e). Tekirdağ 2024 yılı Tarım Raporuna göre il genelinde sulanan ve sulanabilir arazi miktarı Çizelge 2'de detaylı olarak gösterilmiştir (Anonim 2026f).

Çizelge 2. Tekirdağ 2024 yılı Sulanan ve Sulanabilir Arazi Miktarı

Sulama Sağlayan Kurumlar	Fiili Sulanan Arazi Varlığı (Dekar)			Sulanabilir Arazi Varlığı (Dekar)		
Tekirdağ Büyükşehir Belediye Başkanlığı	Gölet(Açık)	5 560	12 699	Gölet (Açık)	30 010	106 246
	Gölet (Kapalı)	3 400		Gölet (Kapalı)	19 000	
	Kuyu	3 125		Kuyu	54 076	
	Yer Üstü	0		Yer Üstü	3 160	
Devlet Su İşleri (DSİ)	Baraj	25 425	23 370	Baraj	88 470	108 810
	Gölet (Açık)	2 850		Gölet (Açık)	11 910	
	Gölet (Kapalı)	4 516		Gölet (Kapalı)	6 660	
	Yer Üstü	0		Yer üstü	1 770	
Halk Sulaması			95 262	0		
TOPLAM	-	-	140 473	215 056		

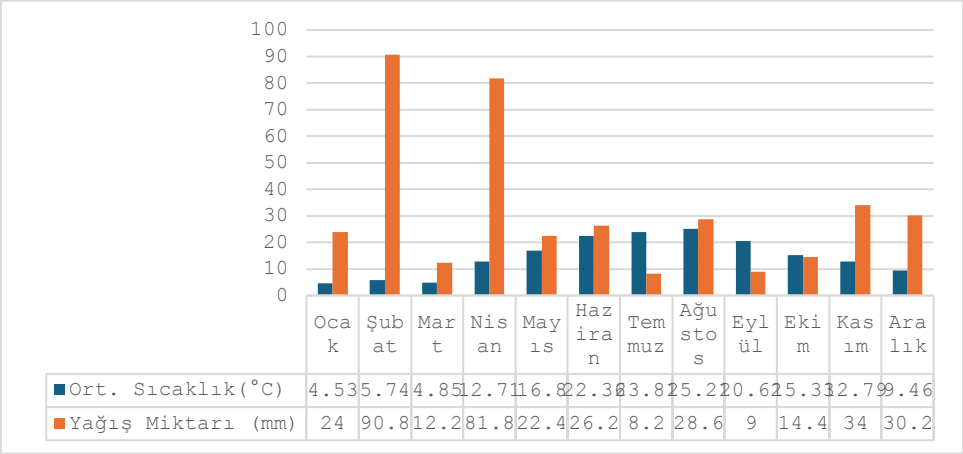
3. Sıcaklık ve Yağış

Son yıllarda yaşanan iklimsel değişiklikler tarımsal üretimin yoğun olarak yapıldığı Tekirdağ ili Süleymanpaşa ilçesini de etkisi altına almıştır. İlçe genelindeki meteorolojik veriler incelendiğinde bilhassa son birkaç yıl içerisinde önemli değişiklikler olduğu görülmektedir. Yöredeki ani sıcaklık değişimleri ve yağışsız geçen yaz ayları üreticiler için tedirginlik yaratmaktadır. Ayrıca hava sıcaklıklarının dışında, toprak sıcaklıkları da tarımsal üretim için büyük bir öneme sahiptir. Toprak sıcaklıkları toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin yanında bölgede tarımı yapılan buğday ve ayçiçeği gibi bitkilerin ekim, bakım ve verim özellikleri bakımından önemli olduğu bilinmektedir. Tekirdağ ili topraklarının toprak sıcaklıkları, iklim-toprak sıcaklığı ilişkileri açısından daha çok yarı-tropiklerde yer alan 'Thermic' grubuna girdiği bildirilmektedir (Yılmaz ve Boyraz Erdem, 2021). Çalışmada elde edilen toprak sıcaklığı değerleri Çizelge 3,4,5 ve 6'da detaylı olarak gösterilmiştir (Anonim, 2026g).

Bu çalışmada Tekirdağ ili Süleymanpaşa ilçesi Bağcılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü yerleşkesinde bulunan meteoroloji istasyonunda, 2022-2025 yılları arasındaki yağış ve sıcaklık miktarları incelenmiştir. Bu kapsamda, 2022 yılı meteorolojik verilerine göre, yıllık ortalama sıcaklık 14,51 °C olarak belirlenmiştir. Yıl içerisinde en düşük sıcaklık ocak ayında gerçekleşerek, -6,26 °C olarak ölçülmüştür. Yöredeki ortalama yağış miktarı 381,8 mm olarak ölçülmüş olup, en az yağışın temmuz ayında gerçekleştiği belirlenmiştir. Süleymanpaşa ilçesi 2022 yılına ait sıcaklık ve yağış verileri Çizelge 3 ve Şekil 2'de detaylı olarak gösterilmiştir (Anonim, 2026g).

Çizelge 3. Tekirdağ ili Süleymanpaşa ilçesi 2022 yılı sıcaklık ve yağış değerleri

Aylar	Hava Sıcaklıkları (°C)			Toprak Sıcaklığı (°C)	Yağış Miktarı (mm)
	Ortalama	En düşük	En yüksek		
Ocak	4,53	-6,26	20,05	6,8	24,0
Şubat	5,74	-3,39	17,15	7,4	90,8
Mart	4,85	-4,93	22,04	6,8	12,2
Nisan	12,71	-0,44	26,86	13,7	81,8
Mayıs	16,80	3,91	31,31	18,0	22,4
Haziran	22,36	13,66	34,61	25,3	26,2
Temmuz	23,81	12,01	33,18	28,6	8,2
Ağustos	25,21	16,36	34,86	28,7	28,6
Eylül	20,62	5,45	35,48	25,0	9,0
Ekim	15,33	3,92	28,32	18,9	14,4
Kasım	12,79	1,94	26,24	14,8	34,0
Aralık	9,46	-0,35	20,88	10,7	30,2
ORT.	**14,51**	-	-	**17,1**	-
TOPLAM	-	-	-	-	**381,8**



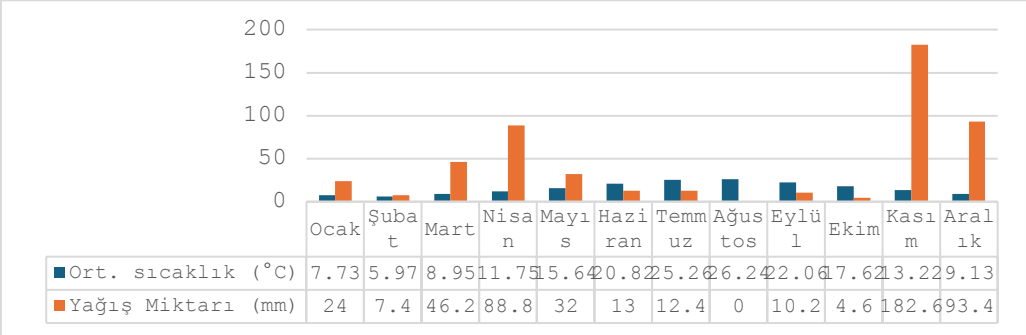
Şekil 2. Tekirdağ ili Süleymanpaşa ilçesi 2022 yılı sıcaklık ve yağış miktarları

Meteorolojik veriler kapsamında, 2023 yılı verileri ele alındığında, yıllık ortalama sıcaklık değeri 15,36 °C olarak ölçülmüş olup, bu değer 2022 yılındaki sıcaklık değeriyle kıyaslandığında 0,85 °C artış olduğu görülmektedir. En düşük sıcaklık değeri şubat ayında gerçekleşerek -6,13 °C olarak ölçülmüştür. Yıllık ortalama yağış miktarına bakıldığında, bu değer 514,6 mm olarak ölçülmüş olup, bir önceki yıla göre 132,8 mm yağış artışı olmuştur. Ayrıca ağustos ayında il genelinde hiç yağış görülmemiştir. Yıl içerisinde ağustos ayında hiç yağış almamıştır. Yıllık sıcaklık değerinin neredeyse 1 °C yükselmesine rağmen, yağış miktarının geçen seneye kıyasla belirgin bir şekilde artması iklimdeki değişimlerinin ne derece düzensiz olduğunu ortaya koymaktadır. Yöredeki 2023 yılına ait sıcaklık ve yağış miktarları Çizelge 4 ve Şekil 3'te detaylı şekilde gösterilmiştir (Anonim, 2026g).

Çizelge 4. Tekirdağ ili Süleymanpaşa ilçesi 2023 yılı sıcaklık ve yağış değerleri

Aylar	Hava Sıcaklıkları (°C)			Toprak Sıcaklığı (°C)	Yağış Miktarı (mm)
	Ortalama	En düşük	En yüksek		
Ocak	7,73	-2,51	19,80	9,0	24,0
Şubat	5,97	-6,13	20,92	7,2	7,4
Mart	8,95	-2,41	19,27	10,9	46,2
Nisan	11,75	0,87	23,85	14,1	88,8
Mayıs	15,64	4,68	27,35	18,1	32,0

Haziran	20,82	9,53	30,27	24,3	13,0
Temmuz	25,26	12,53	37,96	30,3	12,4
Ağustos	26,24	15,81	37,66	30,9	0,0
Eylül	22,06	10,41	32,39	27,6	10,2
Ekim	17,62	5,96	30,10	15,5	4,6
Kasım	13,22	-1,58	29,36	21,7	182,6
Aralık	9,13	-0,46	22,88	10,2	93,4
ORT.	**15,36**	-	-	18,3	-
TOPLAM	-	-	-	-	**514,6**

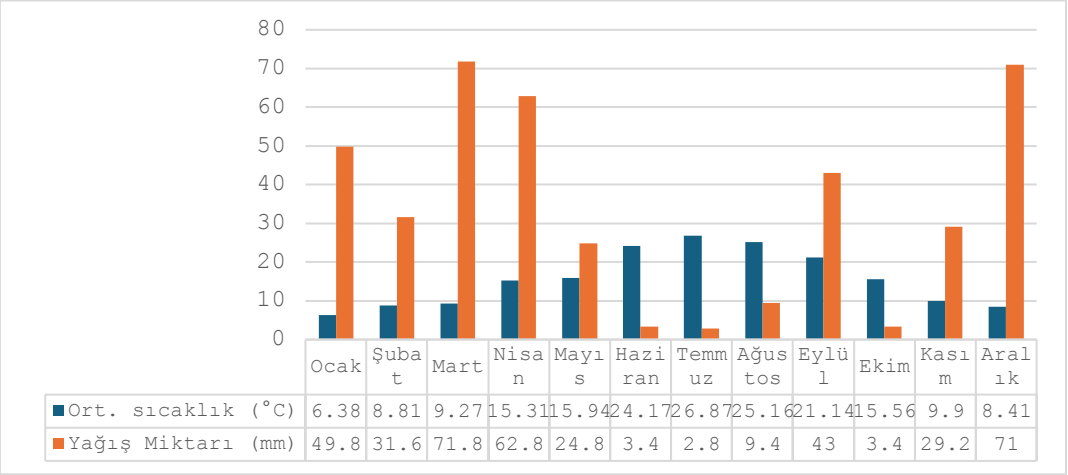


Şekil 3. Tekirdağ ili Süleymanpaşa ilçesi 2023 yılı sıcaklık ve yağış miktarları

2024 yılı sıcaklık değerleri incelendiğinde ortalama sıcaklık miktarı 15,57 °C olarak ölçülmüştür. Bu değer 2022 yılına göre 1,06 °C fazla; 2023 yılına göre 0,21 °C fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca en düşük sıcaklık ocak ayında -5,57 °C olarak belirlenmiştir. Son iki yıldaki yıllık ortalama sıcaklık değişimi 1,0 °C'nin üzerinde olması, küresel iklim değişikliğinin etkilerinin gözle görülür bir şekilde hissedildiğini, ilçe genelindeki kuraklığın yaşanmasının ne kadar kısa bir süre içerisinde etkili olduğunu göstermektedir. İlçedeki yıllık yağış miktarı ele alındığında, yıllık yağış miktarı 403 mm olarak ölçülmüştür. Bu değer bir önceki yıla göre 111,6 mm azalmış olup, yöredeki sıcaklık artışlarıyla birlikte yağış miktarının hissedilir bir şekilde azalması, kuraklığın yöredeki etkilerinin her geçen gün arttığını göstermektedir. 2024 yılına ait detaylı sıcaklık ve yağış miktarları Çizelge 5 ve Şekil 4'te gösterilmiştir (Anonim, 2026g).

Çizelge 5. Tekirdağ ili Süleymanpaşa ilçesi 2024 yılı sıcaklık ve yağış değerleri

Aylar	**Hava Sıcaklıkları (°C)**			**Toprak Sıcaklığı (°C)**	**Yağış Miktarı (mm)**
	Ortalama	**En düşük**	**En yüksek**		
Ocak	6,38	-5,57	20,07	8,2	49,8
Şubat	8,81	-2,11	21,50	9,6	31,6
Mart	9,27	-1,28	26,91	11,5	71,8
Nisan	15,31	4,53	28,98	15,9	62,8
Mayıs	15,94	4,19	29,36	17,3	24,8
Haziran	24,17	12,46	33,81	27,6	3,4
Temmuz	26,87	15,15	37,70	30,3	2,8
Ağustos	25,16	15,11	36,81	30,0	9,4
Eylül	21,14	11,52	32,44	24,8	43,0
Ekim	15,56	4,80	30,16	19,7	3,4
Kasım	9,90	-2,08	21,21	12,9	29,2
Aralık	8,41	-1,50	17,49	9,9	71,0
ORT.	**15,57**	-	-	**18,1**	-
TOPLAM	-	-	-	-	**403,0**

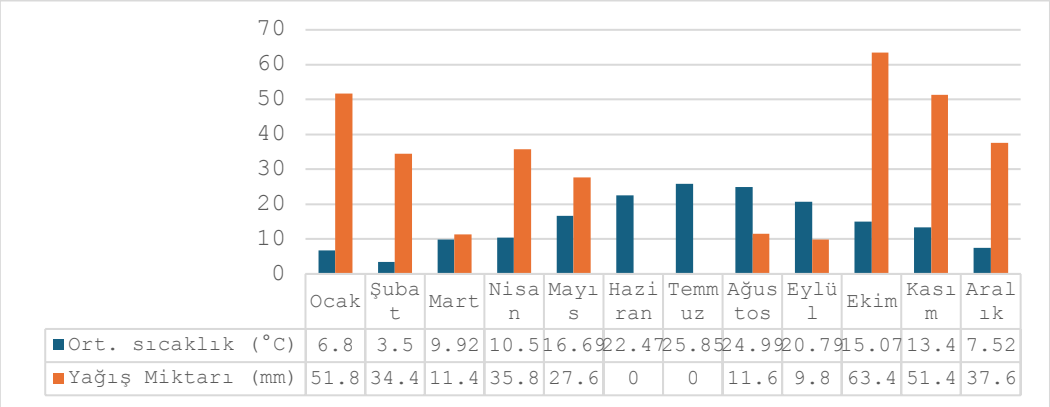


Şekil 4. Tekirdağ ili Süleymanpaşa ilçesi 2024 yılı sıcaklık ve yağış miktarları

Süleymanpaşa ilçesi 2025 yılı meteorolojik verilerine bakıldığında, yıllık ortalama sıcaklık değeri 14,79 °C olarak ölçülmüştür. Bu değer son iki yıldaki sıcaklık artışlarının aksine düşüş yaşandığı görülmüştür. En düşük sıcaklık değeri şubat ayında -7,08 °C olarak belirlenmiş En düşük sıcaklık değeri şubat ayında -7,08 °C olarak belirlenmiş, ayrıca mart ayı -2,84 °C ve nisan ayında -2,66 °C düşük sıcaklıklar ortaya çıkmış, bu durum zirai don olayının yaşanmasına sebep olmuştur. Yıllık ortalama yağış miktarı 334,8 mm olarak ölçülmüş olup, son üç yıldaki en düşük yağış miktarı olarak belirlenmiştir. Ayrıca haziran ve temmuz aylarında hiç yağış almaması ilde özellikle yaz aylarındaki kuraklık miktarının ne denli arttığının göstergesidir. Özellikle yörede yoğun tarımı yapılan ayçiçeği ve silajlık mısır bitkisi ekilişinde büyük olumsuzluklara yol açmıştır. İlçedeki sıcaklık ve yağış miktarına ait detaylı bilgiler Çizelge 6 ve Şekil 5'te gösterilmiştir (Anonim, 2026g).

Çizelge 6. Tekirdağ ili Süleymanpaşa ilçesi 2025 yılı sıcaklık ve yağış değerleri

Aylar	**Hava Sıcaklıkları (°C)**			**Toprak Sıcaklığı (°C)**	**Yağış Miktarı (mm)**
	Ortalama	**En düşük**	**En yüksek**		
Ocak	6,80	-2,33	19,86	8,3	51,8
Şubat	3,50	-7,08	15,35	6,5	34,4
Mart	9,92	-2,84	28,73	11,5	11,4
Nisan	10,50	-2,66	23,34	14,7	35,8
Mayıs	16,69	3,27	30,04	20,5	27,6
Haziran	22,47	9,78	35,16	26,7	0,0
Temmuz	25,85	12,01	38,50	30,6	0,0
Ağustos	24,99	34,71	14,15	29,3	11,6
Eylül	20,79	10,03	33,03	26,0	9,8
Ekim	15,07	4,34	26,36	17,8	63,4
Kasım	13,40	2,14	22,51	15,2	51,4
Aralık	7,52	-3,87	18,98	10,3	37,6
ORT.	**14,79**	-	-	**18,1**	-
TOPLAM	-	-	-	-	**334,8**



	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ort. sıcaklık (°C)	6.8	3.5	9.92	10.5	16.69	22.47	25.85	24.99	20.79	15.07	13.4	7.52
Yağış Miktarı (mm)	51.8	34.4	11.4	35.8	27.6	0	0	11.6	9.8	63.4	51.4	37.6

Şekil 5. Tekirdağ ili Süleymanpaşa ilçesi 2025 yılı sıcaklık ve yağış miktarları

4. Sonuç ve Öneriler

İklim değişiklikleri tüm dünyada olduğu gibi Türkiye için de önemli bir sorun haline gelmiştir. Bu hava olaylarının ani değişimleri ve yaşanan sel, don vb. gibi doğal afetlere karşı sürdürülebilir tarımın yapılabilmesi için birtakım önlemler alınarak üretimin kesintisiz devam etmesi sağlanmalıdır. Erken uyarı sistemlerini ülke genelinde yaygınlaştırılması ve özellikle buğday-ayçiçeği için ülkede büyük bir üretim payına sahip olan Trakya Bölgesi ve Tekirdağ özelinde bu çalışmaların artırılarak yaygın kullanımı sağlanmalıdır. Yaşanan kuraklıklara karşı yeni tohum çeşitleri geliştirilerek yöredeki adaptasyon çalışmaları hız kazanmalıdır. Yöredeki su kaynaklarının etkin ve verimli kullanılması için vahşi sulama yöntemi terk edilerek damlama sulama sistemlerinin yaygınlaştırılması gerekmektedir.

Kaynaklar

Anonim, (2026a). Erişim adresi: https://www.worldometers.info/tr/dunya-nufusu/yillara-gore-dunya-nufusu/ Erişim tarihi: 11.02.2026.

Anonim, (2026b). TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu. Erişim adresi: https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr Erişim tarihi: 11.02.2026

Anonim, (2026c). Tekirdağ Valiliği. Erişim adresi: https://www.tekirdag.gov.tr/cografi-durumu Erişim tarihi: 23.02.2026.

Anonim, (2026d). Wikipedia. Erişim adresi: https://tr.wikipedia.org/wiki/Tekirda%C4%9F_%28il%29#/media/Dosya:Latrans-Turkey_location_Tekirda%C4%9F.svg Erişim tarihi: 23.02.2026.

Anonim, (2026e). Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü. Erişim adresi: https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/tek-rdag_-cdr2024-20250718094756.pdf Erişim tarihi: 23.01.2026.

Anonim, (2026f), Tarım ve Orman Bakanlığı Tekirdağ 2024 Yılı Tarım Raporu. Erişim adresi: https://tekirdag.tarimorman.gov.tr/Belgeler/TarimRaporlari/2024%20TARIM%20RAPORU.pdf Erişim tarihi: 04.01.2026.

Anonim, (2026g), Tarım ve Orman Bakanlığı, Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü Meteroloji İstasyonu.

Dinç, A., & Toğay, Y. (2025). İklim Değişikliği ve Tarımsal Kuraklığın Türkiye Tarımına Etkisi. Euroasia Matematik, Mühendislik, Doğa ve Tıp Bilimleri Dergisi Medical Sciences, 12(2), 387-396.

Yılmaz, F. F., & Boyraz Erdem, D. (2021). Trakya Bölgesinde kuru koşullarda farklı toprak ordolarında yetiştirilen ayçiçeği çeşitlerinin verimi ile toprak nemi arasındaki ilişkiler. Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi, 9(2), 1-11. https://doi.org/10.33409/tbbbd.939919.

Wang, Q., Yang, X., Qu, Y., Qiu, H., Wu, Y., Qi, J., ... & Zeng, J. (2025). Global climate change exacerbates socioeconomic drought severity across vegetation zones during 1901–2018. International Journal of Disaster Risk Science, 16(2), 291-306.

MİKROPLASTİKLERİN TARIMSAL ÜRETİM AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

EVALUATION OF MICROPLASTICS IN AGRICULTURAL PRODUCTION

Dr. Fatih BÜYÜKFİLİZ
Tekirdağ Viticulture Research Institute, Tekirdağ, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-8113-876X

Prof. Dr. Korkmaz BELLİTÜRK
Department of Soil Science and Plant Nutrition, Faculty of Agriculture, Tekirdağ Namık Kemal University, Tekirdağ, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-4944-3497

Özet
Modern tarımda plastiklerin yaygın kullanımı, toprak ekosistemlerini hızla kirletmekte ve bu alanlarda biriken mikroplastikler bitki, hayvan ve mikroorganizma sağlığını tehdit eden küresel bir çevre krizine dönüşmektedir. Oldukça yeni bir konu olan tarım topraklarında mikroplastikler konusunda üzerinde durulan temel kirletici unsur tarımda yoğun olarak kullanılan plastiklerdir. Plastiklerin zaman içerisinde daha küçük parçalara ayrışması tarım toprakları ve dolayısıyla tarımsal üretimi olumsuz etkileyebilir. Topraklar için tehdit oluşturan mikroplastiklerin ekosisteme olası etkileri önemsenmesi gereken bir durumdur. Topraklarda standart mikroplastik belirleme yöntemi henüz tam olarak ortaya konulamamıştır. Bu konuda özellikle tarımsal alanlarda mikroplastik kirliliğini izleme ile ilgili Avrupa'da ve Türkiye'de herhangi bir yasal düzenleme de bulunmamaktadır. Özellikle 5 mm'den küçük mikroplastiklerin karasal ortamlardaki etkileri oldukça önemlidir. Mikroplastiklerin toprağın agregat stabilitesi, hacim ağırlığı, su tutma kapasitesi ve gözenek yapısı gibi fiziksel özelliklerine olan etkileri dikkate alınmalıdır. Ayrıca, topraktaki besin döngüsü, mikrobiyal çeşitlilik ve toprak pH değeri üzerindeki etkileri yanında, bu kirleticilerin bitki büyümesi ve toprak verimliliği için nasıl bir risk oluşturduğu ile ilgili araştırmalar yapılmaya başlanmış olup, mikroplastiklerin toprağın biyofiziksel yapısını bozarak ekosistem ve gıda güvenliğini uzun vadede tehdit ettiği görülmüştür. Bu derlemede, mikroplastiklerin tarımsal üretim açısından nasıl bir tehdit olduğu üzerinde durulmuştur.
Anahtar Kelimeler: Mikroplastik, Ekosistem, Toprak, Toprak verimliliği.

Abstract
Microplastics in agricultural soils, a relatively new topic, are primarily attributed to plastics heavily used in agriculture. The breakdown of plastics into smaller particles over time can negatively impact agricultural soils and, consequently, agricultural production. The potential impact of microplastics on the ecosystem, posing a threat to soils, is a matter of concern. A standard method for detecting microplastics in soils has not yet been fully established. Furthermore, there are no legal regulations in Europe or Türkiye specifically concerning monitoring microplastic pollution in agricultural areas. The effects of microplastics smaller than 5 mm in terrestrial environments are particularly significant. The effects of microplastics on the physical properties of soil, such as aggregate stability, bulk density, water-holding capacity, and pore structure, must be considered. In addition to their effects on nutrient cycling, microbial diversity, and soil pH, research has begun into the risks these pollutants pose to plant growth and soil fertility. It has been observed that microplastics disrupt the biophysical structure of the soil, threatening ecosystems and food security in the long term. This review focuses on the threat that microplastics pose to agricultural production.
Keywords: Microplastics, Ecosystem, Soil, Soil Fertility.

1.Giriş

Tüketim alışkanlıklarının ve endüstriyel faaliyetlerinin artması sonucunda oluşan plastik üretimi, son yıllarda devasa boyutlara ulaşmaktadır. Plastiklerin kullanım kolaylıkları ve dayanıklılığı, bu materyalleri günlük hayatın ayrılmaz bir parçası haline getirirken, aynı zamanda doğada yok olması zor olan küresel bir atık sorununun temelini atmıştır (Reed, 2015). Özellikle tek kullanımlık plastiklerin parçalanmasıyla ortaya çıkan mikro derecede kirlilik, ekosistemler üzerinde geri dönülmesi zor etkiler bırakmaktadır.

Mikroplastikler, genellikle 1 µm ile 5000 µm arasında boyutlara sahip, suda çözünmeyen ve polimerik parçacıklar olarak tanımlanmaktadır (Frias ve Nash, 2019). Mikroplastik araştırmaları, son yıllarda karasal ekosistemlere ve özellikle de toprağa odaklanmıştır. Toprak bünyesine katılan bu plastik parçacıklar, yalnızca kirlilik yaratmakla kalmayıp; toprağın su tutma kapasitesini, gözenek yapısını ve agregat stabilitesini hem fiziksel olarak hem de besin döngüsünü kimyasal olarak etkilemektedir.

Mikroplastikler için güncel literatürde geçen teknik tanım şu şekildedir: "Hem birincil hem de ikincil kaynaklardan köken alabilen, 1 µm ile 5000 µm arasındaki boyutlarda bulunan, suda çözünmeyen, geometrik olarak düzenli veya amorf yapılı polimerik partiküllerdir" (Frias ve Nash, 2019). Mevcut terminolojik belirsizlikleri yok etmek için uzman bir heyet yeni bir taksonomik sınıflandırma geliştirmiştir. Buna göre plastikler;

- Nanoplastik (NP): 1 nm – 1 µm,
- Mikroplastik: 1 µm – 5 mm,
- Mezoplastik: 5 mm – 2,5 cm,
- Makroplastik: ≥ 2,5 cm şeklinde küçükten büyüğe doğru sınıflandırılmaktadır (Hartmann ve ark., 2019).

Mikroplastikler, kökenlerine göre temelde primer ve sekonder olmak üzere iki kategoride incelenmektedir. Birincil mikroplastikler, endüstriyel amaçlarla doğrudan 5 mm'den küçük boyutlarda üretilen partiküllerdir; kozmetik ürünlerdeki aşındırıcılar, tekstil ve plastik üretiminde hammadde olarak kullanılan plastik granüller bu gruba girmektedir. Sekonder mikroplastikler ise makro boyuttaki plastik atıkların çevresel etkileri (aşınma, UV radyasyonu vb.) sonucunda parçalanmasıyla oluşur. Araç lastiği aşınması, sentetik kumaşlardan kopan lifler ve plastik eşya kalıntıları ikincil kaynakların başlıca örnekleridir (Yurtsever ve Yurtsever, 2019).

2. Mikroplastiklerin Toprağın Bazı Fiziksel Özellikleri Üzerine Etkileri

Toprak strüktürünün temel taşı olan agregatlar, mikroorganizmalarla etkileşim halindedir ve toprağın gözenek yapısını belirlemede önemli bir rol oynar (Rillig ve Lehmann, 2019). Toprak ortamında mikroplastik birikimi, agregat oluşumunu olumsuz etkiler ve yapısal bozulmalara yol açmaktadır. Özellikle yoğun makroplastik kirliliği, infiltrasyon oranlarını düşürmekte, su tutma kapasitesini zayıflatmaktadır (Liu ve ark., 2014). Benzer şekilde, tarımsal malç uygulamalarından kaynaklanan plastik kalıntıları, toprağın havalanma kapasitesini ve su geçirgenliğini kısıtlayarak bitki verimliliğini ve kök gelişimini baskılamaktadır (Jiang ve ark., 2017; Zhang ve ark., 2018). Araştırmalar, mikroplastiklerin toprak parçacıkları arasındaki bağlayıcı kuvvetleri zayıflatarak agregasyon özelliğini körelttiğini göstermektedir (De Souza Machado ve ark., 2018, 2019).

Toprağın hacim ağırlığı, erozyon riski ve toprak sıkışması ile doğrudan ilişkilidir (Gohlami ve ark., 2020). Mikroplastiklerin toprağa dahil olması, genellikle bu parametrede bir düşüşe neden olur. Bu durum, plastik polimerlerin toprağın mineral bileşenlerine kıyasla çok daha düşük yoğunluğa sahip olmasından kaynaklanmaktadır (de Souza ve ark., 2018, 2019). Lifli yapıdaki plastiklerin, boncuk veya parça formundakilere oranla hacim ağırlığını daha fazla düşürdüğü bilinmektedir (De Souza ve ark., 2018).

Mikroplastik varlığı, gözenek büyüklük dağılımını önemli ölçüde etkilemektedir. Çalışmalar, poliester mikrofiberlerin makro gözenek hacmini artırırken, su tutmada kritik önemi olan mikro gözeneklerin hacmini daralttığını göstermektedir (Zhang ve ark., 2019).

Mikroplastiklerin hidrolik iletkenlik özellikleri üzerindeki etkisi polimer tipine ve organik madde varlığına göre değişebilir. Bazı bulgular, mikrofiberlerin organik madde ile birlikte makro gözenek stabilitesini destekleyerek hidrolik iletkenliği artırabileceğini öne sürse de; genel literatür, plastik girdisinin tek başına bu parametre üzerinde bir değişim yaratmadığı yönündedir (Zhang ve ark., 2019; Mbachu ve ark., 2021).

Mikroplastiklerin gözenek yapısında meydana getirdiği değişimler, toprağın su tutma kapasitesini doğrudan etkilemektedir. Bazı polimer türlerinin tınlı topraklarda su tutma kapasitesini artırdığı gözlemlenirken; polietilen ve poliamid gibi türlerin bu konuda bir etkisine rastlanmamıştır (De Souza ve ark., 2018). Öte yandan, toprak profilindeki plastik varlığı buharlaşma ve evapotranspirasyon oranlarını hızlandırabilmektedir. Özellikle toprak agregatlarıyla benzer boyuttaki partiküller, su iletim kanallarını değiştirerek su kaybını artırabilmekte, daha büyük parçalar ise toprak yüzeyinde çatlak oluşumuna yol açarak evaporasyonu arttırabilmektedir (De Souza ve ark., 2019).

Bu durum, özellikle kurak bölgelerde toprakta su kıtlığı riskini arttırarak tarımsal sürdürülebilirliği tehdit eden bir unsur olarak öne çıkmaktadır.

3. Mikroplastiklerin Toprağın Bazı Kimyasal Özellikleri Üzerindeki Etkisi

Mikroplastiklerin, toprak kimyasal ekosistemi üzerinde çok boyutlu etkileri bulunmaktadır. Araştırmalar, bu partiküllerin toprak pH dengesini değiştirdiğini, kükürt ve azot gibi temel besin elementlerinin döngüsünü ve Toprak Organik Karbonu ile Çözünmüş Organik Karbon seviyelerini doğrudan etkilediğini göstermektedir (Dong ve ark., 2024; Zhao ve ark., 2022). Mikroplastik birikimi genellikle toprak pH'ı ve çözünmüş organik karbon seviyelerinde bir düşüşe yol açarken; mutlak zeta potansiyeli ile Fe ve Mn gibi metal iyonlarının konsantrasyonunu artırabilmektedir. Bu değişimler, ağır metallerin toprak içindeki biyo yararlanımını ve mobilizasyonunu kritik düzeyde etkilemektedir (Zhao ve ark., 2022).

Literatürde mikroplastiklerin toprak pH'ı üzerindeki etkilerine dair farklı bilgiler bulunmaktadır. Bazı veriler, mikroplastiklerin toprak pH'ını yükselterek metal katyonlarının davranışını değiştirdiğini savunmaktadır. Özellikle metal kirliliği olan sahalarda mikroplastik ilavesinin, pH artışına bağlı olarak metal katyonlarının sorpsiyon ve desorpsiyon dengesini etkilediği bilinmektedir. Mikroplastikler, yüzey alanlarına bağlı olarak toprak çözeltisindeki katyonları absorbe veya adsorbe edebilmekte; bu durum bitkilerin besin elementlerine erişimini kısıtlayabilmektedir. Parçacık boyutu küçüldükçe artan yüzey alanı-hacim oranı, bu adsorpsiyon kapasitesini artırmaktadır. Ayrıca, kullanılan polimerin kimyasal türü de bu etkileşimlerin şiddetini belirlemektedir (Medyńska-Juraszek ve Jadhav, 2022).

Mikroplastikler, toprak organik maddesiyle etkileşime girerek çözünmüş organik karbon miktarını azaltabilmekte ve buna bağlı olarak katyon değişim kapasitesinde değişimlere yol açabilmektedir (Medyńska-Juraszek ve Jadhav, 2022). Ayrıca, mikrobiyal aktiviteyi etkileyerek besin maddesi yarayışlılığını ve toprağın genel katyon değişim kapasitesi düzeyini etkileyebilirler (Bethanis ve Golia, 2023).

Mikroplastikler ayrıca mikro çevrelerdeki oksijen konsantrasyonunu ve çözünmüş organik maddenin elektron taşıma etkisini değiştirerek toprak organik maddesi mineralizasyonunu etkilemektedir. Bu durum CO_2 emisyonlarının artmasına ve CH_4 salınım dinamiklerinin değişmesine yol açmaktadır. Biyobozunur ve geleneksel mikroplastiklerin toprak çözünmüş organik karbon yapısını değiştirdiği ve daha polar çözünmüş organik maddenin oluşmasına sebep olduğu saptanmıştır (Shi ve ark., 2023).

Mikroplastikler, topraktaki inorganik azot ve toplam fosfor derişimini artırarak azot döngüsü süreçlerini etkilemektedir (Chen ve ark., 2024). Ancak bu durum, ekolojik döngüler için hayati öneme sahip mikroorganizmaların faaliyetlerini bozarak tohum çimlenmesi ve bitki gelişimi üzerinde olumsuz etkiler doğurabilir (De Silva ve ark., 2022). Özellikle nitrifikasyon ve denitrifikasyon süreçlerinden sorumlu enzimlerin ve flora performansının mikroplastik varlığından etkilenmesi, azot dönüşümü üzerinde çevresel sonuçlar yaratmaktadır (Seeley ve ark., 2020). Benzer şekilde, kükürt redoks süreçleri de mikrobiyal topluluklar ve enzimlerin aktivitesindeki değişimlerden etkilenmektedir (Dong ve ark., 2024).Toprağa mikroplastik ilavesi, mikrobiyal toplulukların metabolik hızlarında önemli değişimlere sebep olur (De Souza ve ark., 2018; 2019).

4. Mikroplastiklerin Toprak Verimliliği Üzerindeki Etkileri

Toprak enzimlerinin faaliyeti, ekosistemdeki biyokimyasal süreçlerin temel belirleyicisi olup toprak verimliliğinin değerlendirilmesinde önemli bir gösterge olarak kabul edilmektedir. Yapılan çalışmalar, toprağa dahil olan mikroplastiklerin üreaz, katalaz, hidrolaz ve oksidaz aktivitelerini etkileyerek bu makro elementlerin etkinliğini ve dolayısıyla toprak verimliliğini önemli ölçüde etkilediğini bildirmektedir (Liu ve ark., 2017; Huang ve ark., 2019). Toprak verimliliğinin bir diğer önemli parametresi olan karbon depolama kapasitesi de mikroplastik varlığından olumsuz etkilenebilir. Zira mikroplastikler, toprak hacim ağırlığını değiştirerek karbon miktarının yanlış tahmin edilmesine yol açabilmekte; ayrıca yüksek karbonlu polimer içerikleri nedeniyle toprak organik karbon havuzu içinde antropojenik bir bileşen olarak "gizlenmiş" şekilde yer alabilmektedir (Rillig, 2018).

Ekolojik süreçler içerisinde yıkanma veya yüzey akışı ile sistemden uzaklaşamayan mikroplastikler, toprak matrisinde kademeli olarak hareketsizleşmekte ve biyotik ya da abiyotik yollarla mineraller ve organik bileşiklerle kompleksler oluşturmaktadır. Toprak agregatları içerisinde bulunan bu yapılar, mikrobiyal bozunmaya karşı fiziksel bir koruma kazanırken organik madde depolama dinamiklerini farklılaştırabilmektedir (De Souza ve ark., 2019).

Sonuç olarak mikroplastiklerin toprak verimliliği üzerindeki etkisi, kirleticinin dozu ile toprakta kalma süresinin bir fonksiyonu olarak ortaya çıkmaktadır (De Souza ve ark., 2018; Liu ve ark., 2017).

5. Mikroplastiklerin Bitki Büyümesi Üzerindeki Etkisi

Toprak ekosistemindeki mikroplastik varlığı; bitkisel biyokütlede azalma, kök morfolojisinde bozulmalar ve fotosentetik performansın düşmesi gibi negatif fizyolojik sonuç doğurabilmektedir (De Souza ve ark., 2019; Kumar ve ark., 2022). Mikroplastik partikülleri, kök gelişimini fiziksel olarak engelleyebildiği gibi kök hücrelerinin canlılık oranını da düşürerek büyümeyi engelleyebilmektedir (Kalčíková ve ark., 2017).

Ayrıca bu kirleticiler; toprak kimyasını, enzimatik süreçleri ve bitki sağlığı için büyük öneme sahip mikrobiyal toplulukların yapısını değiştirerek dolaylı yoldan bitki gelişimini baskılamaktadır (Yu ve ark., 2021).Mikroplastiklerin bir diğer önemli riski, çevredeki ağır metalleri bünyesine absorbe ederek bu maddelerin bitkiler üzerindeki toksik etkilerini şiddetlendirmesidir. Bu durum, özellikle yenilebilir bitki dokularında metal birikimine yol açarak gıda güvenliği açısından ciddi bir tehdit oluşturmaktadır (Xu ve ark., 2024). Bununla birlikte, mikroplastiklerin etkisi her zaman homojen değildir; bazı araştırmalar, ördek otu gibi belirli türlerde yaprak büyüme hızı ve fotosentetik pigment sentezi gibi parametrelerin belirli plastik türlerinden minimum düzeyde etkilendiğini ortaya koymuştur (Kalčíková ve ark., 2017).

6. Sonuç ve Öneriler

Mikroplastiklerin toprak ekosistemlerine dahil olması, basit bir kirletici girdisinin ötesinde, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik bütünlüğünü tamamen değiştiren yapısal bir müdahale niteliği taşımaktadır. Bu süreçte mikroplastikler, düşük yoğunlukları ve morfolojik yapıları nedeniyle toprak hacim ağırlığını düşürmekte, agregat stabilitesini zayıflatmakta buharlaşma kaynaklı su kayıplarını hızlandırmaktadır.

Kimyasal olarak ise toprak pH'ını ve iyon değişim kapasitesini etkileyen bu partiküller, azot ve kükürt gibi kritik besin döngülerini enzim seviyesinde etkiye uğratmakta; aynı zamanda "plastisfer" adı verilen yeni mikro-habitatlar oluşturarak doğal mikrobiyal floranın dengesini bozmaktadır. Tüm bu değişimler, kök gelişiminin fiziksel olarak engellenmesi ve toksik maddelerin besin zinciri boyunca taşınmasıyla birleşerek hem tarımsal verimliliği hem de gıda güvenliğini doğrudan tehdit eder hale gelmiştir.

Bu tehditle mücadele edebilmek için tarımsal alanlarda malç ve arıtma çamuru kullanımı sıkı denetim altına alınmalı ve geleneksel plastikler yerine biyobozunur polimerlerin kullanımı teşvik edilmelidir. Sonuç olarak, plastik atıkların azaltılmasına yönelik toplumsal farkındalığın yaratılması ve geri dönüşüm stratejilerinin karasal ekosistemleri koruyacak şekilde yeniden yapılandırılması, sürdürülebilir bir toprak yönetimi için kaçınılmaz bir zorunluluktur.

10.Kaynaklar

Bethanis, J., Golia, E.E. (2023). Revealing the Combined Effects of Microplastics, Zn and Cd on Soil Properties and Metal Accumulation by Leafy Vegetables: A Preliminary Investigation by a Laboratory Experiment. Soil Systems, 7(3), 65.

Chen, Y., Li, Y., Liang, X., Lu, S., Ren, J., Zhang, Y., Han, Z., Gao, B., and Sun, K. (2024). Effects of microplastics on soil carbon pool and terrestrial plant performance. Carbon Research, 3(1), 37.

De Silva, Y.S.K., Rajagopalan, U.M., Kadono, H., and Li, D. (2022). Effects of microplastics on lentil (Lens culinaris) seed germination and seedling growth. Chemosphere, 303, 135162.

De Souza Machado, A.A., Lau, C.W., Till, J., Kloas, W., Lehmann, A., Becker, R., Rillig, M.C. (2018). Impacts of microplastics on the soil biophysical environment. Environ Sci Technol, 52(17): 9656–9665.

De Souza Machado, A.A., Lau, C.W., Kloas, W., Bergmann, J., Bachelier, J.B., Faltin, E., Becker, R., Görlich, A.S., Rillig, M.C. (2019). Microplastics can change soil properties and affect plant performance. Environ. Sci. Technol. 53(10): 6044–6052.

De Souza Machado, A.A., Lau, C.W., Kloas, W., Bergmann, J., Bachelier, J.B., Faltin, E., Becker, R., Görlich, A.S., and Rillig, M.C. (2019). Microplastics Can Change Soil Properties and Affect Plant Performance. Environmental Science and Technology, 53(10), 6044–6052.

Dong, Y., Gao, M., Cai, Q., Qiu, W., Xiao, L., Chen, Z., Peng, H., Liu, Q., and Song, Z. (2024). The impact of microplastics on sulfur REDOX processes in different soil types: A mechanism study. Journal of Hazardous Materials, 465, 133432.

Frias, J.P.G.L., Nash, R. (2019). Microplastics: Finding a consensus on the definition. Marine Pollution Bulletin, 138, 145-147.

Gohlami, H., Mohammadifar, A., Bui, D.T., Collins, A. (2020). Mapping wind erosion hazard with regression-based machine learning algorithms. Sci. Rep. 10:20494.

Hartmann, N., Hüffer, T., Thompson, R.C., Hassellöv, M., Verschoor, A., Daugaard, A.E., Herrling, M.P. (2019). Are we speaking the same language? Recommendations for a definition and categorization framework for plastic debris, Environmental science and technology.

Huang, Y., Zhao, Y., Wang, J., Zhang, M., Jia, W., Qin, X. (2019). LDPE microplastic films alter microbial community composition and enzymatic activities in soil. Environ Pollut 254.

Jiang, X.J., Liu, W., Wang, E., Zhou, T., Xin, P. (2017). Residual plastic mulch fragments effects on soil physical properties and water flow behavior in the Minqin Oasis, Northwestern China. Soil Till. Res. 166:100–107.

Kalčíková, G., Žgajnar Gotvajn, A., Kladnik, A., and Jemec, A. (2017). Impact of polyethylene microbeads on the floating freshwater plant duckweed Lemna minor. Environmental Pollution, 230, 1108–1115.

Kumar, R., Ivy, N., Bhattacharya, S., Dey, A., and Sharma, P. (2022). Coupled effects of microplastics and heavy metals on plants: Uptake, bioaccumulation, and environmental health perspectives. Science of The Total Environment, 836, 155619.

Lehmann, A., Fitschen, K., Rillig, M.C. (2019). Abiotic and biotic factors influencing the effect of microplastic on soil aggregation. Soil Systems, 3(1): 21.

Liu, E.K., He, W.Q., Yan, C.R. (2014). 'White revolution' to 'white pollution' agricultural plastic film mulch in China. Environ. Res. Lett. 9.

Liu, H., Yang, X., Liu, G., Liang, C., Xue, S., Chen, H., Ritsema, CJ., Geissen, V. (2017). Response of soil dissolved organic matter to microplastic addition in Chinese loess soil. Chemosphere, 185: 907–917.

Mbachu, O., Jenkins, G., Kaparaju, P., Pratt, C. (2021). The rise of artificial soil carbon inputs: Reviewing microplastic pollution effects in the soil environment. Science of The Total Environment, 146569.

Medyńska-Juraszek, A., and Jadhav, B. (2022). Influence of Different Microplastic Forms on pH and Mobility of Cu^{2+} and Pb^{2+} in Soil. Molecules, 27(5), 1744.

Reed, C. (2015). Dawn of the Plasticene age. New Scientist, 225(3006), 28-32.

Rillig, M.C. (2018). Microplastic disguising as soil carbon storage. Environ. Sci. Technol. 52: 6079–6080.

Rillig, M.C., Lehmann, A. (2020). Microplastic in terrestrial ecosystems. Science 368, 1430 1431.

Seeley, M.E., Song, B., Passie, R., and Hale, R.C. (2020). Microplastics affect sedimentary microbial communities and nitrogen cycling. Nature Communications, 11(1), 2372.

Shi, J., Wang, Z., Peng, Y., Fan, Z., Zhang, Z., Wang, X., Zhu, K., Shang, J., and Wang, J. (2023). Effects of Microplastics on Soil Carbon Mineralization: The Crucial Role of Oxygen Dynamics and Electron Transfer. Environmental Science and Technology, 57(36), 13588–13600.

Xu, L., Xie, W., Dai, H., Wei, S., Skuza, L., Li, J., Shi, C., and Zhang, L. (2024). Effects of combined microplastics and heavy metals pollution on terrestrial plants and rhizosphere environment: A review. Chemosphere, 358, 142107.

Yu, H., Qi, W., Cao, X., Hu, J., Li, Y., Peng, J., Hu, C., and Qu, J. (2021). Microplastic residues in wetland ecosystems: Do they truly threaten the plant-microbe-soil system? Environment International, 156, 106708.

Yurtsever, M., Yurtsever, U. (2019). Use of a convolutional neural network for the classification of microbeads in urban wastewater, Chemosphere, 216, 271-280.

Zhang, M., Dong, B., Qiao, Y., Yang, H., Wang, Y., Liu, M. (2018). Effects of sub-soil plastic film mulch on soil water and salt content and water utilization by winter wheat under different soil salinities. Field Crop Res. 225:130–140.

Zhang, G., Zhang, F., Li, X. (2019). Effects of polyester microfibers on soil physical properties: perception from a field and a pot experiment. Sci. Total Environ. 670, 1–7.

Zhao, M., Liu, R., Wang, X., Zhang, J., Wang, J., Cao, B., Zhao, Y., Xu, L., Chen, Y., and Zou, G. (2022). How does controlled-release fertilizer coated microplastics dynamically affect Cd

availability by regulating Fe species and DOC content in soil? Science of The Total Environment, 850, 157886.

KİMYON (CUMINUM CYMINUM L.) ÜZERİNDEKİ TRİPS (THYSANOPTERA) TÜRLERİ: TÜRKİYE'DEN İLK KAYITLAR VE ÖN BULGULAR

THRIPS (THYSANOPTERA) SPECIES ASSOCIATED WITH CUMIN (Cuminum cyminum L.): FIRST RECORDS AND PRELIMINARY OBSERVATIONS FROM TÜRKİYE

Dr. Aydemir BARIŞ
Directorate of Plant Protection Central Research Institute, Ankara, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-3509-5700

Assoc. Prof. Dr. Cenk YÜCEL
Directorate of Plant Protection Central Research Institute, Ankara, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-5223-9257

Prof. Dr. Ekrem ATAKAN
Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Çukurova University, Adana, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-7352-4815

Özet

Son yıllarda Thrips (Thysanoptera) türleri, tıbbi ve aromatik bitkilerde artan zarar potansiyelleri ve virüs taşıyıcılıkları nedeniyle tarımda dikkat çeken zararlı gruplar haline gelmiştir. Bu çalışma, Türkiye'de yaygın olarak yetiştirilen önemli bir tıbbi bitki olan kimyon (*Cuminum cyminum* L.) üzerinde bulunan thrips türlerinin belirlenmesini amaçlamaktadır. Mayıs–Temmuz 2023 ve 2024 yıllarında yürütülen arazi çalışmaları sonucunda elde edilen bulgular, literatüre yeni kayıtlar sunmaktadır. Thrips türleri doğrudan tarla koşullarında kimyon bitkisinden toplanmış ve tür teşhisleri stereo mikroskop altında yapılmıştır. Toplam 106 birey teşhis edilmiş olup, üç thrips türü tanımlanmıştır: zararlı türlerden *Thrips tabaci* Lindeman, 1889 (Thysanoptera: Thripidae) ve *Haplothrips tritici* Kurdjumov, 1912 (Thysanoptera: Phlaeothripidae); faydalı türlerden ise, predatör özelliğiyle bilinen ve doğal düşman olarak ekosistemlerde önemli rol oynayan *Aeolothrips intermedius* Bagnall, 1934 (Thysanoptera: Aeolothripidae) saptanmıştır. Bu türler arasında en yaygın olanı %60.4 oranıyla *H. tritici* olurken, *T. tabaci* %38.7 ve *A. intermedius* %0.9 oranında bulunmuştur. *T. tabaci*, daha önce farklı ülkelerde kimyon bitkisinde raporlanmış yaygın bir türdür. Ancak, *H. tritici* ve *A. intermedius* türlerinin kimyon bitkisi üzerindeki varlığı ilk kez bu çalışmayla kayıt altına alınmıştır. Özellikle *H. tritici*, tarla bitkilerinde bilinen zararlılığı nedeniyle kimyon tarımında da dikkate alınması gereken potansiyel bir tehdit unsuru olabilir. *A. intermedius*'un predatör özelliği ile kimyon ekosistemlerinde biyolojik mücadele açısından önemli bir doğal düşman olabileceğini göstermektedir. Elde edilen bulgular, Türkiye'de kimyon üretiminde daha önce dikkate alınmamış thrips türlerinin bulunduğunu ortaya koymakta ve bu türlerin konukçu yelpazelerinin genişlediğini göstermektedir. Çalışma, kimyon tarımına yönelik zararlı izleme sistemlerinin geliştirilmesi ve bölgeye özgü entegre mücadele stratejilerinin oluşturulması açısından önemli bir bilimsel katkı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kimyon, Thysanoptera, *Haplothrips tritici*, zararlı tespiti

Abstract

In recent years, Thrips (Thysanoptera) species have become prominent pest groups in agriculture due to their increasing damage potential and role as virus vectors, particularly in medicinal and aromatic plants. This study aims to identify the thrips species associated with cumin (Cuminum cyminum L.), a significant medicinal plant widely cultivated in Türkiye. The findings obtained from field studies conducted between May and July in 2023 and 2024 contribute new records to the existing literature. Thrips specimens were directly collected from cumin plants under field conditions, and species identifications were performed using a stereomicroscope. A total of 106 individuals were identified, revealing three thrips species: the harmful *Thrips tabaci* Lindeman, 1889 (Thysanoptera: Thripidae) and *Haplothrips tritici* Kurdjumov, 1912 (Thysanoptera: Phlaeothripidae); and the beneficial species *Aeolothrips intermedius* Bagnall, 1934 (Thysanoptera: Aeolothripidae), known for its predatory nature and important role as a natural enemy in ecosystems.

Among these, *H. tritici* was the most dominant with a rate of 60.4%, followed by *T. tabaci* at 38.7% and *A. intermedius* at 0.9%. While *T. tabaci* has previously been reported on cumin in various countries, the presence of *H. tritici* and *A. intermedius* on cumin plants is recorded for the first time in this study. In particular, *H. tritici* may be considered a potential threat in cumin cultivation due to its known harmful effects on field crops. The predatory behavior of *A. intermedius* indicates its potential as a significant natural enemy for biological control in cumin agroecosystems. These findings reveal that previously overlooked thrips species are present in cumin production areas in Türkiye, and suggest a widening of their host range. This study provides a valuable scientific contribution towards developing pest monitoring systems and region-specific integrated pest management strategies for cumin cultivation.

Keywords: Cumin, Thysanoptera, *Haplothrips tritici*, pest identification

BAZI MAKARNALIK BUĞDAY ÇEŞİTLERİNİN ERKEN GELİŞME DÖNEMİNDEKİ KURAKLIK TOLERANSININ BELİRLENMESİ

DETERMINATION OF DROUGHT TOLERANCE AT THE EARLY GROWTH STAGE OF SOME DURUM WHEAT CULTIVARS

Kübra ÖZDEMİR DİRİK
Department of Field Crops, Faculty of Agriculture, Tokat Gaziosmanpaşa University, Tokat, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-6901-561X

Özet
Kuraklık stresi, buğdayda çimlenme ve erken fide gelişimini olumsuz etkileyerek bitkinin kuraklık koşullarına adaptasyonunu ve verim potansiyelini sınırlandıran önemli abiyotik stres faktörlerinden biridir. Bu araştırma ozmotik stres altında bazı makarnalık buğday çeşitlerinin çimlenme dönemindeki kuraklığa toleransının belirlenmesi amacıyla yürütülmüştür. Araştırmada 10 adet makarnalık buğday çeşidi kullanılmıştır. Ozmotik stres petri kaplarında polyethylene glycol 6000 (PEG 6000) kullanılarak farklı dozlarda (0, -3 ve -6 bar) uygulanmıştır. Denemenin yedinci gününde çimlenme oranı, çimlenme hızı, kök sayısı, kök uzunluğu, sürgün uzunluğu ve koleoptil uzunluğu belirlenmiştir. Çeşitlerin çimlenme oranları kontrole göre -3 bar osmotik streste %0.3, -6 bar ozmotik streste ise %2.1 oranında önemli bir şekilde azalmıştır. Çeşitlerin kök uzunlukları -3 bar'da %0.7, -6 bar'da %67.1 azalmış, sürgün uzunlukları -3 bar'da %59.8 ve -6 bar'da %99.5 oranında azalmıştır. Çimlenme oranları dikkate alındığında -6 bar PEG'de Altınsa ve Mervani çeşitleri %100.0 çimlenme göstererek öne çıkmışlardır. Kök uzunluğu ve sürgün uzunluğu değerlerine göre de Alatay, Durusa, Leventbey ve Sırçalı çeşitlerinin öne çıktığı söylenebilir. Çimlenme ve erken fide gelişimi döneminde kuraklık stresinin yaşandığı koşullarda, tohum osmotik potansiyeli yüksek çeşitlerin belirlenerek tarla koşullarında performanslarının değerlendirilmesinin, kuraklık riski bulunan alanlarda makarnalık buğday yetiştiriciliğinin güçlendirilmesine olanak sağlayacağı düşünülmektedir.
Anahtar kelimeler: Çimlenme, Osmotik stres, *Triticum durum*, PEG

Abstract
Drought stress is one of the major abiotic stress factors that negatively affects germination and early seedling development in wheat, thereby limiting the plant's adaptation to drought conditions and its yield potential. This research was conducted to determine the drought tolerance of some durum wheat cultivars in the germination stage under osmotic stress. In the research, 10 durum wheat cultivars were used. Osmotic stress was applied in Petri dishes using polyethylene glycol 6000 (PEG 6000) at different concentrations (0, -3, and -6 bar). On the 7th day of experiment, the germination percentage, germination rate, root number, root length, shoot length, and coleoptile length were determined. Compared to the control, the germination percentages of the cultivars decreased significantly by 0.3% under -3 bar osmotic stress and by 2.1% under -6 bar osmotic stress. Root lengths of the cultivars decreased by 0.7% at -3 bar and by 67.1% at -6 bar, while shoot lengths decreased by 59.8% at -3 bar and by 99.5% at -6 bar.
When germination percentages were considered, the Altınsa and Mervani cultivars stood out by achieving 100.0% germination at -6 bar PEG. Based on root length and shoot length values, Alatay, Durusa, Leventbey, and Sırçalı cultivars can be said to stand out. It is believed that identifying cultivars with high seed osmotic potential and evaluating their performance under field conditions in conditions experiencing drought stress during the germination and early seedling development stages will enable the strengthening durum wheat cultivation in areas at risk of drought.
Keywords: Germination, Osmotic stress, *Triticum durum*, PEG

Giriş

Buğday, dünya genelinde ve Türkiye'de toplumların temel beslenme gereksinimlerinin karşılanmasında önemli bir yere sahip olan başlıca kültür bitkilerinden biridir. Geniş çevre koşullarına uyum sağlayabilmesi, yetiştiriciliğinin nispeten kolay olması ve mekanizasyona elverişli bir yapıya sahip bulunması, bu bitkinin yaygın olarak yetiştirilmesinde etkili olan başlıca faktörlerdir.

Bunun yanı sıra buğdayın taşınması, depolanması ve işlenmesinin kolay olması, ekonomik açıdan ulaşılabilir ve besin değeri yüksek bir ürün olması da önemini artırmaktadır.

Çoğunlukla kuru tarım sistemlerinde yetiştirilen buğdayda, üretim ve verim düzeyinin belirlenmesinde toprakta bulunan elverişli nem miktarı önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle yağış miktarının yetersiz olması ya da yağışların yıl içerisindeki dağılımının düzensiz gerçekleşmesi, bitkinin su gereksiniminin karşılanmasını güçleştirmekte ve buna bağlı olarak buğday veriminde yıllara göre belirgin değişimler ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle, buğdayın stres koşullarına dayanıklılığının artırılması, verim kayıplarının azaltılması ve gıda güvenliğinin korunması açısından büyük önem taşımaktadır (Duvnjak ve ark., 2023; Kausar ve ark., 2023).

Kuraklık, özellikle kuru tarım sistemlerinde ortaya çıkış zamanı, etkisinin şiddeti ve tekrarlanma sıklığı bakımından farklılık gösterebilen karmaşık bir stres faktörüdür. Bununla birlikte, aynı tür içerisinde yer alan genotiplerin kuraklığa karşı gösterdikleri adaptasyon düzeylerinin farklı olmasına neden olan fizyolojik ve biyolojik mekanizmalar ile bu özelliklerin altında yatan genetik yapı henüz tam olarak ortaya konulamamıştır.(Reynolds ve ark., 2006).

Kuraklığın bitkinin gelişme dönemlerine göre etkileri farklılık göstermektedir. Erken dönemde yaşanan kuraklık bitki boyu, yaprak alanı ve kardeşlenmeyi azaltırken, sapa kalkma ve çiçeklenme dönemlerindeki kuraklık fertil başak ve çiçek sayısında düşüşe neden olmaktadır. Başak oluşumu sırasında meydana gelen kuraklık tane sayısını, çiçeklenme sonrasındaki kuraklık ise tane ağırlığını azaltmaktadır. Tane dolum dönemindeki su yetersizliği ise başak içerisindeki tane kayıplarını artırabilmektedir (Kutlu, 2010). Ülkemizde kuru tarım yapılan alanlarda, yağışların yetersiz veya düzensiz olması nedeniyle buğdayın ekim, çimlenme-çıkış ve fide gelişimi dönemlerinde su stresiyle karşılaşılabilmektedir. Çimlenme döneminde meydana gelen kuraklık stresi, çimlenme oranını düşürerek sürecin uzamasına neden olmaktadır (İlhan ve ark., 2026). Polietilen glikol (PEG), hücre duvarından geçememesi ve su potansiyelini düzenleyebilmesi nedeniyle laboratuvar koşullarında kuraklık stresini simüle etmek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Çimlenme oranı kuraklık toleransının belirlenmesinde önemli bir kriter olup, stres altında yüksek çimlenme oranına sahip genotiplerin gelişme potansiyelinin daha yüksek olduğu kabul edilmektedir (Aydın ve ark., 2015). Dhanda ve ark. (2004), -10 bar PEG 6000 koşullarında çimlenme ve fide gelişimini sürdürebilen buğday genotiplerinin kuraklığa toleranslı olduğunu ve bu genotiplerin yüksek tohum gücü indeksi ile kök uzunluğuna sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Dolgun ve Aydoğan Çifci (2018) makarnalık buğday çeşitleriyle yapmış oldukları çalışmalarında 2.5 ve 5.0 bar kuraklık stresinden çeşitlerin çok fazla etkilenmediğini, 7.5 bar kuraklık stresi seviyesinde kök gelişiminin görüldüğünü ancak fide gelişiminin görülmediğini belirtmişlerdir. PEG-6000 ile uygulanmış kuraklık stresinin buğday çeşitleri üzerindeki etkilerini araştırmak için yapılan bir çalışmada kuraklık stresi şiddetinin artmasının bitki gelişimi üzerinde genel olarak olumsuz bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir (İlhan ve ark., 2026).

Bu çalışma bazı makarnalık buğday çeşitlerinin, erken dönemde ozmotik stres altında kuraklığa toleransını belirlemek amacıyla yürütülmüştür.

Materyal ve Yöntem

Araştırma 2026 yılında Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü laboratuvarında yürütülmüştür. Çalışmada deneme materyali olarak Çizelge 1'de belirtilen 10 adet makarnalık buğday çeşidi kullanılmıştır.

Çizelge 1. Makarnalık buğday çeşitleri ve temin edildiği kuruluşlar

Çeşit no	Çeşit Adı	Temin edildiği kuruluş
1	Alatay	Kuran Tarım
2	Altınsa	Mısır Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü
3	Durusa	Mısır Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü
4	Enduro	Semila Tohumculuk
5	Leventbey	Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü
6	Mervani	GAP Uluslararası Tarımsal Araştırma ve Eğitim Merkezi Müdürlüğü
7	Sırçalı	Bahri Dağdaş Uluslararası Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü

8	Sümerli	GAP Uluslararası Tarımsal Araştırma ve Eğitim Merkezi Müdürlüğü
9	Şölen 2002	Kuran Tarım
10	Vehbibey	Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü

Çimlendirme öncesi makarnalık buğday çeşitlerinin tohumları yüzey sterilizasyonuna tabi tutulmuştur ve bu amaçla tohumlar öncelikle saf suda, daha sonra %1'lik sodyum hipoklorit (%5 ticari çamaşır suyu) ve birkaç damla Tween-20 içeren çözeltide 10 dakika karıştırılmış ve son olarak da 3 kez steril saf su ile durulanmıştır. Yüzey sterilizasyonu yapılan tohumlar kurutma kağıdında kurutulmuştur. İki adet filtre kağıdı bulunan 9 cm çapındaki her bir petri kabına 25 adet tohum yerleştirilmiştir. Kontrol uygulaması için steril saf su ve kuraklık stresi uygulamak için -3 bar (151.3 g/l) ve -6 bar (223.6 g/l) polietilen glikol 6000 (PEG 6000) kullanılmıştır (Özdemir Dirik ve ark., 2024). Petri kaplarına kontrol uygulaması için 4 ml saf su, ozmotik stres uygulaması için 4 ml PEG 6000 solüsyonu eklenmiştir. Petri kaplarının kenarları buharlaşmayı önlemek amacıyla parafilm ile sarılmıştır. Petri kapları bitki büyüme kabininde 24 ±1 ^{o}C'de bekletilmiştir.

Çalışmada tüm tohumlar 7 gün boyunca her gün sayılmış ve 2 mm radikula çıkaran tohumlar çimlenmiş kabul edilmiştir (Dhanda ve ark. 2004). Uygulamanın 7. gününde çimlenme oranı, rastgele seçilen 10 fidenin kök uzunluğu, sürgün uzunluğu Öztürk ve ark. (2016)'na, koleoptil uzunluğu Dhanda ve ark. (2004)'na, çimlenme hızı Torabi ve ark. (2011)'na, kök sayısı ise Othmani ve ark. (2021)'na göre belirlenmiştir.

Elde edilen veriler, tesadüf parselleri faktöriyel deneme desenine göre JMP Pro 14 istatistik paket programı kullanılarak varyans analizine tabi tutulmuş ve varyans analizi sonucu önemli bulunan ortalamalar Tukey testine göre gruplandırılmıştır (Kalaycı, 2005). Çimlenme oranı değerleri açı transformasyonuna tabi tutularak istatistik analiz edilmiş, tabloda orijinal değerler verilmiştir (Soltani ve ark., 2012).

Bulgular ve Tartışma

Çimlenme oranı

Çimlenme oranı bakımından makarnalık buğday çeşitleri arasındaki fark $p<0.05$ düzeyinde, uygulamalar arasındaki fark $p<0.01$ düzeyinde önemli bulunurken çeşit x uygulama interaksiyonu önemsiz bulunmuştur (Çizelge 2). Çimlenme oranı, kontrol uygulamasında %100 bulunmuş olup -3 bar ve -6 bar PEG uygulamalarında önemli bir şekilde azalarak sırasıyla %99.7 ve %97.9 olmuştur. Kontrol uygulamasında bütün çeşitler, -3 bar PEG uygulamasında Leventbey ve Şölen 2002 çeşitleri (%98.7) dışında diğer tüm çeşitler %100.0 oranında çimlenirken, -6 bar PEG uygulamasında Altınsa ve Mervani çeşitleri %100.0 oranında çimlenmişlerdir. -6 bar PEG uygulamasında en düşük çimlenme oranı Leventbey çeşidinden elde edilmiştir (Çizelge 2). Çimlenme ortamındaki kuraklık stresinin artmasıyla çimlenme oranının önemli bir şekilde azaldığı bildirilmiştir (Dolgun ve Aydoğan Cifci, 2018; Özdemir Dirik ve ark., 2024; İlhan ve ark., 2026).

Çimlenme hızı

Makarnalık buğday çeşitlerinde çimlenme hızı bakımdan çeşitler arasındaki fark, uygulamalar arasındaki fark ve çeşit x uygulama interaksiyonu $p<0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur (Çizelge 2). Ortalama çimlenme hızı kontrolde 11.9, -3 bar PEG'de 8.8, -6 bar PEG'de ise 6.9 olarak bulunmuş ve kuraklık stresi arttıkça çimlenme hızı düşmüştür. Çimlenme hızının, kuraklık stresi seviyesi arttıkça düştüğü başka araştırıcılar tarafından da bildirilmiştir (Tilaki ve ark., 2009; Hamidi ve Safarnejad, 2010; Özkurt ve ark., 2019; İlhan ve ark., 2026). Çeşitlerin ortalama çimlenme hızları 7.9-10.2 arasında değişmiş ve en yüksek çimlenme hızı Şölen 2002 çeşidinden en düşük ise Sırçalı çeşidinden elde edilmiştir (Çizelge 2). Artan ozmotik stresin, çimlenme sürecini yavaşlatarak çimlenme oranı ve hızında düşüşe neden olduğu; bununla birlikte çeşitlerin strese dayanıklılık düzeylerinin birbirinden farklılık gösterebildiği düşünülmektedir. Nitekim İlhan ve ark. (2026) da kuraklık toleransının erken gelişim döneminde genotip bazlı olarak ayırt edilebileceğini bildirmişlerdir.

Çizelge 2. Makarnalık buğday çeşitlerine ait çimlenme oranları ve çimlenme hızları

Çeşit adı	Çimlenme oranı (%)	Çimlenme hızı

Çeşit no		Kontrol	-3 bar	-6 bar	Ort.	Kontrol	-3 bar	-6 bar	Ort.
1	Alatay	100.0 ÖD	100.0	98.7	99.6 ab*	9.9 c**	8.3 e-h	6.0 lm	8.1 d**
2	Altınsa	100.0	100.0	100.0	100.0 a	11.2 b	8.8 c-f	7.4 g-j	9.1 bc
3	Durusa	100.0	100.0	98.6	99.5 ab	13.7 a	8.4 d-g	7.0 ı-l	9.7 ab
4	Enduro	100.0	100.0	98.7	99.6 ab	13.2 a	8.8 c-f	6.2 klm	9.4 bc
5	Leventbey	100.0	98.7	94.7	97.8 c	13.3 a	9.3 cde	6.6 j-m	9.7 ab
6	Mervani	100.0	100.0	100.0	100.0 a	12.7 a	8.5 d-g	7.3 h-k	9.5 bc
7	Sırçalı	100.0	100.0	94.7	98.2 bc	9.5 cd	8.4 d-h	5.9 m	7.9 d
8	Sümerli	100.0	100.0	98.7	99.6 ab	11.0 b	9.7 c	7.3 h-k	9.3 bc
9	Şölen 2002	100.0	98.7	98.7	99.1 abc	13.7 a	9.1 cde	7.9 f-ı	10.2 a
10	Vehbibey	100.0	100.0	96.0	98.7 abc	11.1 b	8.5 d-g	6.9 ı-m	8.8 c
Ortalama		**100.0 A****	**99.7 A**	**97.9 B**		**11.9 A****	**8.8 B**	**6.9 C**	
V.K. (%)		**4.14**				**7.5**			

ÖD: Önemli değil, *: 0.05, **: 0.01 düzeyinde önemlidir. Aynı harfle harflendirilen ortalamalar arasındaki farklar istatistiki olarak önemli değildir. V.K.: Varyasyon kat sayısı.

Kök sayısı

Kök sayısı bakımından makarnalık buğday çeşitleri arasındaki fark $p<0.05$ düzeyinde, uygulamalar arasındaki fark $p<0.01$ düzeyinde önemli bulunurken çeşit x uygulama interaksiyonu önemsiz bulunmuştur (Çizelge 3). Çeşitlerin ortalama kök sayıları 3.6-4.8 adet arasında değişmiş ve en yüksek kök sayısı Şölen 2002 çeşidinden elde edilirken en düşük Altınsa çeşidinden elde edilmiştir. Çimlenme döneminde çeşitlerin kök sayılarında görülen farklılıkların genetik özelliklere ve çimlenme ortamı koşullarına göre değiştiği bildirilmiştir (Babacan Yılmaz, 2025). Othmani ve ark. (2021) makarnalık buğday çeşitleriyle yürüttükleri çimlendirme çalışmalarında kök sayısı bakımından çeşitler arasındaki farklılıkları önemli bulmuşlar ve çeşitlerin kök sayılarının 4.62-5.43 adet arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Ortalama kök sayısı kontrolde 4.4 adet, -3 bar PEG'de 4.8 adet, -6 bar PEG'de ise 2.7 adet olarak bulunmuş ve kontrol uygulamasına göre kök sayısı -3 bar PEG'de %9.1 oranında artmış, -6 PEG'de %38.6 oranına azalmıştır (Çizelge 3).

Kök uzunluğu

Makarnalık buğday çeşitlerinde kök uzunluğu bakımdan çeşitler ve uygulamalar arasındaki fark $p<0.01$ düzeyinde, çeşit x uygulama interaksiyonu ise $p<0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur (Çizelge 3). Çeşitlerin ortalama kök uzunlukları 55.9-72.7 mm arasında değişmiş olup en uzun kök Alatay çeşidinden en kısa kök ise Vehbibey çeşidinden elde edilmiştir. Ortalama kök uzunluğu kontrolde 81.4 mm, -3 bar PEG'de 80.8 mm, -6 bar PEG'de ise 26.8 mm olarak bulunmuş ve kontrol uygulamasına göre kök uzunluğu -3 bar PEG'de %0.7 oranında, -6 PEG'de %67.1 oranına azalmıştır (Çizelge 3). Kök uzunluğunun çeşitlere göre önemli düzeyde değiştiği ve kuraklık seviyesi arttıkça kök uzunluğunun azaldığı belirtilmiştir (Othmani ve ark., 2021).

Çizelge 3. Makarnalık buğday çeşitlerine ait kök sayıları ve kök uzunlukları

Çeşit no	Çeşit adı	Kök sayısı (adet)				Kök uzunluğu (mm)			
		Kontrol	-3 bar	-6 bar	Ort.	Kontrol	-3 bar	-6 bar	Ort.
1	Alatay	5.3 ÖD	5.3	1.7	4.1 b*	95.1 ab*	97.8 a	25.3 jk	72.7 a**
2	Altınsa	3.7	4.3	2.7	3.6 b	79.6 c-h	80.7 b-g	27.3 jk	62.5 bcd
3	Durusa	3.7	4.7	2.7	3.7 b	81.8 b-g	87.1 a-e	36.2 j	68.4 ab
4	Enduro	4.3	4.0	2.7	3.7 b	67.0 ghı	73.9 e-ı	27.8 jk	56.3 cd
5	Leventbey	4.0	4.7	3.0	3.9 b	93.6 abc	81.8 b-g	26.6 jk	67.3 ab
6	Mervani	4.3	5.0	3.0	4.1 b	64.0 ı	84.3 a-f	25.4 jk	57.9 cd
7	Sırçalı	4.3	4.7	2.7	3.9 b	78.1 d-ı	88.1 a-e	28.6 jk	64.9 abc
8	Sümerli	4.3	4.7	3.0	4.0 b	93.0 a-d	64.6 hı	22.3 jk	60.0 bcd
9	Şölen 2002	5.3	6.0	3.0	4.8 a	82.7 a-f	80.5 b-g	28.2 jk	63.8 bcd
10	Vehbibey	5.0	4.7	2.7	4.1 b	78.7 c-ı	69.3 f-ı	19.8 k	55.9 d
Ortalama		**4.4 B****	**4.8 A**	**2.7 C**		**81.4 A****	**80.8 A**	**26.8 B**	
V.K. (%)		**15.9**				**14.9**			

ÖD: Önemli değil, *: 0.05, **: 0.01 düzeyinde önemlidir. Aynı harfle harflendirilen ortalamalar arasındaki farklar istatistiki olarak önemli değildir. V.K.: Varyasyon kat sayısı.

Sürgün uzunluğu

Sürgün uzunlukları bakımından çeşitler arasındaki farklılıklar $p<0.05$, uygulamalar arasındaki farklılıklar ve çeşit x uygulama interaksiyonu $p<0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur (Çizelge 4). Çeşitlerin sürgün uzunlukları kontrol uygulamasında 54.0-73.8 mm arasında, -3 PEG'de 14.3-38.6 mm arasında, -6 PEG'de ise 0.0-3.2 mm arasında değişmiştir. Çizelge 3'te görüldüğü gibi -6 PEG uygulamasında Durusa çeşidi hariç diğer tüm çeşitler sürgün oluşturmamışlardır. Ayrıca ortalama sürgün uzunluğu kontrolde 66.6 mm, -3 bar PEG'de 26.8 mm, -6 bar PEG'de ise 0.3 mm olarak bulunmuş ve kuraklık artışıyla sürgün uzunluğunun önemli bir şekilde azaldığı belirlenmiştir. Nitekim kuraklık seviyesindeki artışla sürgün uzunluğunun azaldığı başka araştırmalarda da bildirilmiştir (Othmani ve ark., 2021; Qayyum ve ark., 2021; Özdemir Dirik ve ark., 2024; İlhan ve ark., 2026). Çalışmada çeşitlerin ortalama sürgün uzunlukları 25.8-35.0 mm arasında değişmiş ve sürgün uzunluğu en uzun Durusa, en kısa ise Sümerli çeşidinden elde edilmiştir.

Koleoptil uzunluğu

Koleoptil uzunlukları bakımından çeşitler ve uygulamalar arasındaki farklılıklar $p<0.01$, çeşit x uygulama interaksiyonu ise $p<0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur (Çizelge 4). Çeşitlerin ortalama koleoptil uzunlukları 23.7-32.7 mm arasında değişmiş olup en uzun koleoptil Şölen 2002 çeşidinden en kısa koleoptil ise Sümerli çeşidinden elde edilmiştir (Çizelge 4). Othmani ve ark. (2021) koleoptil uzunluğu bakımından çeşitler arasında önemli varyasyonlar saptamışlar ve yüksek düzeyde genetik varyasyon gözlemlemişlerdir. Çalışmada ortalama koleoptil uzunluğu kontrolde 44.8 mm, -3 bar PEG'de 35.3 mm, -6 bar PEG'de ise 3.2 mm olarak bulunmuş ve kuraklık artışıyla koleoptil uzunluğunun önemli bir şekilde azaldığı belirlenmiştir. Yapılan çalışmalarda da buğdayda ozmotik basınç seviyelerinin artmasıyla çim kını uzunluğunun azaldığı belirtilmiştir (Bayoumi ve ark., 2008; Balkan, 2011; Baloch ve ark., 2012).

Çizelge 4. Makarnalık buğday çeşitlerine ait sürgün uzunlukları ve koleoptil uzunlukları

Çeşit no	Çeşit adı	Sürgün uzunluğu (mm)				Koleoptil uzunluğu (mm)			
		Kontrol	-3 bar	-6 bar	Ort.	Kontrol	-3 bar	-6 bar	Ort.
1	Alatay	69.1 ab**	27.3 fgh	0.0 j	32.1 a*	43.8 bc*	30.3 ef	2.7 g	25.6 cd**
2	Altınsa	63.4 bc	30.1 fg	0.0 j	31.2 a	43.5 bc	35.2 de	3.8 g	27.5 bc
3	Durusa	73.8 a	28.1 fgh	3.2 j	35.0 a	44.6 abc	34.6 de	5.7 g	28.3 bc
4	Enduro	57.4 cd	34.3 ef	0.0 j	30.6 a	44.9 ab	41.1 bc	3.8 g	30.0 ab
5	Leventbey	72.6 a	23.1 gh	0.0 j	31.9 a	42.1 bc	35.2 de	1.3 g	26.2 cd
6	Mervani	54.0 d	38.6 e	0.0 j	30.9 a	45.3 ab	39.1 cd	5.3 g	29.9 ab
7	Sırçalı	66.8 ab	26.4 gh	0.0 j	31.1 a	46.6 ab	35.2 de	1.5 g	27.8 bc
8	Sümerli	63.0 bc	14.3 ı	0.0 j	25.8 b	42.9 bc	26.8 f	1.3 g	23.7 d
9	Şölen 2002	72.6 a	24.7 gh	0.0 j	32.4 a	49.8 a	44.6 abc	3.7 g	32.7 a
10	Vehbibey	73.2 a	20.8 hı	0.0 j	31.3 a	44.4 abc	31.0 ef	2.3 g	25.9 cd
Ortalama		**66.6 A****	**26.8 B.**	**0.3 C**		**44.8 A****	**35.3 B**	**3.2 C**	
V.K. (%)			**15.3**				**12.6**		

*: 0.05, **: 0.01 düzeyinde önemlidir. Aynı harfle harflendirilen ortalamalar arasındaki farklar istatistiki olarak önemli değildir. V.K.: Varyasyon kat sayısı.

Sonuç

Çalışmada çeşitlerin çimlenme oranları kontrole göre; -3 bar ozmotik streste %0.3, -6 bar ozmotik streste ise %2.1 oranında önemli bir şekilde azalmıştır. Çimlenme oranları dikkate alındığında -6 bar PEG'de Altınsa ve Mervani çeşitleri %100.0 çimlenme göstererek öne çıkmışlardır. Kök uzunluğu ve sürgün uzunluğu değerlerine göre de Alatay, Durusa, Leventbey ve Sırçalı çeşitlerinin öne çıktığı söylenebilir. Çimlenme ve erken fide gelişimi döneminde kuraklık stresinin yaşandığı koşullarda, tohum ozmotik potansiyeli yüksek çeşitlerin belirlenerek tarla koşullarında performanslarının değerlendirilmesinin, kuraklık riski bulunan alanlarda makarnalık buğday yetiştiriciliğinin güçlendirilmesine olanak sağlayacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

Aydın, M., Pour, A. H., Haliloğlu, K. ve Tosun, M. (2015). Effect of Putrescine Application and Drought Stress on Germination of Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Atatürk University Journal of Agricultural Faculty*, 46(1), 43–55.

Babacan Yılmaz, N. (2025). Bazı Yerli Yulaf (Avena sativa L.) Genotiplerinin Çimlenme ve Erken Fide Gelişme Dönemlerinde Tuzluluk Stresine Tepkilerinin İncelenmesi. [Yüksek Lisans Tezi]. Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı.

Balkan, A. (2011). Ekmeklik Buğdayda (*Triticum aestivum* L.) Kuraga Dayanıklıkla İlişkili Morfolojik ve Fizyolojik Özelliklerin Saptanması Üzerine Araştırmalar. [Doktora Tezi]. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Tekirdağ.

Baloch, M. J., Dunwell, J., Khakwani, A. A., Dennett, M., Jatoi, W. A. ve Channa, S. A. (2012). Assesment of Wheat Cultivars for Drought Tolerance via Osmotic Stress İmposed at Early Seedling Growth Stages. *Journal of Agricultural Research*, 50(3), 299-310.

Bayoumi, T. Y., Eid, M. H. ve Metwali, E. M. (2008). Application of physiological and biochemical indices as a screening technique for drought tolerance in wheat genotypes. *African Journal of Biotechnology*, 7(14), 2341-2352.

Dhanda, S. S., Sethi, G. S. ve Behl, R. K. (2004) Indices of Drought Tolerance in Wheat Genotypes at Early Stages of Plant Growth, *J. Agron. Crop Sci.*, 190, 6-12.

Dolgun, C. ve Çifci, E. A. (2018). Farklı Kuraklık Stresi Seviyelerinin Makarnalık Buğday Çeşitlerinde Çimlenme ve Erken Fide Gelişimi Üzerine Etkisi. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 32(2), 99-109.

Duvnjak, J., Lončarić, A., Brkljačić, L., Šamec, D., Šarčević, H., Salopek-Sondi, B. ve Španić, V. (2023). Morpho-Physiological and Hormonal Response of Winter Wheat Varieties to Drought Stress at Stem Elongation and Anthesis Stages. Plants, 12(3): 418.

Hamidi, H. ve Safarnejad, A. (2010). Effect of Drought Stress on Alfalfa Cultivars (*Medicago sativa* L.) in Germination Stage. *American-Eurasian Journal of Agricultural Environmental Sciences*, 8(6), 705-709.

İlhan, D., Koç, Ü. G., Kemeç Hürkan, Y., Uygur Göçer, E. ve Hürkan, K. (2026). Kars Kavılca Buğday (*Triticum dicoccum* Schrank) Popülasyonları Üzerine Kuraklık Stresinin Etkileri. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, *23*(3), 730-756.

Kalaycı, M. (2005). *Örneklerle JUMP Kullanımı ve Tarımsal Araştırma İçin Varyans Analiz Modelleri*. Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, No: 21, 296 s, Eskişehir.

Kausar, A., Hussain, S., Javed, T., Zafar, S., Anwar, S., Hussain, S. ve Saqib, M. (2023). Zinc Oxide Nanoparticles as Potential Hallmarks for Enhancing Drought Stress Tolerance in Wheat Seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, 195, 341-350.

Kutlu, İ. (2010). Tahıllarda Kuraklık Stresi. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi* 3(1), 35-41.

Othmani, A., Ayed, S., Chamekh, Z., Slama-Ayed, O., Teixeira da Silva, J. A., Rezgui, M., Slim-Amara, H. ve Younes, M. B. (2021). Screening of Seedlings of Durum Wheat (*Triticum durum* Desf.) Cultivars for Tolerance to PEG-induced Drought Stress. *Pakistan Journal of Botany*, 53(3), 823-832.

Özdemir Dirik, K., Erdem, M. ve Saygılı, İ. (2024). Arpa Çeşitlerinin Çimlenme Döneminde Ozmotik Stres toleransının Belirlenmesi. *Bursa Uludag Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 38(1), 107-121.

Özkurt, M., Saygılı, İ. ve Özdemir Dirik, K. (2019). Bazı Yonca Çeşitlerinin Erken Gelişme Dönemindeki Kuraklık Toleransının Belirlenmesi. *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi,* 22(4), 558-563.

Öztürk, A., Taşkesenligil, B., Haliloğlu, K., Aydın, M. ve Çağlar, Ö. (2016). Evaluation of Bread Wheat Genotypes for Early Drought Resistance via Germination under Osmotic Stress, Cell Membrane Damage, and Paraquat Tolerance. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 40, 146-159.

Qayyum, A., Al Ayoubi, S., Sher, A., Bibi, Y., Ahmad, S., Shen, Z. ve Jenks, M. A. (2021). Improvement in Drought Tolerance in Bread Wheat is Related to an Improvement in Osmolyte Production, Antioxidant Enzyme Activities, and Gaseous Exchange. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(9), 5238-5249.

Reynolds, M. P., Rebetzke, G., Pellegrineschi, A. ve Trethowan, R. (2006). Drought Adaptation in Wheat. In: Ribaut J.M. (Ed.) Drought Adaptation in Cereals, Food Products Press, New York, London, Oxford, 401-446.

Soltani, A., Khodarahmpour, Z., Jafari, A. A. ve Nakhjavan, S. (2012). Selection of Alfalfa (*Medicago sativa* L.) Cultivars for Salt Stress Tolerance Using Germination İndices. *African Journal of Biotechnology*, 11(31), 7899-7905.

Tilaki, G. A. D., Behtari, B. ve Behtari, B. (2009). Effect of Salt and Water Stress on the Germination of Alfalfa (*Medicago sativa* L.) Seed. *Povolzhsky Ecological Journal*, 2, 158-164.

Torabi, M., Halim, R. A., Sinniah, U. R. ve Choukan, R. (2011). Influence of Salinity on The Germination of Iranian Alfalfa Ecotypes. *African Journal of Agricultural Research,*. 6(19), 4624-4630.

COMPARISON OF DIFFERENT DIGITAL ELEVATION MODELS AT THE BASIN SCALE: A CASE STUDY OF THE BURDUR BASIN

FARKLI SAYISAL YÜKSEKLİK MODELLERİNİN HAVZA ÖLÇEĞİNDE KARŞILAŞTIRILMASI: BURDUR HAVZASI ÖRNEĞİ

Asst. Prof. Dr. Mesut ÇOŞLU
Department of Precision Agriculture and Agricultural Robots, Faculty of Arts and Sciences, Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Burdur, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-3952-6563

Abstract
Digital elevation models (DEMs) are widely used as fundamental data sources for characterizing the topographic properties of the Earth's surface, as well as for land-use planning, natural resource management, and various spatial analyses. This study aimed to compare elevation, slope, and aspect characteristics derived from SRTM and AW3D30 data in the Burdur Basin. The two DEMs, with a spatial resolution of approximately 30 m, were evaluated in a geographic information system (GIS) environment using a common coordinate system, cell size, and analysis extent.
The descriptive elevation statistics of the DEMs were compared, while cell-based elevation differences were assessed using mean bias difference (MBD), mean absolute difference (MAD), and root mean square difference (RMSD). In addition, slope values derived from both DEMs were grouped into four classes, whereas aspect values were classified into eight cardinal and intercardinal directions, and their areal and percentage distributions were compared. The mean elevations derived from SRTM and AW3D30 were 1189.495 and 1190.096 m, respectively, while MBD, MAD, and RMSD were calculated as −0.398, 3.818, and 4.650 m, respectively. Mean slope was 8.274° for SRTM and 8.682° for AW3D30, with slope classes above 15° accounting for a larger proportion of the area in AW3D30. In contrast, the aspect distributions across the eight directional classes were largely similar between the two datasets. The findings indicate that although the two DEMs provide similar overall elevation and aspect characteristics at the basin scale, local elevation differences exist, and DEM selection may influence the characterization of topographic derivatives, particularly slope. These results highlight that DEM selection for DEM-based applications should consider not only spatial resolution but also the scale of analysis and the topographic variables to be evaluated.
Keywords: Land management, DEM, basin, remote sensing and GIS

Özet
Sayısal yükseklik modelleri (DEM), yeryüzünün topoğrafik özelliklerinin belirlenmesinin yanı sıra arazi planlama, doğal kaynak yönetimi ve çeşitli mekânsal analizlerin gerçekleştirilmesinde temel veri kaynaklarından biri olarak yaygın biçimde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Burdur Havzası'nda SRTM ve AW3D30 verilerinden elde edilen yükselti, eğim ve bakı özelliklerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Yaklaşık 30 m mekânsal çözünürlüğe sahip iki DEM verisi, ortak koordinat sistemi, hücre boyutu ve analiz sınırı altında coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ortamında değerlendirilmiştir. DEM'lerin temel yükselti özellikleri tanımlayıcı istatistiklerle karşılaştırılmış, hücre bazlı yükselti farklılıkları ise ortalama yönlü fark (MBD), ortalama mutlak fark (MAD) ve kök ortalama kare fark (RMSD) ölçütleriyle incelenmiştir.
Ayrıca, her iki DEM'den elde edilen eğim değerleri dört sınıfa, bakı değerleri ise sekiz ana yön sınıfına ayrılarak alansal ve yüzdesel dağılımları karşılaştırılmıştır. SRTM ve AW3D30 için ortalama yükselti sırasıyla 1189.495 ve 1190.096 m olarak belirlenirken, MBD −0.398 m, MAD 3.818 m ve RMSD 4.650 m olarak hesaplanmıştır. Ortalama eğim SRTM'de 8.274°, AW3D30'da 8.682° olup, 15° üzerindeki eğim sınıflarının AW3D30'da daha geniş alan kapladığı belirlenmiştir. Buna karşılık, sekiz ana yön sınıfına göre bakı dağılımları iki veri setinde büyük ölçüde benzerlik göstermiştir. Elde edilen bulgular, iki DEM'in havza ölçeğinde benzer genel yükselti ve bakı özellikleri sunmasına karşın, yerel yükselti farklılıklarının bulunduğunu ve DEM seçiminin özellikle eğim gibi topoğrafik türevlerin belirlenmesinde farklılık oluşturabileceğini ortaya koymuştur.

Bu sonuçlar, DEM tabanlı uygulamalarda veri seçiminin yalnızca mekânsal çözünürlüğe göre değil, çalışma ölçeği ve değerlendirilecek topoğrafik değişkenler dikkate alınarak yapılması gerektiğini göstermektedir.**Anahtar Kelimeler:** Arazi yönetimi, DEM, havza, uzaktan algılama ve CBS

1. Introduction

Remote sensing technologies enable the acquisition of spatial information about the Earth's surface at different scales, providing an important source of data for environmental monitoring, natural resource management, sustainable development, and agricultural applications (Avtar et al., 2020; Wu et al., 2023). Digital elevation models (DEMs) provide a numerical representation of the Earth's topography and constitute an important data source for characterizing terrain features and spatially assessing environmental processes (Li et al., 2022). In this context, DEMs provide not only elevation information on the land surface but also enable the derivation of slope, aspect, and other topographic variables, thereby constituting one of the fundamental data sources for GIS-based spatial analyses (Polidori and El Hage, 2020; Alba-Fernández et al., 2021). DEMs and their derived topographic variables are widely used in hydrology, geomorphology, soil and ecological studies, natural hazard assessment, and various spatial mapping and modeling applications (Polidori and El Hage, 2020; Maxwell and Shobe, 2022). This wide range of applications highlights the importance of evaluating the characteristics of DEM data produced from different sources and their suitability for the intended purpose.

Today, various global DEM products based on different sensors and data production techniques are available. Among these, the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) and ALOS World 3D–30m (AW3D30) are important data sources that provide a spatial resolution of approximately 30 m and are used in various topographic applications (Chymyrov, 2021; Del Rosario González-Moradas et al., 2023). While SRTM was generated using radar interferometry, AW3D30 was produced from stereo optical imagery acquired by the PRISM sensor onboard the ALOS satellite (Takaku et al., 2020). These global DEM products have been used in various applications, including hydrological modeling, watershed analysis, geomorphological assessments, and agricultural land suitability determination. For instance, Chymyrov (2021) used global DEMs, including SRTM and AW3D30, to model a mountainous lake basin, whereas Everest et al. (2021) utilized elevation, slope, and aspect variables derived from SRTM data to determine agricultural land suitability. In another study conducted in Türkiye, Demir (2024) used SRTM-derived topographic variables to assess the suitability of agricultural lands. In the study conducted by Ling et al. (2022), AW3D30 data were used to derive topographic factors such as elevation, slope, aspect, and curvature for landslide susceptibility assessment.

Despite having similar spatial resolutions, global DEMs based on different sensors and data production techniques may differ in their ability to represent the land surface and in the topographic results derived from them. Therefore, comparisons of the characteristics of SRTM and AW3D30 under different geographical and topographic conditions have been the subject of various studies. At the scale of Türkiye, Sefercik and Gökmen (2019) investigated the differences between AW3D30 and SRTM by considering terrain slope and land cover conditions and demonstrated that these factors influenced the differences between the two DEMs. Similarly, studies comparing different global DEMs have reported that, in addition to elevation differences, DEM-derived topographic variables such as slope and aspect may also vary depending on the dataset and terrain conditions (Courty et al., 2019). In this context, a study conducted across four geographical regions characterized by different topographic and land cover conditions found that the vertical accuracy of global DEMs varied among regions and that slope was the topographic factor exerting the strongest influence on DEM accuracy (Uuemaa et al., 2020). These findings indicate that comparing global DEMs with similar nominal spatial resolutions under different topographic conditions is important for evaluating the topographic information derived from these datasets.

The potential of global DEMs to produce different results under different geographical and topographic conditions highlights the importance of comparing these datasets specifically within the areas in which they are intended to be used. Accordingly, comparing selected topographic characteristics derived from SRTM and AW3D30 data in the Burdur Basin, which exhibits varying elevation and slope characteristics, will contribute to revealing the similarities and differences between the two DEMs at the basin scale.

The aim of this study was to compare the elevation, slope, and aspect characteristics derived from the SRTM and AW3D30 digital elevation models under common spatial resolution and analysis conditions and to evaluate the spatial distribution of the differences between the two datasets within the Burdur Basin.

2. Materials and Methods

2.1. Study Area

This study was conducted in the Burdur Basin, located in southwestern Türkiye between latitudes 37.1261°–38.1453° N and longitudes 29.5436°–30.8285° E (Figure 1).

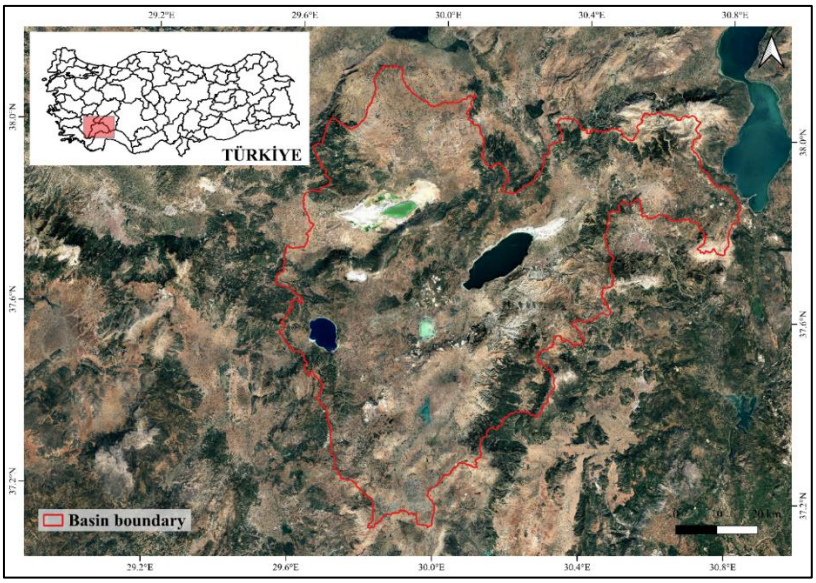


Figure 1. Location of the study area

The Burdur Basin covers an area of approximately 6285.07 km² and administratively encompasses parts of the provinces of Afyonkarahisar, Burdur, Isparta, Denizli, and Antalya. The basin is characterized as a lake district due to its natural landscape, where karstic formations and lakes are widespread. Burdur Lake is the largest lake within the basin. According to CORINE 2018 land cover data, 48.0% of the basin area consists of forests and semi-natural areas, while 44.2% is composed of agricultural areas. The annual mean temperature in the basin varies regionally between 12.22 and 13.30 °C, with an overall mean temperature of 12.75 °C reported for the basin (Republic of Türkiye Ministry of Agriculture and Forestry, 2020).

2.2. Data and Preprocessing

SRTMGL1 and AW3D30 digital elevation models with a spatial resolution of approximately 30 m were used as the primary datasets in this study. SRTMGL1 is a global SRTM product with a spatial resolution of 1 arc-second (approximately 30 m), generated from data acquired using radar interferometry as part of the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). SRTM data were acquired during the Space Shuttle Endeavour STS-99 mission conducted in February 2000, and SRTMGL1 Version 3, the global SRTM product with a spatial resolution of 1 arc-second, was used in this study (NASA JPL, 2013). AW3D30 (ALOS World 3D–30m) is a global digital surface model with a spatial resolution of 1 arc-second (approximately 30 m), produced by the Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) using stereo optical imagery acquired by the Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping (PRISM) sensor onboard the Advanced Land Observing Satellite (ALOS) (Takaku et al., 2020). All data preprocessing, spatial analyses, and raster-based calculations were performed using QGIS 3.40. A total of 18 tiles covering the entire study area, nine from each dataset, were acquired and mosaicked to generate a mosaic DEM for each dataset.

The Burdur Basin boundary was used to delineate the study area.

To conduct the spatial analyses within a common coordinate system, the DEM data were prepared in the WGS 84 / UTM Zone 36N (EPSG:32636) coordinate reference system, and the basin boundary data were transformed to the same coordinate reference system. Geometric topology errors identified in the basin boundary data were corrected, and it was verified that the basin area remained 6285.07 km² after the correction.

The coordinate reference systems, cell sizes, raster dimensions, and grid origin coordinates of the SRTMGL1 and AW3D30 rasters were examined. Both DEMs were found to have the same coordinate reference system and a cell size of 30 × 30 m, with their pixel grids spatially aligned. Therefore, no additional resampling or grid alignment procedure was applied. Both DEMs were clipped to the corrected Burdur Basin boundary while preserving the 30 m spatial resolution of the input rasters. Following clipping, both rasters were verified to have dimensions of 3796 × 3770 pixels, the same spatial extent, and identical grid origin coordinates, confirming the establishment of a common analysis grid suitable for cell-by-cell comparison (Table 1).

Table 1. Common grid characteristics of the SRTMGL1 and AW3D30 digital elevation models used in the study

Characteristic	**SRTMGL1**	**AW3D30**
Coordinate reference	EPSG:32636	EPSG:32636
Cell size	30 × 30 m	30 × 30 m
Columns × rows	3796 × 3770	3796 × 3770
Origin X	195090	195090
Origin Y	4226640	4226640
Extent X	195090–308970	195090–308970
Extent Y	4113540–4226640	4113540–4226640
Data type	Float32	Float32

2.3. Comparison of Elevation Data

To compare the elevation characteristics of the SRTMGL1 and AW3D30 datasets at the basin scale, minimum, maximum, mean, and standard deviation values were calculated using valid raster cells. Median elevation values were determined based on the 50th percentile. Similarly, previous studies comparing AW3D30 and SRTM30 data have used descriptive statistics of the DEMs together with cell-by-cell elevation differences (Acharya et al., 2018; Yang et al., 2018).

To determine cell-by-cell elevation differences between the two DEMs, an elevation difference raster was generated according to Equation 1.

$$d_i = AW3D30i - SRTMGL1i \quad (1)$$

where d_i represents the elevation difference between the two DEMs at cell i. Positive values indicate that AW3D30 provides higher elevation values than SRTMGL1, whereas negative values indicate lower elevation values.

To quantitatively evaluate the magnitude and direction of the elevation differences between the two DEMs, the Mean Bias Difference (MBD) (Equation 2), Mean Absolute Difference (MAD) (Equation 3), and Root Mean Square Difference (RMSD) (Equation 4) were calculated. These metrics are used to evaluate differences between datasets when neither of the compared datasets is considered an absolute reference (Riihelä et al., 2018; Rodríguez-Veiga et al., 2020). RMSD is also defined as the square root of the mean of the squared differences between two datasets at corresponding locations and is distinguished from RMSE when neither dataset is known to be more accurate than the other (USGS, 2020).

$$MBD = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} d_i \quad (2)$$

$$MAD = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} |d_i| \quad (3)$$

$$RMSD = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} d_i^2} \quad (4)$$

where n represents the total number of valid raster cells used in the comparison, i denotes each raster cell, and d_i represents the elevation difference between AW3D30 and SRTMGL1 at cell i ($AW3D30_i - SRTMGL1_i$).

2.4. Slope Analysis

Slope was calculated from the SRTMGL1 and AW3D30 datasets using the default Horn algorithm, which determines the surface gradient from neighboring raster cells, and the resulting slope values were expressed in degrees (Horn, 1981). Since both the horizontal coordinate units of the DEMs and the elevation units were in meters, the scale ratio between the vertical and horizontal units was set to 1. The option to compute edge cells was not used to prevent missing data cells along the raster boundaries from affecting the slope calculation.

To compare the basic characteristics of the slope rasters derived from the two DEMs, minimum, maximum, mean, and standard deviation values were calculated. To compare the spatial distribution of slope values, the rasters were classified into four classes—0–5°, 5–15°, 15–25°, and ≥25°—based on class thresholds reported in the literature (Li et al., 2013; Zhang et al., 2014). The number of cells and area corresponding to each slope class were determined, and the percentage of each class within the total valid slope area was calculated. The same class thresholds and analysis extent were used for both DEMs to ensure direct comparability of the results.

2.5. Aspect Analysis

Aspect values were derived from the SRTMGL1 and AW3D30 digital elevation models as azimuth angles ranging from 0° to 360°, and flat surfaces were assigned a value of 0 to allow cells with zero slope to be identified separately. As in the slope analysis, the Horn algorithm was used to calculate aspect (Horn, 1981). The resulting aspect rasters were classified into eight cardinal and intercardinal direction classes to compare their spatial distributions. Accordingly, north was classified as 337.5–22.5°, northeast as 22.5–67.5°, east as 67.5–112.5°, southeast as 112.5–157.5°, south as 157.5–202.5°, southwest as 202.5–247.5°, west as 247.5–292.5°, and northwest as 292.5–337.5°.

Since aspect is undefined for flat surfaces, cells with a slope value of 0° were identified as a separate class and excluded from the calculation of the spatial distribution of the eight direction classes. The number of cells and the area covered by each direction class were determined. For SRTMGL1 and AW3D30, the percentage distributions of the direction classes were calculated separately based on the total area of cells with defined aspect, and the basin-scale aspect distributions of the two DEMs were compared.

3. Results and Discussion

3.1. Elevation Characteristics

Descriptive statistics of the elevation values derived from the SRTMGL1 and AW3D30 datasets are presented in Table 2. The mean elevation was 1189.495 m for SRTMGL1 and 1190.096 m for AW3D30, indicating that the basin-wide mean elevation values of the two datasets were very similar. Similarly, the median elevation values were 1155 m and 1154 m for SRTMGL1 and AW3D30, respectively, while the corresponding standard deviation values were 267.367 m and 267.326 m. The minimum elevation was 809 m for SRTMGL1 and 810 m for AW3D30, whereas the maximum elevation values were 2735 m and 2714 m, respectively. Accordingly, the elevation range was 1926 m for SRTMGL1 and 1903 m for AW3D30. These findings indicate that the two DEMs exhibited largely similar measures of central tendency and variability at the basin scale, while differences were observed particularly in the maximum elevation values.

Table 2. Descriptive statistics of elevation values for the SRTMGL1 and AW3D30 DEMs

Statistic	SRTMGL1	AW3D30
Number of valid cells	6983424	6983424
Minimum (m)	809	810
Maximum (m)	2735	2714
Mean (m)	1189.495	1190.096
Median (m)	1155	1154
Standard deviation (m)	267.367	267.326
Elevation range (m)	1926	1903

The comparison metrics for the cell-by-cell elevation differences between SRTMGL1 and AW3D30 are presented in Table 3. MBD between the two DEMs was −0.398 m, indicating that, on average, AW3D30 elevations were only 0.398 m lower than those of SRTMGL1 across the basin. The MAD, which represents the absolute magnitude of the elevation differences, was 3.818 m, while the RMSD, which assigns greater weight to larger differences, was 4.650 m. The standard deviation of the cell-by-cell differences was 4.633 m, while the minimum and maximum difference values were −138 m and 160 m, respectively. These results indicate that although the MBD across the basin was relatively small, more pronounced local elevation differences occurred at the cell level.

Table 3. Comparison metrics for elevation differences between the SRTMGL1 and AW3D30 digital elevation models

Metric	Value
MBD (m)	−0.398
MAD (m)	3.818
RMSD (m)	4.650
Minimum difference (m)	−138
Maximum difference (m)	160
Standard deviation of differences (m)	4.633

The spatial distribution of elevation differences between the two DEMs is shown in Figure 2. The difference values were not uniformly distributed across the basin, with positive and negative elevation differences exhibiting spatial variability.

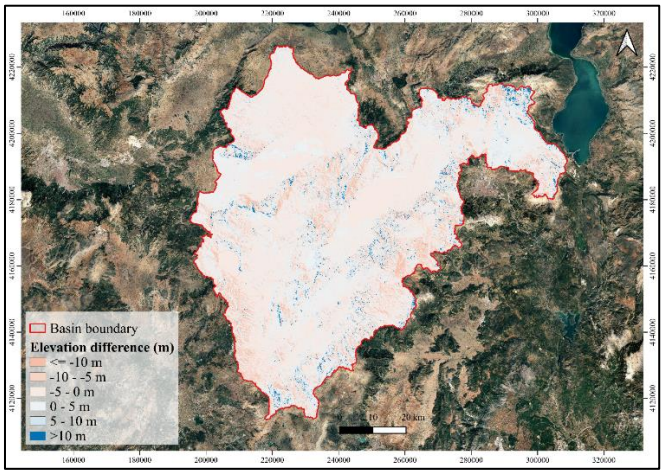


Figure 2. Spatial distribution of elevation differences between the AW3D30 and SRTMGL1 digital elevation models

3.2. Slope Characteristics

Examination of the descriptive statistics of the slope values derived from the SRTMGL1 and AW3D30 datasets showed that the mean slope was 8.274° for SRTMGL1 and 8.682° for AW3D30. The corresponding standard deviation values were 7.674° and 8.114°, respectively. While the minimum slope was 0° for both DEMs, the maximum slope was 73.076° for SRTMGL1 and 69.992° for AW3D30. Accordingly, AW3D30 exhibited a higher mean slope and greater slope variability across the basin compared with SRTMGL1.

Distinct differences between the two DEMs were observed in the spatial distribution of the slope classes. In SRTMGL1, the 0–5° and 5–15° slope classes accounted for 46.01% and 34.97% of the total valid area, respectively, whereas the corresponding proportions in AW3D30 were 45.11% and 33.51%. In contrast, the higher slope classes covered larger areas in AW3D30. The proportion of the 15–25° class increased from 15.22% in SRTMGL1 to 16.53% in AW3D30, while the proportion of the ≥25° class increased from 3.81% to 4.85%. This distribution is consistent with the higher mean slope determined for AW3D30 and indicates that DEM selection may lead to differences particularly in the spatial distribution of areas with higher slopes (Table 4).

Table 4. Spatial distribution of slope classes derived from SRTMGL1 and AW3D30

Slope class (°)	SRTMGL1 (km²)	SRTMGL1 (%)	AW3D30 (km²)	AW3D30 (%)
0–5	2879.646	46.01	2823.494	45.11
5–15	2188.562	34.97	2097.725	33.51
15–25	952.551	15.22	1034.681	16.53
≥25	238.482	3.81	303.342	4.85
Total	**6259.242**	**100.00**	**6259.242**	**100.00**

The spatial distribution of the slope classes exhibited a largely similar pattern across the basin between the two DEMs (Figure 3). However, local differences in class distributions were evident, particularly in areas characterized by moderate and steep slopes.

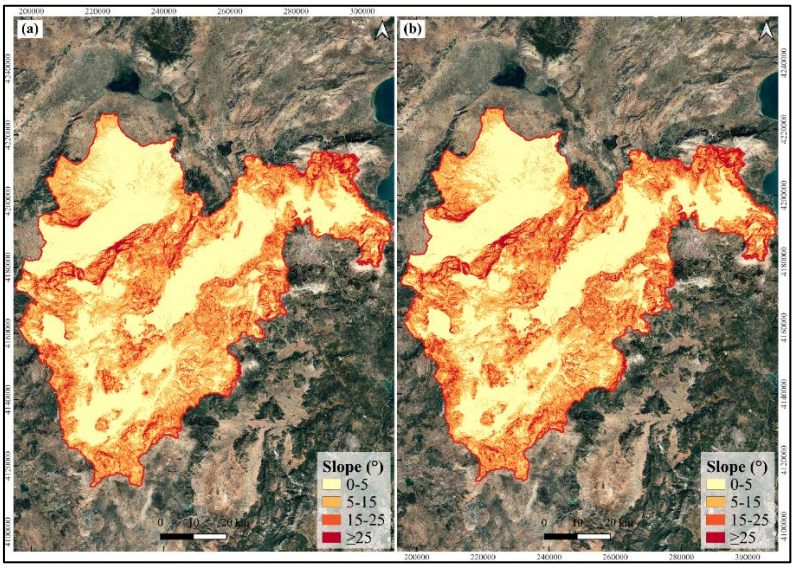


Figure 3. Spatial distribution of slope classes derived from SRTMGL1 (a) and AW3D30 (b) data in the Burdur Basin

3.3. Aspect Characteristics

Examination of the spatial distribution of the aspect classes showed that the directional distributions derived from the SRTMGL1 and AW3D30 datasets were generally similar (Table 5). In both DEMs, the highest proportion was observed for the southeast aspect, which accounted for 13.62% of the area with defined aspect in SRTMGL1 and 13.71% in AW3D30. This was followed by the northwest aspect, with corresponding proportions of 13.35% and 13.37%, respectively. The proportions of the other aspect classes were also similar between the two DEMs. The lowest proportions were observed for the northeast aspect, accounting for 11.66% and 11.65% in SRTMGL1 and AW3D30, respectively. These findings indicate that the basin-scale spatial distributions of the aspect classes derived from SRTMGL1 and AW3D30 were largely similar.

Table 5. Spatial distribution of aspect classes derived from SRTMGL1 and AW3D30

Aspect class	SRTMGL1 (km²)	SRTMGL1 (%)	AW3D30 (km²)	AW3D30 (%)
North (N)	725.137	12.36	726.746	12.18
Northeast (NE)	683.956	11.66	695.068	11.65
East (E)	702.115	11.97	721.569	12.09
Southeast (SE)	798.489	13.62	817.899	13.71
South (S)	754.011	12.86	765.383	12.83
Southwest	703.432	11.99	712.778	11.95
West (W)	714.460	12.18	729.741	12.23
Northwest	783.089	13.35	797.467	13.37
Total	**5864.689**	**100.00**	**5966.650**	**100.00**

The spatial distributions of the aspect classes within the basin are shown in Figure 4. The overall spatial pattern of the aspect classes was similar for both DEMs, although class-level differences were observed in some areas.

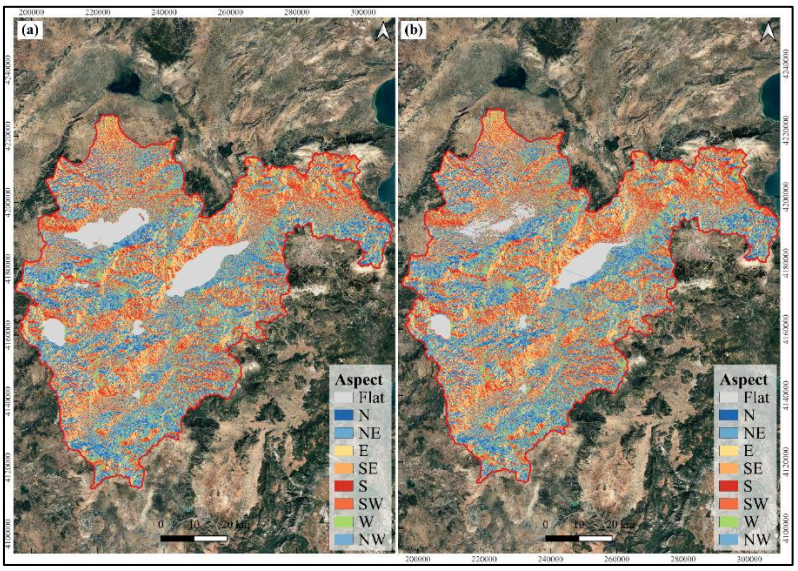


Figure 4. Spatial distribution of aspect classes derived from SRTMGL1 (a) and AW3D30 (b) data in the Burdur Basin

Topographic variability, which underlies many processes occurring on the land surface, is key to understanding changes across the Earth (Amatulli et al., 2018). Furthermore, the increasing availability of topographic information in the form of DEM data, which is also a critical component in watershed studies, has made important contributions to natural resource management and particularly to the modeling of hydrological processes (Tavares da Costa et al., 2019; Erdede and Bektaş, 2020).

However, DEMs obtained from different sources may produce different results in the characterization of watershed and topographic features even when they have the same spatial resolution (Tesema, 2021). Therefore, in DEM-based applications, it is important to consider the characteristics of the dataset used and its potential effects on derived topographic variables.

In this context, the comparison of topographic characteristics derived from SRTMGL1 and AW3D30 data for the Burdur Basin enabled an evaluation of the results produced at the basin scale by two different DEMs with the same spatial resolution. Although a relatively small mean bias difference (MBD = −0.398 m) was observed between SRTMGL1 and AW3D30 across the basin, the MAD and RMSD values of 3.818 and 4.650 m, respectively, indicate that differences between the two DEMs should not be evaluated solely on the basis of mean elevation values. Indeed, the occurrence of local differences ranging from −138 to 160 m in the difference raster demonstrates that, despite exhibiting similar overall elevation characteristics, the DEMs may contain spatial differences at the cell level. This finding is generally consistent with previous direct comparisons of AW3D30 and SRTM reported in the literature. Acharya et al. (2018) reported that although AW3D30 and SRTM30 generally exhibited similar characteristics, local inconsistencies could occur between them. Similarly, Yang et al. (2018) found a strong relationship and similar overall statistics between the two DEMs, while showing that greater local differences could occur particularly in rugged terrain. Therefore, the small mean difference observed in the Burdur Basin should not be interpreted as indicating that the two DEMs represent the same topographic surface at every cell.

The effect of DEM selection on topographic derivatives became more evident in the slope results. The higher mean slope derived from AW3D30 compared with SRTMGL1 (8.682° and 8.274°, respectively), together with the larger areas occupied by the 15–25° and ≥25° classes in AW3D30, demonstrates that even DEMs with similar spatial resolutions may produce different results for derived topographic variables. Uuemaa et al. (2020), in their evaluation of the performance of different global DEMs under varying topographic conditions, reported that slope was one of the most important topographic factors influencing DEM differences, whereas no clear relationship with aspect was identified. Carrera-Hernández (2021) also demonstrated that DEM differences may vary with increasing slope and that slope is an important factor in DEM evaluations. These findings support the significance of the differences observed among slope classes in the present study, while the highly similar percentage distributions of the eight aspect classes derived from SRTMGL1 and AW3D30 at the basin scale indicate that differences between the two DEMs are not reflected to the same extent in all topographic derivatives.

4. Conclusion

In this study, the elevation, slope, and aspect characteristics derived from the SRTMGL1 and AW3D30 digital elevation models within the Burdur Basin were compared under common spatial resolution and analysis conditions. The basic elevation statistics of the two DEMs were found to be highly similar at the basin scale; however, local cell-by-cell elevation differences were identified. Although the mean bias difference between the DEMs was small (MBD = −0.398 m), the MAD and RMSD values of 3.818 and 4.650 m, respectively, indicated that similarity in overall elevation characteristics does not imply complete agreement at the local scale. The slope analysis showed that AW3D30 produced a higher mean slope than SRTMGL1 and that slope classes above 15° covered larger areas in AW3D30. In contrast, the aspect distributions evaluated according to the eight cardinal and intercardinal direction classes were largely similar between the two DEMs at the basin scale.

The results demonstrate that although global DEMs with the same nominal spatial resolution may represent overall topographic characteristics similarly, DEM selection may influence cell-by-cell elevation differences and derived topographic variables, particularly slope. Therefore, in DEM-based studies, data selection should not be based solely on spatial resolution; the topographic variable to be used and the scale of the study should also be considered. However, because an independent and higher-accuracy reference elevation dataset was not used in this study, the findings do not establish the absolute accuracy of either SRTMGL1 or AW3D30; rather, they demonstrate the agreement and differences between the two datasets. Future studies incorporating high-accuracy reference elevation data obtained from GNSS, LiDAR, or similar sources may enable a separate assessment of the absolute vertical accuracy of the DEMs for the Burdur Basin.

References

Acharya, T. D., Yang, I. T. & Lee, D. H. (2018). Comparative analysis of digital elevation models between AW3D30, SRTM30 and airborne LiDAR: A case of Chuncheon, South Korea. *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, 36(1), 17–24. DOI: 10.7848/ksgpc.2018.36.1.17.

Alba-Fernández, M. V., Ariza-López, F. J., & Jiménez-Gamero, M. D. (2021). A New Approach to the Quality Control of Slope and Aspect Classes Derived from Digital Elevation Models. *Remote Sensing*, 13(11). https://doi.org/10.3390/rs13112069

Amatulli, G., Domisch, S., Tuanmu, M. N., Parmentier, B., Ranipeta, A., Malczyk, J., & Jetz, W. (2018). A suite of global, cross-scale topographic variables for environmental and biodiversity modeling. *Scientific Data*, 5(1), 180040. https://doi.org/10.1038/sdata.2018.40

Avtar, R., Komolafe, A. A., Kouser, A., Singh, D., Yunus, A. P., Dou, J., Kumar, P., Gupta, R. D., Johnson, B. A., Thu Minh, H. V., Aggarwal, A. K., & Kurniawan, T. A. (2020). Assessing sustainable development prospects through remote sensing: A review. *Remote Sensing Applications*, 20, 100402. https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100402

Carrera-Hernández, J. J. (2021). Not all DEMs are equal: An evaluation of six globally available 30 m resolution DEMs with geodetic benchmarks and LiDAR in Mexico. *Remote Sensing of Environment*, *261*, 112474. https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112474

Chymyrov, A. (2021). Comparison of different DEMs for hydrological studies in the mountainous areas. The *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 24(3), 587-594. https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2021.08.001

Courty, L. G., Soriano-Monzalvo, J. C., & Pedrozo-Acuña, A. (2017). Evaluation of open-access global digital elevation models (AW3D30, SRTM and ASTER) for flood modelling purposes. *Zenodo*. https://doi.org/10.5281/zenodo.885572

Del Rosario González-Moradas, M., Viveen, W., Andrés Vidal-Villalobos, R., & Carlos Villegas-Lanza, J. (2023). A performance comparison of SRTM v. 3.0, AW3D30, ASTER GDEM3, Copernicus and TanDEM-X for tectonogeomorphic analysis in the South American Andes. *CATENA*, 228, 107160. https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107160

Demir, S. (2024). Determination of suitable agricultural areas and current land use in Isparta Province, Türkiye, through a linear combination technique and geographic information systems. *Environment, Development and Sustainability, 26*, 13455–13493. https://doi.org/10.1007/s10668-023-04359-7

Erdede, S. B., & Bektaş, S. (2020). Examining The Interpolation Methods Used In Forming The Digital Elevation Models. *Celal Bayar University Journal of Science*, 16(2), 207-214. https://doi.org/10.18466/cbayarfbe.678176

Everest, T., Sungur, A., & Özcan, H. (2021). Determination of agricultural land suitability with a multiple-criteria decision-making method in Northwestern Turkey. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 18, 1073–1088. https://doi.org/10.1007/s13762-020-02869-9

Li, Y., Yang, X., & Long, W. (2013). Topographic Dependence of Cropland Transformation in China during the First Decade of the 21st Century. *The Scientific World Journal*, *2013*, 303685. https://doi.org/10.1155/2013/303685

Li, S., Hu, G., Cheng, X., Xiong, L., Tang, G., & Strobl, J. (2022). Integrating topographic knowledge into deep learning for the void-filling of digital elevation models. *Remote Sensing of Environment, 269*, 112818. https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112818

Ling, S., Zhao, S., Huang, J., & Zhang, X. (2022). Landslide susceptibility assessment using statistical and machine learning techniques: A case study in the upper reaches of the Minjiang River, southwestern China. *Frontiers in Earth Science*, 10, 986172. https://doi.org/10.3389/feart.2022.986172

Maxwell, A. E., & Shobe, C. M. (2022). Land-surface parameters for spatial predictive mapping and modeling. *Earth-Science Reviews*, 226, 103944. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.103944

NASA JPL. (2013). *NASA Shuttle Radar Topography Mission Global 1 arc second* [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center. https://doi.org/10.5067/MEaSUREs/SRTM/SRTMGL1.003

Polidori, L., & Hage, M. E. (2020). Digital Elevation Model Quality Assessment Methods: A Critical Review. *Remote Sensing*, 12(21). https://doi.org/10.3390/rs12213522

Riihelä, A., Kallio, V., Devraj, S., Sharma, A., & Lindfors, A. V. (2018). Validation of the SARAH-E Satellite-Based Surface Solar Radiation Estimates over India. Remote Sensing, 10(3). https://doi.org/10.3390/rs10030392

Rodríguez-Veiga, P., Carreiras, J., Smallman, T. L., Exbrayat, J. F., Ndambiri, J., Mutwiri, F., Nyasaka, D., Quegan, S., Williams, M., & Balzter, H. (2020). Carbon Stocks and Fluxes in Kenyan Forests and Wooded Grasslands Derived from Earth Observation and Model-Data Fusion. Remote Sensing, 12(15). https://doi.org/10.3390/rs12152380

Takaku, J., Tadono, T., Doutsu, M., Ohgushi, F., & Kai, H. (2020). Updates of 'AW3D30' ALOS Global Digital Surface Model with other open access datasets. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLIII-B4-2020, 183–189. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B4-2020-183-2020

Tavares da Costa, R., Mazzoli, P., & Bagli, S. (2019). Limitations posed by free DEMs in watershed studies: The case of River Tanaro in Italy. *Frontiers in Earth Science, 7*, 141. https://doi.org/10.3389/feart.2019.00141

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı (2020). Nehir Havza Yönetim Planları. https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/NEH%C4%B0R%20HAVZA%20Y%C3%96NET%C4%B0M%20PLANLARI%2028.12.2022/Burdur%20Havzas%C4%B1%20NHYP%2028.12.2018/BUN_NHYP%20Nihai%20Raporu.pdf

Tesema, T. A. (2021). Impact of identical digital elevation model resolution and sources on morphometric parameters of Tena watershed, Ethiopia. *Heliyon*, 7(11), e08345. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08345

Uuemaa, E., Ahi, S., Montibeller, B., Muru, M., & Kmoch, A. (2020). Vertical accuracy of freely available global digital elevation models (ASTER, AW3D30, MERIT, TanDEM-X, SRTM, and NASADEM). *Remote Sensing, 12*(21), 3482. https://doi.org/10.3390/rs12213482

USGS (2020). Lidar Base Specification: Glossary. https://www.usgs.gov/ngp-standards-and-specifications/lidar-base-specification-glossary

Wu, B., Zhang, M., Zeng, H., Tian, F., Potgieter, A. B., Qin, X., Yan, N., Chang, S., Zhao, Y., Dong, Q., Boken, V., Plotnikov, D., Guo, H., Wu, F., Zhao, H., Deronde, B., Tits, L., &

Loupian, E. (2023). Challenges and opportunities in remote sensing-based crop monitoring: A review. *National Science Review*, 10(4). https://doi.org/10.1093/nsr/nwac290

Yang, I. T., Lee, D. H., Acharya, T. D. & Han, D. S. (2018). AW3D30 and SRTM30 Digital Elevation Models—Comparison around coastal islands in Gyeongsangnam-do, South Korea. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies, 21(2), 34–43. DOI: 10.11108/kagis.2018.21.2.034.

HİNT HARDALININ ENERJİ BİTKİSİ OLARAK KULLANIM POTANSİYELİ

POTENTIAL OF INDIAN MUSTARD AS AN ENERGY CROP

Neslişah ÖZMEN
Department of Field Crops, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Bursa Uludağ University, Bursa, Türkiye.
ORCID ID: 0009-0006-4985-2281

Mehmet SİNCİK
Department of Field Crops, Faculty of Agriculture, Bursa Uludağ University, Bursa, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-1568-2564

Özet
Bu çalışmada Hint hardalının (Brassica juncea) enerji bitkisi olarak kullanım potansiyeli; bitkinin botanik ve ekolojik özellikleri, verim ve yağ içeriği, yağ asidi kompozisyonu, biyodizel üretimindeki kullanılabilirliği, işleme sonrası ortaya çıkan yan ürünlerin enerjiye dönüştürülmesi, çevresel etkileri ve kırsal kalkınmaya katkıları açısından değerlendirilmiştir.
Literatürde yer alan çalışmalar, Hint hardalının kuraklık ve sıcaklık stresine belirli ölçüde dayanıklı olması, marjinal alanlarda yetiştirilebilmesi ve tohumlarında yüksek oranda yağ bulunması nedeniyle alternatif bir enerji hammaddesi olabileceğini göstermektedir. Bitkinin yağından biyodizel üretiminde uygun proses koşullarıyla yüksek dönüşüm elde edilebilmekte; pres küspesi ve sap gibi yan ürünler de biyokütle enerjisi amacıyla değerlendirilebilmektedir. Türkiye açısından Hint hardalının enerji bağımsızlığına, kırsal ekonomik çeşitliliğe ve marjinal arazilerin değerlendirilmesine katkı sağlayabilecek bir alternatif olarak araştırılması önemlidir. Bununla birlikte çeşit adaptasyonu, yerli ıslah, çiftçi farkındalığı, işleme altyapısı ve destek politikaları geliştirilmesi gereken başlıca alanlardır.
Anahtar Kelimeler: Hint hardalı, Brassica juncea, enerji bitkisi, biyodizel, biyokütle, kırsal kalkınma

Abstract
This study evaluates the potential of Indian mustard (Brassica juncea) as an energy crop with respect to its botanical and ecological characteristics, yield and oil content, fatty acid composition, biodiesel production, utilization of processing residues, environmental effects and contribution to rural development. Literature indicates that Indian mustard may be a promising alternative feedstock because of its relative tolerance to drought and heat, ability to grow on marginal lands and high seed oil content. Biodiesel can be produced from its oil under suitable process conditions, while residues such as press cake and straw may also be utilized for bioenergy.
For Türkiye, the crop deserves further investigation because of its potential contribution to energy independence, rural diversification and the use of marginal lands. However, cultivar adaptation, domestic breeding, farmer awareness, processing infrastructure and policy support remain important challenges.
Keywords: Indian mustard, Brassica juncea, energy crop, biodiesel, biomass, rural development

1. Giriş

Enerji ihtiyacının artması, fosil yakıt rezervlerinin sınırlı olması ve iklim değişikliğinin etkilerinin belirginleşmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesini önemli hale getirmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş, rüzgâr, hidroelektrik, jeotermal ve biyokütle enerjisi yer almaktadır. Biyokütle enerjisi; tarımsal ve hayvansal atıklar, kentsel organik atıklar, tarıma dayalı sanayi atıkları ve enerji amacıyla yetiştirilen bitkilerden elde edilebilmektedir.
Enerji bitkileri, düşük girdi ve bakım gereksinimleriyle katı, sıvı veya gaz biyoyakıtların üretiminde kullanılabilen tarımsal hammaddelerdir. Yağlı tohumlu bitkiler içerisinde Hint hardalı (Brassica juncea) yüksek yağ içeriği, farklı iklim koşullarına uyum yeteneği ve marjinal alanlarda yetişebilme potansiyeli nedeniyle dikkat çekmektedir. Bitkinin yağı biyodizel üretiminde değerlendirilebildiği gibi, işleme sonrasında ortaya çıkan pres küspesi ve sap gibi yan ürünlerin de enerji üretiminde kullanılması mümkün olabilmektedir.

Bu özellikler, Hint hardalını yalnızca bir yağ bitkisi değil, bütüncül bir biyokütle kaynağı olarak değerlendirmeyi mümkün kılmaktadır.Bu çalışmanın amacı, Hint hardalının enerji bitkisi olarak kullanım potansiyelini literatür bilgileri doğrultusunda incelemek ve özellikle Türkiye açısından sağlayabileceği fırsatları ve karşılaşılabilecek başlıca sorunları ortaya koymaktır.

2. Materyal ve Yöntem

Çalışmada, seminer kapsamında derlenen bilimsel yayınlar, akademik kaynaklar ve teknik dokümanlardan yararlanılmıştır. İnceleme; Hint hardalının botanik özellikleri, iklim ve toprak istekleri, tane ve yağ verimi, yağ asidi kompozisyonu, biyodizel üretim koşulları, diğer enerji bitkileriyle karşılaştırılması, yan ürünlerin değerlendirilmesi, çevresel etkileri ve kırsal kalkınma boyutlarını kapsayacak şekilde yürütülmüştür. Ayrıca Kanada ve Avustralya koşullarında gerçekleştirilen tarla araştırmaları ile biyodizel üretiminde proses optimizasyonuna yönelik çalışmalar değerlendirilmiştir. Elde edilen bilgiler konu başlıkları altında sentezlenerek Türkiye koşulları açısından yorumlanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Botanik Özellikler ve Enerji Bitkisi Olarak Önemi

Hint hardalı, Brassica cinsine ait bir yağ bitkisidir. Brassica nigra ile Brassica rapa kökenlerinin doğal melezlenmesi ve kromozom sayısının iki katına çıkmasıyla oluştuğu kabul edilmektedir. Bitkinin orijin merkezinin Batı Asya, özellikle Afganistan, İran ve Irak çevresi olduğu bildirilmektedir. Geleneksel olarak farklı kullanım alanlarına sahip olan tür, günümüzde yağ kalitesinin geliştirilmesi ve kurak koşullara uyum sağlayabilen çeşitlerin elde edilmesi amacıyla da araştırılmaktadır.

Hint hardalının enerji bitkisi olarak önemini artıran temel özellikler; tohumlarında yüksek oranda yağ bulunması, kuraklık ve sıcaklık stresine belirli düzeyde dayanıklılık göstermesi, zayıf ve marjinal topraklarda yetişebilmesi ve bazı hastalık ve zararlılara karşı kolzaya göre daha dayanıklı olabilmesidir. Bu özellikler özellikle kuraklık riski yüksek bölgelerde alternatif yağ bitkilerine duyulan ihtiyaca cevap verebilir.

3.2. İklim ve Toprak İstekleri

Hint hardalı ılıman iklim koşullarında yetişebilen bir bitkidir. Çimlenme için yaklaşık 15–30 °C aralığı uygun kabul edilirken gelişme döneminde optimum sıcaklık yaklaşık 18–25 °C civarındadır. Bitki düşük sıcaklıklara belirli ölçüde dayanabilmekte ve kısa gün koşullarında daha hızlı generatif gelişim gösterebilmektedir. Çeşide bağlı olarak yetişme süresi yaklaşık 90–120 gün arasında değişebilmektedir. Toprak bakımından drenajı iyi, organik maddece zengin ve nötr ya da hafif alkali özellikteki alanlar uygundur. Yaklaşık pH 6,0–7,5 aralığı uygun kabul edilmekte; tınlı, killi-tınlı ve kumlu-tınlı topraklarda yetiştiricilik yapılabilmektedir. Bu durum, bitkinin farklı üretim alanlarında değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

3.3. Verim Potansiyeli ve Tarla Araştırmaları

Düşük yağışlı ortamlarda ilkbahar başında yapılan ekimlerin Hint hardalı ve kolzada daha yüksek verim sağlayabildiği bildirilmektedir. Hint hardalı kolzaya göre daha fazla kuru madde oluşturabilse de kuru maddenin tohum verimine dönüşümündeki farklılıklar nedeniyle yüksek biyokütle her zaman yüksek tohum verimi anlamına gelmemektedir. Seminerde derlenen verilere göre tohumların yağ oranı yaklaşık %37,3–40,0, protein oranı ise %22,6–28,5 arasında değişmiştir.

Blackshaw ve ark. (2011) tarafından Kanada koşullarında yürütülen çalışmalarda farklı yağlı tohum bitkileri karşılaştırılmıştır. Birinci yılda tane verimleri yaklaşık 144–415 kg/da, ikinci yılda 157–358 kg/da arasında değişmiştir. İkinci yılda en yüksek verim Hint hardalında yaklaşık 358 kg/da olarak bildirilmiş ve biyodizel performansı açısından da Hint hardalı başarılı alternatiflerden biri olarak değerlendirilmiştir.

Wilkes ve ark. (2013) tarafından Avustralya'da gerçekleştirilen araştırmalar, ekim tarihinin Hint hardalının verimi ve yağ içeriği üzerinde önemli etkisi olduğunu göstermiştir. Erken ekimin geç ekime göre 130 kg/da'dan daha fazla verim artışı sağlayabildiği; yüksek sıcaklıklara maruz kalınan geç ekim koşullarında ise genotip ve fenolojik özelliklerin verim farklılıklarında etkili olduğu belirtilmiştir.

3.4. Yağ Asidi Kompozisyonu ve Biyodizel Üretimi

Brassica juncea tohumlarında yaklaşık %30–50 arasında değişebilen yağ içeriği bulunmaktadır.

Yağ asidi profili içinde erüsik asidin yüksek oranlarda bulunabilmesi, yağı bazı gıda dışı endüstriyel uygulamalar için değerli kılarken gıda amaçlı kullanım açısından sınırlayıcı olabilmektedir. Bu nedenle düşük erüsik asitli, kanola tipi çeşitlerin geliştirilmesine yönelik ıslah çalışmaları sürdürülmektedir.
Chakraborty ve ark. (2014) tarafından yürütülen çalışmada Hint hardalı yağından biyodizel üretimi için proses koşulları yanıt yüzey metodolojisi kullanılarak optimize edilmiştir. Uygun metanoliz koşullarında biyodizel veriminin %60'ın üzerine çıkabildiği; katalizör tipi, metanol/yağ oranı, sıcaklık ve katalizör konsantrasyonunun dönüşüm üzerinde etkili olduğu bildirilmektedir. Heterojen baz katalizörlerin kullanılması, katalizörün geri kazanılabilmesi ve proses maliyetlerinin azaltılması bakımından ayrıca önem taşımaktadır. Elde edilen biyodizelin özellikleri uygun proses koşullarında ASTM D6751 ve EN 14214 gibi kalite standartlarıyla karşılaştırılabilmektedir.

3.5. Diğer Enerji Bitkileriyle Karşılaştırma

Hint hardalının önemli avantajlarından biri, kuraklık ve yüksek sıcaklık koşullarına kolzaya göre daha iyi uyum gösterebilmesidir. Ayrıca kapsül çatlaması ve bazı hastalıklara karşı dayanıklılığı nedeniyle üretim riskinin azaltılmasına katkı sağlayabilir. Buna karşılık kolza uygun koşullarda daha yüksek yağ verimi sağlayabilmektedir. Türkiye'de yemeklik yağ açığının bulunması nedeniyle yüksek kaliteli yemeklik yağ sağlayan bitkilerin biyodizel amacıyla kullanımında gıda-yakıt rekabeti dikkate alınmalıdır. Bu açıdan, gıda dışı kullanım için yetiştirilebilen Hint hardalı yerli ve düşük maliyetli bir biyodizel hammaddesi olarak değerlendirilebilir.

3.6. Atık Ürünlerin Enerji Üretiminde Kullanımı

Hint hardalının enerji potansiyeli yalnızca tohum yağından ibaret değildir. Yağın çıkarılması sonrasında oluşan pres küspesi ile bitkinin sap ve diğer biyokütle kısımları da enerji üretiminde değerlendirilebilir. Pres küspesinin piroliz gibi termokimyasal yöntemlerle enerjiye dönüştürülmesi, ürünün toplam enerji değerinin artırılmasına ve atık miktarının azaltılmasına katkı sağlayabilir. Yan ürünlerin kömür yerine biyokütle yakıtı olarak kullanılması da karbon ayak izinin azaltılmasına ve döngüsel bir tarım-enerji sisteminin kurulmasına yardımcı olabilir.

3.7. Çevresel Etkiler ve Kırsal Kalkınma

Seminerde derlenen bilgilere göre biyodizel kullanımının fosil yakıtlara kıyasla sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde azaltma potansiyeli bulunmaktadır. Bununla birlikte gerçek çevresel performans; yetiştirme girdileri, taşıma, yağ çıkarma, biyodizel dönüşümü ve yan ürünlerin değerlendirilmesi gibi yaşam döngüsünün tüm aşamalarına bağlıdır. Hint hardalının marjinal alanlarda yetiştirilebilmesi, su kaynaklarının daha sınırlı olduğu bölgelerde alternatif oluşturabilmesi ve münavebe sistemlerine dahil edilebilmesi çevresel açıdan olumlu özelliklerdir.
Biyodizel üretimine yönelik yerel ve küçük ölçekli tesislerin kurulması; taşıma, depolama, işleme ve tarımsal mekanizasyon gibi alanlarda doğrudan ve dolaylı istihdam oluşturabilir. Kooperatif tipi üretim modelleri kırsal gelir çeşitliliğini destekleyebilir. Münavebe bitkisi olarak kullanılması ise toprak yapısı, yabancı ot ve hastalık yönetimi bakımından ek katkılar sağlayabilir.

3.8. Dünyada Kullanım ve Türkiye'deki Potansiyel

Hint hardalı başta Hindistan olmak üzere Kanada, Amerika Birleşik Devletleri, Arjantin ve Avustralya gibi ülkelerde araştırma ve üretim faaliyetlerinde öne çıkmaktadır. Bu ülkelerde bitkinin kuraklık toleransı, yağlı tohum üretimi ve biyodizel potansiyeli farklı yönleriyle incelenmiştir.
Türkiye'de ise Hint hardalının enerji bitkisi olarak değerlendirilmesi henüz sınırlı düzeydedir. Uygun iklim ve toprak koşullarının belirlenmesi, yağ ve biyodizel veriminin ortaya konulması, yan ürünlerin değerlendirilmesi ve kırsal kalkınma katkısının araştırılması önemli fırsatlar sunmaktadır. Buna karşılık yerli Ar-Ge ve çeşit geliştirme eksikliği, çiftçi bilgi düzeyinin sınırlı olması, işleme ve pazarlama altyapısının yetersizliği ve destek politikalarının geliştirilmemiş olması temel zorluklar arasında yer almaktadır.

3.9. Ar-Ge ve Islah Çalışmalarının Rolü

Enerji amacıyla kullanılacak Hint hardalı çeşitlerinde yalnızca tohum yağının değil toplam biyokütle üretiminin de dikkate alınması gerekmektedir. Bu nedenle hızlı gelişen, boylu, yüksek dallanma kapasitesine sahip ve hastalık-zararlılara dayanıklı hatların geliştirilmesi önemlidir.

Islah programlarında kuraklık, tuzluluk ve yüksek sıcaklık streslerine dayanıklılık ile birlikte yağ oranının artırılması hedeflenmektedir.
Hindistan, Kanada ve Avustralya'da seçilim yoluyla geliştirilen hatların belirli ılıman-kurak bölgelerde daha stabil verim gösterebildiği bildirilmektedir. Türkiye'de ise çeşit adaptasyon denemeleri, yerli ıslah hatlarının geliştirilmesi, pilot biyodizel üretim tesisleri ve yaşam döngüsü analizlerinin birlikte yürütülmesi, bitkinin gerçek enerji ve ekonomik değerinin belirlenmesine katkı sağlayacaktır.

4. Sonuç ve Öneriler

Hint hardalı (Brassica juncea), yüksek yağ içeriği, kuraklık ve sıcaklık streslerine belirli düzeyde dayanıklılığı, marjinal alanlarda yetişebilme özelliği ve biyodizel üretimine uygunluğu nedeniyle alternatif bir enerji bitkisi olarak değerlendirilebilir. Bitkinin enerji değerini yalnızca yağ üretimi üzerinden değil, pres küspesi ve diğer biyokütle kısımlarının da sisteme dahil edildiği bütüncül bir yaklaşımla ele almak gerekmektedir.
Türkiye açısından Hint hardalı; enerji hammaddesi çeşitlendirmesi, gıda-yakıt rekabetinin azaltılması, marjinal arazilerin değerlendirilmesi ve kırsal ekonominin çeşitlendirilmesi bakımından fırsat sunmaktadır. Bununla birlikte geniş ölçekli üretime geçmeden önce bölgesel adaptasyon, verim ve yağ verimi, biyodizel kalitesi, su ve gübre gereksinimleri ile ekonomik ve çevresel performansın belirlenmesi gereklidir.
Gelecekte; (i) farklı ekolojik bölgelerde çeşit ve ekim zamanı denemeleri yapılması, (ii) kuraklık ve sıcaklık stresine dayanıklı yerli hatların geliştirilmesi, (iii) düşük erüsik asitli ve yüksek yağlı çeşitlerin ıslah edilmesi, (iv) pres küspesi ve sap gibi yan ürünlerin enerjiye dönüştürülmesine yönelik pilot çalışmalar yürütülmesi, (v) küçük ölçekli biyodizel üretim modellerinin ekonomik açıdan incelenmesi ve (vi) çiftçilere yönelik teknik destek ve uygun politika mekanizmalarının geliştirilmesi önerilmektedir. Bu adımların atılması halinde Hint hardalı, Türkiye'nin sürdürülebilir biyoyakıt ve kırsal kalkınma hedeflerine katkı sağlayabilecek tamamlayıcı bir enerji bitkisi olabilir.

Teşekkür ve Bilgilendirme Notu

Bu tam metin, "Hint Hardalının Enerji Bitkisi Olarak Kullanım Potansiyeli" başlıklı seminer sunumundaki içeriklerin, verilen örnek tam metin formatına uygun akademik metin düzenine dönüştürülmesiyle hazırlanmıştır. Çalışmada kullanılan bilgiler seminer dosyasında yer alan kaynak ve araştırmalara dayanmaktadır.

Kaynaklar

Aysal, P., Küçük, M. M. & Demirbaş, A. (2014). Hardal yağından biyodizel üretiminin optimizasyonu. Uluslararası Katı Atık, Su ve Atık Su Kongresi, İstanbul.
Blackshaw, R. E. ve ark. (2011). Kanada koşullarında farklı yağ bitkilerinin verim ve biyodizel potansiyeline ilişkin araştırmalar.
Chakraborty, R. ve ark. (2014). Hint hardalı yağından biyodizel üretimi ve proses koşullarının optimizasyonuna ilişkin çalışma.
Demirbaş, A. (2006). Biodiesel: A Realistic Fuel Alternative for Diesel Engines. Springer Science & Business Media.
EN 14214:2012. Automotive fuels — Fatty acid methyl esters (FAME) for diesel engines — Requirements and test methods. European Committee for Standardization (CEN).
Wilkes, M. A. ve ark. (2013). Avustralya koşullarında Hint hardalında ekim tarihi, verim ve yağ içeriği üzerine araştırmalar.
University of Bursa Uludağ Open Access Repository. Hint hardalı ve biyodizel üretimine ilişkin akademik kaynaklar.
MDPI Sustainability, 14(16), 10188. Hint hardalı ve sürdürülebilir enerji/çevre konularına ilişkin çalışma.
PlantNet. Brassica juncea tür bilgileri.
ScienceDirect. Hint hardalı yağı ve biyodizel üretimine ilişkin araştırmalar.
Springer. Brassica juncea ve biyoyakıt üretimine ilişkin akademik yayınlar.
IJCMSAS. Brassica türleri ve biyodizel üretimine ilişkin araştırmalar.

KENAF BİTKİSİNİN ÖNEMİ VE KULLANIM ALANLARI

THE IMPORTANCE AND USAGE AREAS OF THE KENAF PLANT

Sena ÇELİK
Department of Field Crops, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Bursa Uludağ University, Bursa, Türkiye.
ORCID ID: 0009-0006-4985-2281

Mehmet SİNCİK
Department of Field Crops, Faculty of Agriculture, Bursa Uludağ University, Bursa, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-1568-2564

Özet
Günümüzün endüstriyel dünyasında sürdürülebilirlik ve biyobazlı hammaddelere yönelim, küresel ekosistemin korunması açısından hayati bir önem taşımaktadır. Hibiscus cannabinus L. (Kenaf), hızlı büyüme periyodu, yüksek biyokütle verimi ve olağanüstü karbon sekestrasyon kapasitesi ile 'yeşil endüstrinin geleceği' olarak nitelendirilmektedir. Bu çalışmada, kenaf bitkisinin lignoselülozik anatomisi, kimyasal bileşenleri ve çok boyutlu endüstriyel kullanım alanları derinlemesine analiz edilmektedir. Bast ve core liflerinin sağladığı mekanik mukavemet ve hafiflik özellikleri; otomotiv, inşaat, kağıt ve enerji sektörlerinde teknolojik bir paradigma değişimi yaratmaktadır. Makale, kenafın sadece bir tarım ürünü değil, döngüsel ekonominin ve net-sıfır emisyon hedeflerinin stratejik bir bileşeni olduğunu bilimsel parametrelerle kanıtlamayı amaçlamaktadır.
Anahtar Kelimeler: Kenaf, Lignoselülozik Lifler, Biyokompozitler, Karbon Ayak İzi, Sürdürülebilir Endüstri.

Abstract
In today's industrial world, the shift towards sustainability and bio-based raw materials is vital for protecting the global ecosystem. Hibiscus cannabinus L. (Kenaf) is characterized as the 'future of the green industry' due to its rapid growth period, high biomass yield, and extraordinary carbon sequestration capacity. This study analyzes the lignocellulosic anatomy, chemical components, and multidimensional industrial usage areas of the kenaf plant.
The mechanical strength and lightweight properties provided by bast and core fibers create a technological paradigm shift in the automotive, construction, paper, and energy sectors. The article aims to prove with scientific parameters that kenaf is not just an agricultural product, but a strategic component of the circular economy and net-zero emission targets.

1. Giriş: Bir Biyo-Stratejik Materyal Olarak Kenaf

Fosil yakıtlara dayalı polimerlerin çevresel maliyetlerinin sürdürülemez bir noktaya ulaşması, akademi ve sanayi dünyasını yenilenebilir hammadde arayışına itmiştir. Bu bağlamda Hibiscus cannabinus L. (Kenaf), hem yüksek fotosentetik verimliliği (C4 mekanizması) hem de agro-endüstriyel esnekliği ile dikkat çeken bir bitkidir. Afrika kökenli olan bu tek yıllık bitki, ekiminden sadece 120-150 gün sonra tam olgunluğa erişerek 4-6 metre boya ulaşabilmektedir.
Bu hızlı büyüme kinetiği, bitkiyi yıllık biyokütle arzı açısından rakipsiz kılmaktadır.Kenaf gövdesi, morfolojik olarak iki farklı lif yapısını barındıran kompleks bir matristir. Dış kabukta bulunan uzun lifler (bast fiber), yumuşak odunsu liflerin mukavemet değerlerini sergilerken; iç kısımdaki odunsu çekirdek (core fiber), düşük dansiteli ve yüksek gözenekli yapısıyla teknik uygulamalarda benzersiz avantajlar sunar. Bu ikili yapı, kenafın bütüncül (whole-plant) kullanım prensibine dayalı olarak atıksız bir üretim modeli sunmasını sağlar.

2. Kimyasal ve Anatomik Karakterizasyon

Kenaf liflerinin endüstriyel performansı, hücre duvarı bileşimindeki lignoselülozik oranlar ile doğrudan korelasyon içerisindedir. Literatürdeki son bulgulara göre, bast liflerinin selüloz içeriği %55 ile %62 arasında değişmekte, bu da bitkiye yüksek tensil dayanımı kazandırmaktadır.

Lignin içeriğinin (%9-12) ağaç türlerine göre daha düşük olması, kimyasal hamurlaştırma (pulping) süreçlerinde enerji tüketimini minimize ederken, hemiselüloz oranı (%18-24) lifler arası bağlanma kuvvetini optimize etmektedir.

Anatomik olarak, core liflerinin sahip olduğu yüksek lümen genişliği ve ince hücre duvarları, bitkiye üstün bir termal izolasyon ve akustik absorpsiyon kapasitesi sağlar. Bu fizyokimyasal profil, kenafı sadece tekstil için değil, ileri teknoloji kompozit malzemeler için de birincil aday haline getirmektedir.

3. Endüstriyel Uygulama Spektrumu ve İnovasyon

3.1. Otomotiv Mühendisliği ve Biyokompozit Devrimi: Otomotiv endüstrisi, yakıt ekonomisini artırmak ve karbon salınımını azaltmak amacıyla araç ağırlığını düşürme baskısı altındadır. Kenaf takviyeli polipropilen (PP) matrisler, cam elyafı takviyeli sistemlere göre %25 daha hafif olup, çarpışma enerjisi emiliminde daha yüksek performans sergilemektedir. Günümüzde önde gelen otomobil üreticileri, kapı panelleri, tavan döşemeleri ve gösterge tablolarında kenafı standart bir biyomateryal olarak kabul etmektedir.

3.2. Sürdürülebilir Kağıt ve Selüloz Teknolojisi: Dünyadaki ormansızlaşma (deforestation) sorunu, ağaç dışı selüloz kaynaklarını stratejik bir gereklilik haline getirmiştir. Kenaf, hektar başına ormanlardan 3 ila 5 kat daha fazla lif üretme kapasitesine sahiptir. Düşük lignin yapısı sayesinde, ağartma (bleaching) süreçlerinde klor kullanımını azaltarak çevre dostu 'Ecf/Tcf' kağıt üretimini mümkün kılar.

3.3. Biyo-İnşaat ve Akıllı Yapı Malzemeleri: Kenaf core lifleri, betonarme yapılar için hafif agrega ve izolasyon paneli üretiminde kullanılmaktadır. Biyokompozit levhalar (Kenaf-MDF), geleneksel ahşap levhalara göre neme daha dayanıklı ve formaldehit emisyonu içermeyen daha sağlıklı iç mekanlar yaratılmasına olanak tanır.

4. Döngüsel Ekonomi ve Ekolojik Restorasyon

Kenafın çevresel etkisi, üretim aşamasından bertaraf aşamasına kadar pozitif bir grafik çizer. Karbon sekestrasyonu açısından incelendiğinde, kenaf bitkisi fotosentez yoluyla atmosferden hektar başına yıllık ortalama 30-50 ton CO2 absorbe eder. Bu rakam, endüstriyel bitkiler arasındaki en yüksek değerlerden biridir.

Ayrıca, topraktaki ağır metalleri (biyoremidasyon) bünyesinde toplayarak kirli tarım arazilerinin temizlenmesinde biyo-filtre görevi görür.Döngüsel ekonomi bağlamında, kenaf bazlı ürünler kullanım ömrü sonunda biyobozunur özellik göstererek mikroplastik kirliliğinin önüne geçer. Bu ekosistemik döngü, kenafı 'cradle-to-cradle' (beşikten beşiğe) tasarım felsefesinin en güçlü temsilcisi yapmaktadır.

5. Türkiye Perspektifi: Agro-Endüstriyel Fırsatlar

Türkiye, iklimsel çeşitliliği ve güçlü sanayi altyapısı ile kenaf üretiminde bölgesel bir merkez olma potansiyeline sahiptir. Özellikle Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri, bitkinin termal ihtiyaçlarını karşılayan ideal ekolojilere sahiptir.

Türkiye'nin yerli otomobil girişimi ve gelişmiş tekstil sektörü, kenaf lifi için hazır bir talep oluşturmaktadır. Yerli üretimin teşvik edilmesi, ithal endüstriyel lif bağımlılığını azaltacak ve kırsal kalkınmayı destekleyen yüksek katma değerli bir model sunacaktır.

6. Sonuç ve Gelecek Vizyonu

Sonuç olarak Hibiscus cannabinus L., 21. yüzyılın biyo-ekonomi stratejilerinde merkezi bir rol oynamaya adaydır. Teknik özellikleri, çevresel faydaları ve geniş endüstriyel uygulama spektrumu ile kenaf, petrol türevli malzemelere karşı gerçekçi ve sürdürülebilir tek alternatiftir.

Akademik çalışmaların laboratuvar ölçeğinden endüstriyel ölçekli üretime aktarılması, 'Yeşil Mutabakat' (Green Deal) hedeflerine ulaşmada kritik bir basamak olacaktır. Bu bitki, sadece bir hammadde değil, doğa ile teknolojinin uyum içerisinde olduğu yeni bir endüstriyel çağın sembolüdür

Kaynakça

Akin, D. E. (2010). 'Plant Fibers: Botany, Chemistry and Processing for Industrial Applications', Wiley-VCH.

Monti, A. & Alexopoulou, E. (2013). 'Kenaf: A Multi-Purpose Crop for Several Industrial Applications', Springer Science.

Webber, C. L., et al. (2015). 'Kenaf (Hibiscus cannabinus L.) Production and Utilization', USDA Research Report.

Yazıcı, H. & Öztürk, H. (2023). 'Endüstriyel Bitkilerin Kompozit Sektöründeki Yeri', Akademik Ziraat Dergisi.

International Jute Study Group (2024). 'Global Trends in Kenaf and Allied Fibers Market Analysis'.

KANATLIDA KULLANILAN PROBİYOTİKLER, PREBİYOTİKLER VE POSTBİYOTİKLER

PROBIOTICS, PREBIOTICS, AND POSTBIOTICS IN POULTRY

Veterinarian Sena ÇELİK
Department of Animal Nutrition and Nutritional Diseases, Institute of Health Sciences, Kırıkkale University, Kırıkkale, Türkiye.
ORCID ID: 0009-0005-7933-711X

Asst. Prof. Dr. Gökhan ŞEN
Faculty of Veterinary Medicine, Kırıkkale University, Kırıkkale, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-6222-6986

Abstract
Due to the rapid growth of the world's population and the corresponding increase in the demand for animal protein sources, it has become imperative to make animal production more efficient, sustainable, and safer. With the ban on antibiotics due to concerns about antimicrobial resistance and public health, the search for reliable feed additives has gained momentum. The purpose of this review is to examine the characteristics, production methods, mechanisms of action, and effects of postbiotics a new generation of biotics on poultry gut health and performance as an alternative to antibiotics. The materials and methods of this study consist of a comprehensive literature review in which postbiotics are evaluated in comparison with probiotics, prebiotics, and synbiotics. According to the literature findings, postbiotics which contain inactivated microbial cells, cell wall components (peptidoglycan, lipoteichoic acid) and fermentation metabolites (short-chain fatty acids, bacteriocins, and organic acids), offer significant advantages over live probiotics. Because they do not contain live microorganisms, they eliminate biological risks such as microbial translocation and virulence reversion. Furthermore, their high heat resistance ensures that they maintain their structural stability and biological activity during high-temperature feed pelleting processes (70–90°C), and they can be industrially standardized with a long shelf life. Findings indicate that postbiotics improve poultry gut health by inhibiting pathogens such as Salmonella and E. coli through competitive exclusion, and by strengthening intestinal barrier integrity via increased mucin production and the regulation of tight junction proteins. Additionally, they support antioxidant defense mechanisms and exhibit potent immunomodulatory effects by balancing pro-inflammatory and anti-inflammatory cytokine responses. As a result, postbiotics offer a highly stable, safe, and effective feeding strategy. By balancing the gut microbiota, improving feed conversion ratios, and modulating immune responses, postbiotics demonstrate great potential to replace traditional antibiotics as sustainable feed additives in modern poultry nutrition.
Keywords: Postbiotic, Poultry nutrition, Gut health, Feed additive

1.Giriş

Dünyada nüfusun hızla artması sebebiyle ve bununla orantılı olarak artan hayvansal protein kaynaklarına olan ihtiyaçlar; hayvansal üretimin daha verimli hale getirilmesini, sürdürülebilir olmasını ve daha güvenli olanaklar sağlamasını zorunlu hale getirmiştir. Bu sebeplerden dolayı kanatlı üretimi; yemden yararlanma oranının yüksek olması, kısa üretim süresi ve düşük maliyetli protein üretimi gibi avantajlar sağladığından hayvansal üretim sektöründe stratejik bir konumda bulunmaktadır. Bunun yanı sıra yoğun üretim sistemlerinin yaygınlaşması; çevresel yük, hayvan sağlığı sorunları ve gıda güvenliği riskleri gibi bazı problemleri de beraberine getirmiştir. Bu nedenle kanatlı üretiminde sürdürülebilirliğin sağlanması yalnızca üretim miktarının artırılmasıyla mümkün değildir. Bunun da yanında çevresel etkilerin azaltılmasını, hayvan refahının sağlanmasını ve insan sağlığının korunmasını da gerekli kılar. Bu sebeple uygun besleme stratejilerinin uygulanması büyük önem arz etmektedir (Kırkpınar F, Atan H., 2022).Yıllar boyunca kanatlı üretiminde yemden yararlanma oranını iyileştirmek, büyümeyi teşvik etmek ve enfeksiyonları kontrol altına almak amacıyla antibiyotikler yaygın şekilde kullanılmıştır. Sub-terapötik dozlarda yemlere katılan bu antibiyotikler zamanla beraberinde patojen mikroorganizmalar arasında direnç gelişimine sebep olduğu ve bu durumun hem hayvan hem de insan sağlığı açısından ciddi riskler taşıdığı belirlenmiştir (Gadde ve ark., 2017).

Ayrıca antibiyotik kullanımının zamanla sindirim sistemindeki patojen mikroorganizmalarla beraber faydalı mikroorganizmaların da ölümüne sebep olduğu görülmüştür. Bu nedenle Avrupa Birliği 2002 yılında verdiği kararla yemlerde antibiyotik kullanımını 1 Ocak 2006 tarihinden itibaren yasaklamıştır (Commission, 2005).

Antibiyotik kullanımının kısıtlanması ile birlikte kanatlı beslemede alternatifler düşünülmüş, yem katkı maddeleri kullanılmaya başlanmış ve bu katkılara olan ilgi hızla artmıştır. Bu alternatifler arasında probiyotikler, prebiyotikler, sinbiyotikler, postbiyotikler, organik asitler, enzimler ve fitogenik maddeler gibi çeşitli bileşenler yer almakla birlikte, özellikle bağırsak sağlığının sağlanması, korunması ve performansın artırılması amacıyla kullanılmaktadırlar (Gadde ve ark., 2017). Ayrıca yapılan bir çalışmada, antibiyotiklere alternatif olarak tıbbi, aromatik bitkiler ve ekstraktlarının antimikrobiyal etkileri ve hayvansal verimleri yükseltmeleri sebebiyle yem katkı maddesi olarak kullanılabileceği öne sürülmüştür (Göktaş ve Gıdık, 2019). Bu katkı maddeleri antibiyotiklerin sağladığı büyümeyi sağlayan etkileri karşılamakta, aynı zamanda daha güvenli ve sağlıklı bir üretim sisteminin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır.

Kısaca hayvan beslemede kullanılan yem katkı maddeleri; rasyona ilave edildiklerinde hayvanlara herhangi olumsuz bir etki oluşturmadan, sindirilebilirliği yüksek ve gastrointestinal sistemden verimli bir şekilde emilerek metabolik olaylara katılarak katkı sağlayabilen bileşikler olarak tanımlanmaktadır. Bu maddeler, yemden yararlanma etkinliğini artırmak kaidesiyle verim ve ürün kalitesini iyileştirirken, aynı zamanda ekonomik açıdan da önemli katkılar sunmalıdırlar (Çiçek ve ark., 2021).

2. Bağırsak Mikrobiyotasının Tanımı ve Bileşimi

Kanatlı hayvanlarda bulunan gastrointestinal sistem yalnızca besin maddelerinin sindirimi ve emiliminden sorumlu bir organ sistemi değildir. Bağışıklık sistemi ile de doğrudan ilişkili bir sistemdir. Sindirim sisteminde bulunan mikrobiyota, başta bakteriler olmak üzere çeşitli mikroorganizmaları içeren kompleks bir ekosistem olmanın yanı sıra, konakçı hayvanın sağlık durumunu, büyüme performansını etkilemekte ve çeşitli hastalıklara olan direnci üzerinde belirleyici etkilere sahiptir. Yemden yararlanma oranıyla da doğrudan ilişkisi bulunmaktadır. Tavukların beslendikleri yemler ve yem katkı maddeleri mikrobiyotanın oluşmasına ve gelişmesine katkı sağlarlar. Bu nedenle mikrobiyotanın oluşumunda beslenmenin rolünün büyük olduğu düşünülmektedir (Tetik, Sareyyüpoğlu, 2022).

Şekil 1 : Sindirim sistemi bölümlerine göre pH, mikroorganizma yoğunluğu, tipik mikrobiyota ve potansiyel probiyotik mikroorganizmalar (Kuter ve ark., 2020).

KANATLILARDA SİNDİRİM SİSTEMİ MİKROBİYOTASI

Organ	pH	Yoğunluk (cfu/g)	Tipik Mikrobiyota ve Potansiyel Probiyotikler
Taşlık, Mide, Duodenum	3,0-6,0	10^3-10^5	*Lactobacillus*, Koliformlar, *Streptococcus*; aside dayanıklı *Lactobacillus*
İnce Bağırsak	6,5-7,5	10^8-10^{10}	Fakültatif anaeroblar: *Lactobacillus*, Streptococcus, Enterobacteria; anaeroblar: *Bifidobacterium* spp., *Bacteroides* spp., *Clostridia* spp.; potansiyel: *Lactobacillus*
Sekum	7,0-7,5	10^{10}-10^{12}	Fakültatif anaeroblar: *Enterococcus*, Koliformlar, *Proteus*; obligat anaeroblar: *Clostridium*, *Eubacterium*, *Bacteroides*, *Lactobacillus*, *Methanobrevibacter woesei*, *Bifidobacterium*

Kanatlı sindirim sistemi kursak, proventrikülüs, taşlık ve bağırsaklardan (duodenum, jejunum, ileum ve sekum) oluşmaktadır. Kanatlı hayvanlarda gastrointestinal sistem çeşitli ve yüksek miktarda mikrobiyal topluluğu içinde barındırmaktadır. Mikrobiyel çeşitlilik ve yoğunluğun en fazla olduğu organ, besinlerin en uzun süre beklediği yer olan sekumdur (Roto ve ark., 2015). **S**indirim sistemi bölümlerine göre pH, mikroorganizma yoğunluğu, tipik mikrobiyota ve potansiyel probiyotik mikroorganizmalar Şekil 1'de verilmiştir. Bakterilerin daha baskın olduğu mikrobiyal toplulukların içinde mantarlar, arkealar, protozoalar ve virüsler de yoğun şekilde bulunur.

Hayvanların milyonlarca yıllık evrim sürecinde, karmaşık ve dinamik mikrobiyal toplulukları bünyelerinde konakçı olarak barındırma yeteneği geliştirdikleri görülmektedir. Bağırsak mikrobiyotası konakçı metabolizması, fizyolojisi, beslenmesi ve bağışıklık fonksiyonu üzerindeki büyük etkisi sebebiyle "gizli metabolik organ" olarak adlandırılmaktadır (Jha ve ark., 2020; Shehata ve ark., 2022). Bağırsak mikrobiyotasının bileşimi hayvan türü, ırk, yaş, beslenme, çevre, barındırma şekilleri, mikrobiyal yoğunluğu, stres ve ilaçlar gibi farklı faktörlerden etkilenebilmektedir. Kanatlı bağırsağının kolonizasyonu embriyojenik gelişim sırasında başlayabilmekte ve karmaşık bir mikrobiyal topluluğun oluşup gelişmesine doğru ilerlemektedir. Şekil 2'de mikrobiyatayı etkileyen faktörler ve etki mekanizmaları gösterilmiştir (Jha ve ark., 2020; Shehata ve ark., 2022).

Şekil 2: Kanatlı Bağırsak Mikrobiyotasının Bileşimini Etkileyen Faktörler (Shehata ve ark., 2022; Rajesh Jha ve ark., 2020)



2.1. Bağırsak Mikrobiyotasının Fonksiyonları

Bağırsak mikrobiyotası, konakçı sağlığı ve performansı üzerinde çoğunlukla olumlu etkiye sahiptir. Mikrobiyota, konakçının sindiremediği yem maddelerinden enerji ve besin üreterek beslenmeye yardımcı olmakta, besinlerin emilimlerinde ve kullanımlarında fayda sağlamaktadır. Bu süreçte B ve K grubu vitaminleri, kısa zincirli yağ asitleri ve organik asitler üretilir. Ayrıca sekum mikrobiyata bakterileri ürik asidi amonyağa dönüştürerek amino asit üretimine yardımcı olur. Ayrıca epitel hasarlarına karşı koruyucu bir etkiye sahip olmakla birlikte sindirime yardımcı olmakta ve bağışıklık sisteminin gelişimini desteklemektedir (Shang ve ark., 2018).

Mikrobiyotanın en önemli fonksiyonlarından biri, patojen bakterilere karşı bir bariyer oluşturmasıdır. Bağışıklık hücrelerinin gelişimlerini uyarırlar. Böylece antikor salgılanır ve koruyucu bir bariyer oluşur. Bağırsak epite duvarına tutunarak burayı saran bakteriler, patojenik bakterilerin duvarda kolonizasyonuna fiziksel bir engel görevi görür. Ancak mikrobiyata her zaman faydalı olmayabilir. Konakçıyla protein ve enerji için rekabet içerisinde olmaları bunun bir göstergesidir (Roto ve ark., 2015; Shehata ve ark., 2022).

3.PROBİYOTİKLER: Tanım, Sınıflandırma ve Etki Mekanizmaları

3.1.Probiyotiklerin Tanımı

Probiyotikler, hayvanların sindirim sistemlerinde bulunan mikroflorayı olumlu yönde etkileyen ve konakçının sağlığına katkıda bulunan canlı mikroorganizmalar topluluğu olarak tanımlanmaktadır (Krysiak ve ark., 2021). "Probiyotik" terimi Yunanca kökenli olup "yaşam için" anlamına gelmektedir. Bu kavram ilk olarak Lilly ve Stillwell (1965) tarafından diğer mikroorganizmaların gelişimini teşvik eden faktörler olarak tanımlanmış, daha sonra da Parker (1974) tarafından bağırsak mikrobiyal dengesine katkı sağlayan organizmalar şeklinde ifade edilmiştir. Fuller (1989) ise bu tanımı geliştirerek probiyotikleri, bağırsak mikrobiyal dengesini iyileştirerek konakçıya yarar sağlayan canlı mikrobiyal yem katkıları olarak tanımlamıştır. Günümüzde ise en yaygın kabul gören tanımı Birleşmiş Milletler

Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) ile Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından yapılmakta olup probiyotikler "*Yeterli miktarda alındığında konakçı sağlığı üzerinde olumlu etkiler oluşturan canlı mikroorganizmalar*" şeklinde ifade edilmektedir. Bu tanım daha sonra Uluslararası Probiyotikler ve Prebiyotikler Bilim Derneği (ISAPP: International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics) tarafından da desteklenmiş ve güncellenmiştir (Hill ve ark., 2014). Ayrıca Türk Gıda Kodeksi'nde probiyotik mikroorganizmalar; sindirim sistemini düzenleyen ve bağışıklık sistemini destekleyen, belirli bir minimum canlılık düzeyine sahip olması gereken mikroorganizma topluluğu olarak tanımlanmaktadır (Çiçek ve ark., 2021).

Probiyotikler, günümüzde sindirim kanalındaki mikrobiyal dengeyi sağlamada, patojen mikroorganizmaların çoğalmalarını engelleyerek yemden yararlanma oranını artırmada büyük bir başarı elde ederek hayvan beslemede yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu etkileri doğrultusunda probiyotikler, hem hayvan sağlığının korunmasında hem de üretim performansının artırılmasında önemli katkılar sağlamaktadırlar (Idowu ve ark., 2025; Raza ve ark., 2024).

3.2.Probiyotik Mikroorganizmalarında Olması Gereken Özellikler

Probiyotik mikroorganizmaların, konakçı üzerinde olumlu etkiler gösterebilmesi ve etkili çalışabilmesi için bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir. Öncelikli olarak sindirim sisteminin üst kısımlarını direk, canlı ve aktif şekilde geçerek bağırsaklara ulaşmaları gerekmektedir. Bu süreçte özellikle mide ve bağırsak ortamının fizikokimyasal koşulları bu mikroorganizmalar için önemli bir etkiye sahiptir. Çünkü probiyotikler genellikle düşük pH ve safra tuzlarına karşı belirli bir direnç gösterebilir. Bu yüzden uygun olmayan çevresel koşullar, bu mikroorganizmaların canlılığını olumsuz etkileyebilmektedir (Chateau ve ark., 1993; Üstündağ ve Özdoğan, 2017).

Bağırsaktaki safra tuzlarına karşı dayanıklı olabilmek için çeşitli proteinler ve yağ asitleri sentezleyerek bunları kullanırlar. Ayrıca koruyucu biyopolimerler üretebilir veya safra tuzlarını hidroliz eden (kolilglisin hidrolaz) enzimini salgılayarak kendilerini korurlar (İduğ ve Hızlı Güldemir, 2024). Bağırsaklara ulaşabilen probiyotik mikroorganizmalar, ince bağırsakta bulunan villus intestinalis yüzeyine tutunurlar ve burada kolonize olurlar. Asıl etkilerini bu bölgede göstermektedirler. Bu kolonizasyonu etkili bir şekilde gerçekleştirebilmeleri için, mikroorganizmaların sadece bağırsak lümeninde bulunmaları yeterli olmamaktadır. Bunun yanında epitel yüzeyine de adezyon göstermeleri gerekmektedir (Karademir, 2003). Çünkü bağırsak içeriğinin ilerlemesini sağlayan peristaltik hareketlere karşı koymaları ve ortamdan uzaklaştırılmadan o bölgede kalıcı olabilmeleri gerekmektedir. Bu sebepten dolayı probiyotiklerin bağırsak mukus tabakasına ve epitel hücre yüzeylerine tutunma ve burada kolonize olma yeteneğine sahip olmaları, bu mikroorganizmalar için hem hayati hem de onların etkinliklerini faydalı bir şekilde sürdürelebilmeleri açısından temel bir gereklilik olarak kabul edilmektedir (İduğ ve Hızlı Güldemir, 2024).

Probiyotik bakteriler sindirim kanalında kolonize olduğunda, bağırsak mukozası tarafından salgılanan mukus tabakasında çoğalarak buradaki müsin maddelerini kendileri için bir enerji kaynağı olarak kullanırlar (Servin ve Coconnier, 2003; Karademir, 2003).

Ayrıca bu mikroorganizmaların patojenik olmaması, toksin üretmemesi ve konakçı için güvenli olması temel bir gerekliliktir (Fuller, 1989). Probiyotiklerin patojen mikroorganizmalara karşı antagonistik etki göstermesi gerekmekte, antimikrobiyal maddeler üretebilmesi ve antibiyotiklere karşı dirençli olmaları gerekmektedir (Gülhan ve ark., 2018; Ezema, 2013). Bu mikroorganizmalar aynı zamanda konakçının metabolik aktivitelerini etkileyebilme ve bağışıklık sistemi hücreleri ile etkileşimde bulunarak immün yanıtı modüle edebilme kapasitesine sahip olmalıdır. Bunun yanında bağırsak dokusuna zarar vermemeleri, epitel dokusunun bütünlüğünü ve bağırsak geçirgenliğini bozmamaları, hayvanların etlerinde herhangi bir toksik kalıntı bırakmamaları önemli kıstaslar arasında yer almaktadır (Üstündağ ve Özoğan 2017).

Şekil 3: Probiyotiklerin taşıması gereken özellikler ve faydalı etkileri (Ülger ve ark., 2015)



Bu kapsamda probiyotiklerin üretim ve depolama süreçlerinde de bazı özelliklere dikkat edilmelidir. Bunlardan bazıları şunlardır; Probiyotik ürünlerin genellikle 22–25 °C'de ve kuru ortamda depolanması önerilmekte, sıcaklığın 30 °C'nin üzerine çıkması, mikroorganizmaların canlılığını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Ayrıca demir ve bakır iyonları, yüksek konsantrasyondaki bazı vitaminler, antibiyotikler ve oksidatif ajanlar gibi bileşenlerin probiyotik bakteriler üzerinde inhibitör etkileri bulunabilmektedir (Ezema, 2013; Karademir, 2003). Bunun yanı sıra probiyotiklerin hayvansal ürünlere, örneğin yem veya suya eklendiğinde bunların yapısını ve kalitesini olumsuz etkilememesi ve saha koşullarında etkinliğini sürdürebilmesi gerekmektedir (Fuller, 1989; Üstündağ ve Özoğan,2017).

Şekil 4: Kanatlı hayvan endüstrisinde probiyotik seçimine ilişkin şema (Kabir, 2009)



Probiyotik mikroorganizmaların etkinliği, biyolojik özellikleri, çevresel koşullara dayanıklılıkları ve konakçı ile etkileşim kapasiteleri ile doğrudan ilişkilidir. Kısaca güvenli, istikrarlı, bağırsak epiteline tutunabilen, patojenlere karşı antagonistik etki gösteren, bağışıklık sistemini destekleyen ve üretim sürecine uygun özellikler taşıyan çok yönlü bir biyolojik ajan olarak tanımlanabilir (Kabir, 2009)
Probiyotiklerin doğru seçilebilmeleri için birçok in vitro test geliştirilmiştir. Ön seçim olarak yapılan in vitro testler ile seçilen kaliteli suşların rekabet gücü ve tavuklardaki kalıcılıklarının izlenmesi amacıyla in vivo testler uygulanarak değerlendirmeler yapılmaktadır (Kabir, 2009) Sonuç olarak hepsini bir tabloda birleştirmek istersek varacağımız genel sonuç Şekil 3 ve 4'de gösterilmiştir.

3.3.Kanatlılarda kullanılan probiyotik türleri

Kümes hayvanlarında yaygın olarak kullanılan probiyotik mikroorganizma cinsleri arasında *Bifidobacterium, Lactococcus, Lactobacillus, Bacillus, Streptococcus* bakterileri ve *Candida, Saccharomyces* spp. gibi mayalar yer alır (Jha ve ark, 2020).

Tablo 1: Kanatlılarda Kullanılan Başlıca Probiyotik Türleri ve Özellikleri (Gadde,2017; Arsène ve ark., 2021; Krysiakve ark.,2021; Roto ve ark.,2015; Jha ve ark.,2020)

Cins	Türler	Temel Özellikler
Lactobacillus	*L. acidophilus, L. casei, L. fermentum, L. reuteri*	Laktik asit üretimi, patojen inhibisyonu, bağışıklık modülasyonu, enzim üreterek besin emilimi ve sindirimi
Bacillus	*B. subtilis, B. licheniformis, B. coagulans*	Spor oluşturma, yüksek sıcaklık toleransı, enzim üretimi
Bifidobacterium	*B. bifidum, B. animalis, B. longum*	Bağırsak mikroflora dengesinin korunması
Enterococcus	*E. faecium*	Bakteriyosin üretimi, bağırsak morfolojisinin iyileştirilmesi
Saccharomyces	*S. cerevisiae*	Maya hücre duvarı bileşenlerisayesinde bağışıklık sağlama, prebiyotik etki
Pediococcus	*P. acidilactici*	Laktik asit üretimi, yumurta kalitesinin iyileştirilmesi

Kanatlılarda kullanılan başlıca probiyotik türleri ve özellikleri ile probiyotik olarak kullanılan bazı mikroorganizmalar Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2: Probiyotik olarak kullanılan bazı mikroorganizmalar (Gülhan ve ark., 2018)

PROBİYOTİK OLARAK KULLANILABİLEN MİKROORGANİZMALAR

Bakteriler	Bakteriler	Bakteriler	Mantarlar / Mayalar
Bacillus coagulans	*Bifidobacterium longum*	*Lactobacillus reuteri*	*Aspergillus niger*
Bacillus lentus	*Bifidobacterium thermophilum*	*Leuconostoc mesenteroides*	*Aspergillus oryzae*
Bacillus licheniformis	*Clostridium butyricum*	*Pediococcus acidilactici*	*Saccharomyces cerevisiae*
Bacillus pumilus	*Lactobacillus acidophilus*	*Pediococcus cerevisiae*	*Candida torulopsis*
Bacillus subtilis	*Lactobacillus brevis*	*Pediococcus pentosaceus*	
Bacteroides amylophilus	*Lactobacillus bulgaricus*	*Propionibacterium freudenreichii*	
Bacteroides capillosus	*Lactobacillus casei*	*Propionibacterium shermanii*	
Bacteroides ruminocola	*Lactobacillus cellebiosus*	*Streptococcus cremoris*	
Bacteroides suis	*Lactobacillus curvatus*	*Streptococcus diacetylactis*	
Bifidobacterium adolescentis	*Lactobacillus delbrueckii*	*Enterococcus faecium*	
Bifidobacterium animalis	*Lactobacillus fermentum*	*Streptococcus intermedius*	
Bifidobacterium bifidum	*Lactobacillus lactis*	*Streptococcus lactis*	
Bifidobacterium infantis	*Lactobacillus plantarum*	*Streptococcus thermophilus*	

3.4.PROBİYOTİKLERİN ETKİ MEKANİZMALARI

Probiyotiklerin etki mekanizmaları hala tam olarak açıklanamamış olmakla birlikte, temel etkilerinin bağırsak mikrobiyotasının dengelenmesi ve bağışıklık sisteminin düzenlenmesi olduğu bilinmektedir. Probiyotiklerin bağırsak ekosistemi üzerinde oluşturduğu olumlu etkilerle hayvanların hem sindirim sistemi fonksiyonlarını geliştirmekte hem de hayvanların hastalıklara karşı direncini artırmaktadır (Gadde ve ark., 2017).

Probiyotiklerin önemli etki mekanizmalarından biri rekabetçi eksklüzyon olarak bilinmektedir. Bu mekanizmada probiyotik mikroorganizmalar, bağırsakta yararlı bakterilerin gelişimini destekleyerek uygun bir ortam oluştururken, patojen bakterilerin çoğalmasını engellemektedirler.

Yararlı bakterilerin ürettikleri laktik asit ve yağ asitleri bağırsak pH' sının düşmesini sağlayarak zararlı mikroorganizmaların yaşayamayacağı bir ortam meydana getirmektedir. Probiyotikler ayrıca patojen bakterilerin besin maddelerine ortak olup onlarla rekabete girerek ve antimikrobiyal maddeler salgılayıp zararlı mikroorganizmaların gelişimini sınırlandırarak da etki ederler. Bunun yanında patojen bakterilerin bağırsak epitellerine tutunmasına ve bağırsak dokularına geçişlerine de engel olmaktadırlar (Gadde ve ark., 2017).

Probiyotiklerin bağırsak bütünlüğünün korunması üzerine etkileri de fazlaca önemlidir. Bu mikroorganizmalar epitel hücrelerinin doğru bir şekilde işleyişine destek olarak bağırsak yüzeyinin korunmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda epitel hücreler arasındaki bağlantıları düzenleyerek bağırsak bariyerinin fonksiyonunu güçlendirmekte ayrıca müsin sentezi artmaktadır. Böylece bağırsak yüzeyi dış etkilere karşı daha dirençli olmaktadır (Gadde ve ark., 2017).

Probiyotikler sayesinde sindirim enzim aktiviteleri artmakta ve bununla birlikte kolay sindirilemeyen besinlerin parçalanması kolaylaşmaktadır. Böylece besin maddelerinden yararlanma oranı da dolaylı olarak artmaktadır. Ayrıca toksik olan aminler ve amonyak gibi zararlı bileşenlerin oluşmasını azaltarak bağırsak ortamının korunmasına yardımcı olurlar. Bu etkilerine bakılarak hayvanlarda yemden yararlanma oranının artmasını sağladıkları ve büyüme performansını olumlu etkiledikleri söylenebilir (Gadde ve ark., 2017).

Probiyotiklerin bağışıklık sistemine sağladıkları düzenleyici etkiler de bu mekanizmalar arasındadır. Probiyotik uygulamalarının plazma ve serum immünoglobulin seviyelerini artırdığı ve bağışıklık hücrelerine destek oldukları bildirilmektedir. Özellikle makrofaj ve lenfosit aktivitesinin artması ve IgA sentezinin desteklenmesi bağışıklık yanıtının daha da güçlenmesine katkı sağlar. Bunun yanında proinflamatuvar sitokin düzeylerini düşürerek bağırsakta oluşabilecek inflamasyonu kontrol altında tutmayı da sağlamaktadır (Dankowiakowska ve ark., 2013)

Probiyotik mikroorganizmaların ürettikleri antimikrobiyal maddeler bağırsak sağlığının korunmasını sağlamaktadırlar. Laktik asit, asetik asit ve propiyonik asit gibi organik asitler ayrıca bakteriyosinler ve hidrojen peroksit gibi bileşikler patojen bakterilerin çoğalmasını engelleyerek çalışırlar. Özellikle *Lactobacillus* ve *Bacillus* türleri tarafından üretilen bakteriyosinlerin *Escherichia coli, Salmonella, Clostridium perfringens* ve *Campylobacter* gibi tehlikeli patojenlere karşı önemli derecede antibakteriyel etkileri olduğu kanıtlanmıştır (Dankowiakowska ve ark., 2013) Ayrıca bu organik asitlerin meydana gelmesi bağırsak ortamının PH'sının düşmesine neden olmaktadır. Amonyağın serbest formu olan NH_3 normalde bağırsaklardan pasif difüzyon ile emilmektedir. Ancak ortamın daha asidik hale gelmesi sebebiyle amonyağın büyük oranı NH_4^+ formuna dönüşür. Bu dönüşen formu bağırsak epitelinden kolay şekilde geçemez ve böylece amonyağın kana karışmasını kayda değer bir şekilde azaltır (Doğan,2011).

Araştırmalarda probiyotik kullanımının bağırsak morfolojisi üzerine de olumlu etkileri olduğu görülmektedir. Villus uzunluklarının ve kript derinliklerinin artmasını sağlayarak, bağırsak yüzey alanını genişlemesini sağlamakta ve besin maddelerinin emilimini kolaylaştırmaktadır (Mountzouris ve ark., 2007; Gadde ve ark., 2017).

Kısacası probiyotikler bağırsak mikrobiyotasını düzenler, patojen bakterilerin baskılanmasına katkı sağlar, bağırsak bariyer bütünlüğünü korur, sindirim ve emilim kapasitesini artırır ve bağışıklık sisteminin destekler. Bu mekanizmalar sayesinde kanatlı hayvanların bağırsak sağlığı dolayısıyla kanatlı performansı üzerinde olumlu etkileri oldukça fazladır.

3.5. Probiyotiklerin Kanatlı Performansına Etkileri

Broylerlerde yapılan çalışmalarda probiyotik kullanımı canlı ağırlık artışı, yemden yararlanma oranı ve genel performans parametrelerini iyileştirdiği bildirilmiştir (Mountzouris ve ark., 2007). Probiyotik takviyesinin kanatlı performansı üzerindeki etkileri Faria Filho ve ark. (2006) tarafından yapılan bir meta-analiz ile detaylı bir şekilde araştırılmıştır. Bu analizde, 27 çalışma ve 30.146 broyler piliç üzerinde 12 farklı probiyotiğin performans etkileri incelenmiştir. Analiz sonuçlarında görülüyor ki; vücut ağırlık artışında +0,14 birimlik bir iyileşme, yem dönüşüm oranında ise -0,10 puanlık bir azalma ve yem dönüşüm oranında düşüş meydana gelmiştir. Bu da gösteriyor ki hayvanlar yemi daha verimli kullanmışlardır. Bunun yanında probiyotiklerin, bağışıklık fonksiyonunu destekleyerek immünoglobulin seviyelerini artırabildiği, bağırsak gelişimini olumlu etkileyerek villus uzunluğu ve kript derinliğinde artış sağlayabildiği tespit edilmiştir.

Ayrıca bağırsaktaki yararlı bakteri popülasyonlarında, özellikle de *Lactobacillus* ve *Bifidobacterium* türlerinde artış gözlenmiştir (Gadde ve ark., 2017).
Probiyotikler sadece broylerin değil, yumurtacı tavukların da performansını iyileştirmektedir. Kurtoglu ve ark. (2004), tarafından yumurta tavukları üzerinde yürütülen çalışmada diyetlerine probiyotik eklenen tavuklarla, kontrol grubundaki tavukları kıyasladığında probiyotik tüketenlerin yumurta üretiminin artmış olduğunu gözlemiştir. Lei ve ark. (2013) ise *B. licheniformis'in* diyete eklenmesiyle yumurtlama performansını ek olarak yumurtaların kütlesel olarak arttığını raporlamıştır

4. Prebiyotikler: Tanım, Çeşitleri ve Kanatlı Beslemede Kullanımı

4.1. Prebiyotiklerin Tanımı

Prebiyotikler, sindirim sisteminde parçalanamayan, bağırsak mikrobiyotasını olumlu etkileyen yem bileşikleri olarak tanımlanır. Bu bileşikler, özellikle yararlı bağırsak bakterileri geliştirerek metabolik aktivitelerini destekler. Böylece konakçı sağlığının korunmasına katkı sağlamış olurlar (Gadde ve ark., 2017). Günümüzde ise prebiyotikler, bağırsak mikrobiyotasının yapısını ve aktivitesini düzene sokan ve konakçıya fayda sağlayıp, bunlar üzerinde olumlu fizyolojik etkiler meydana getiren canlı olmayan yem bileşenleri şeklinde ifade edilmektedir (FAO, 2007).
ISAPP 2010'da *"Diyetle alınan bir prebiyotik, gastrointestinal mikrobiyotanın bileşiminde ve/veya aktivitesinde spesifik değişikliklere neden olan ve böylece konağın sağlığı üzerinde fayda sağlayan, seçici olarak fermente edilmiş bir bileşendir"* olarak kabul görmüştür (Gibson ve ark., 2011).
Bir bileşiğin prebiyotik olarak kullanılabilmesi için bazı özelliklere sahip olması gerekir. Öncelikle mide asidine ve sindirim enzimlerine karşı dayanıklı olmalı, sindirim kanalında hidrolize uğramamalı ve emilmemelidir. Ayrıca bağırsak mikrobiyotası tarafından fermente olmalı ve seçici davranarak yararlı bakterilerin çoğalmasını desteklemelidir. Bağırsak florasının sahip olduğu dengesinin korunmasına yardım etmeli ya da daha iyi hale getirebilme özelliği taşımalıdır. Bağışıklık sistemini desteklemeli ve hayvan performansı üzerinde olumlu etkiler oluşturması beklenmektedir. Son olarak kolay işlenebilmeli ve hayvanların severek tüketmeleri için lezzetli olmalıdır (Üstündağ, 2017; Kuter ve ark., 2020). Prebiyotiklerin çoğu kısa zincirli karbonhidrat yapısındadır. Her ne kadar lif ve prebiyotik kavramları zaman zaman birbirlerinin yerine kullanılmış olsa da, her lif kaynağı prebiyotik değildir. Yukarıda verilen prebiyotik özelliklerini taşıması gereklidir (Kuter ve ark., 2020).

4.2. Prebiyotik Çeşitleri ve Kaynakları

Kanatlı beslemede sıkça kullanılan bazı prebiyotikler mannan-oligosakkaritler (MOS), frukto-oligosakkaritler (FOS), inülin, oligofruktoz, galakto-oligosakkaritler (GOS), soya-oligosakkaritler (SOS), ksilooligosakkaritler (XOS), izomalto-oligosakkaritler (IMO), laktuloz, inulin, ve pirodekstrindir (Alloui ve ark., 2013).
Prebiyotikler bazı doğal kaynaklarda bulunabilirler. Doğal olarak bulunduğu gıdalara; yer elması, kuşkonmaz, tatlı patates, buğday, soğan, muz, elma, mantar, orman meyveleri, bal, hindiba kökü, turunçgiller, sarımsak ve pırasa örnek verilebilir (Çiçek ve ark., 2021). Tablo 3'te başlıca prebiyotik türleri ve kaynakları verilmiştir.

Tablo 3: Başlıca Prebiyotik Türleri ve Kaynakları (Dankowiakowska ve ark., 2013; Alloui ve ark., 2013; Gadde ve ark., 2017; A. Shehata ve ark., 2022)

Prebiyotik Türü	Doğal Kaynak	Etki Mekanizması
Mannan-Oligosakkaritler (MOS)	*Saccharomyces cerevisiae* hücre duvarı	Patojen adezyonunun inhibisyonu, bağışıklık modülasyonu
Frukto-Oligosakkaritler (FOS)	Hindiba, arpa, buğday, pancar yaprakları	*Bifidobacterium* ve *Lactobacillus* proliferasyonu
İnülin	Hindiba, soğan, sarımsak	SCFA üretimi, mineral emiliminin artırılması
Galakto-Oligosakkaritler (GOS)	Süt ürünleri	Yararlı bakteri büyümesinin desteklenmesi

β-Glukanlar	Maya, yulaf, arpa hücre duvarları	Bağışıklık sistemi uyarımı, patojen nötralizasyonu
Maya Hücre Duvarı Bileşenleri	*Saccharomyces cerevisiae*	Prebiyotik etki, bağışıklık modülasyonu

4.3. Prebiyotiklerin Etki Mekanizmaları

Prebiyotiklerin çeşitli etki mekanizmaları bulunmaktadır. Bunlar mikrobiyata modülasyonu, kısa zincirli yağ asidi üretimi, bağışıklık sistemi modülasyonu, patojen adezyonunun inhibisyonudur. Etki mekazimalarından biri bağırsak mikrobiyotasının düzenlenmesidir. Bu bileşikler, özellikle *Bifidobacterium* ve *Lactobacillus* gibi yararlı mikroorganizmaların çoğalmasını destekleyerek patojen bakterilerin gelişmesini baskılamaktadır (Ricke ve ark., 2018). Yararlı laktik asit bakterilerin sayısındaki artış, bağırsakta rekabetçi eksklüzyon mekanizmasının güçlendirerek, zararlı mikroorganizmaların kolonize olmasına engel olmaktadır. Bu da sindirim sisteminin daha dengeli bir hal almasını sağlar (Shehata ve ark., 2022).

Prebiyotiklerin, bağırsak mikrobiyotası tarafından fermente edilmesi ile bütirat, propiyonat ve asetat gibi kısa zincirli yağ asitleri oluşmaktadır (Alloui, 2013). Bağırsak epitel hücreleri için bu yağ asitleri önemli enerji kaynağı olmaktadır, ayrıca bağırsak mukozasının da bütünlüğünün korunmasına yardımcı olurlar (Gadde ve ark., 2017). Fermentasyon sonucunda oluşan organik asitler bağırsak pH'sını düşürerek patojen mikroorganizmaların gelişimini elverişsiz kılan bir ortam oluşturmaktadırlar (Crittenden ve Playne, 2009). Ek olarak kısa zincirli yağ asitlerinin enterobakterileri baskılayıcı etkilerinin varlığı ve bunun sonucunda bağırsak sağlığının korunmasına yardımcı oldukları kanıtlanmıştır (Roto ve ark., 2015).

Prebiyotikler, probiyotiklere destek amacıyla da kullanılabilmektedir. Prebiyotikler, probiyotiklerden daha işlevsel görünmektedir çünkü prebiyotikler sindirim sistemindeki yararlı bakterilerin gelişimini destekler. Fermentasyonlarına bağlı olarak oluşan kısa zincirli yağ asitleri, fenol ve amonyak gibi zararlı metabolitlerin miktarını azaltır, kolestrolü düşürür, mineral emilimini ve B vitamini sentezini dolaylı olarak arttırarak katkı sağlar (Üstündağ ve ark., 2017; Şimşek ve ark., 2014). Oligosakkaritlerin bağırsak bakterileri tarafından fermentasyonu sonucu ortaya çıkan kısa zincirli yağ asitleri ve bunların sağlık üzerindeki olumlu etkileri Şekil 5'te verilmiştir.

Şekil 5: Oligosakkaritlerin bağırsak bakterileri tarafından fermentasyonu sonucu ortaya çıkan kısa zincirli yağ asitleri ve bunların sağlık üzerindeki olumlu etkileri (Şimşek ve ark., 2014)



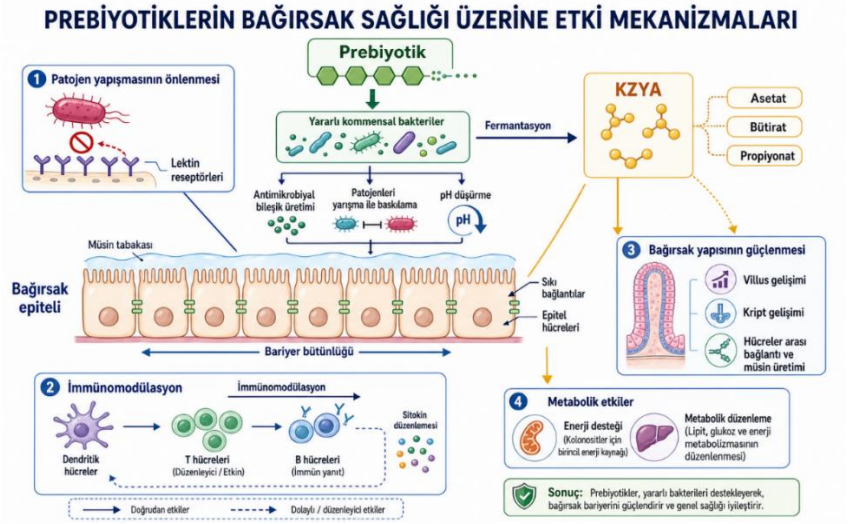
Prebiyotiklerin bağışıklık sistemine de önemli etkileri bulunmaktadır. Bu bileşikler, doğal bağışıklık sistemi reseptörleri tarafından tanınırlar ve böylece bağışıklık yanıtlarını desteklerler yani adjuvan etkiye sahiptirler (Gadde ve ark., 2017).

Ayrıca prebiyotikler, bağırsaktaki immün hücreleriyle doğrudan etkileşime geçebilmekte veya yararlı bakterilerin çoğalmasını teşvik ettiğinden, dolaylı yoldan bağışıklık sisteminin güçlenmesine katkı sağlar. Böylece hem bölgesel hem de genel bağışıklık yanıtını desteklemiş olurlar (Shehata ve ark., 2022).

Diğer prebiyotiklerden farklı olarak, patojen bakterilerin bağırsak epiteline tutunmasını engelleyerek koruyucu etki gösteren mannan-oligosakkaritler (MOS), Gram negatif bakterilerin bağırsak mukozasına bağlanmasını sağlayan fimbrialara bağlanarak (Salmonella ve Escherichia coli gibi) patojenlerin bağırsak yüzeyine tutunmasını önlerler. Bu durum sonucunda patojenler bağırsakta kolonize olamaz ve enfeksiyon riski azalmış olur (Gadde ve ark., 2017; Kuter ve ark., 2020). Ayrıca MOS'un villus yapısını ve uzunluğunu desteklediği, villus bütünlüğünü koruduğu ve bağırsak sağlığına koruma sağladığı bildirilmektedir (Kuter ve ark., 2020). Şekil 6'da prebiyotiklerin potansiyel etki mekanizmaları gösterilmiştir.

Yem ve gıdalarda uzun süre bozulmadan kalabilmeleri, dayanıklı olmaları ve gastrointestinal sistemdeki asit, safra tuzu ve proteazlara dirençli olmaları da önemli avantajları arasında yer almaktadır (Çiçek ve ark., 2021).

Şekil 6: Prebiyotiklerin potansiyel etki mekanizmaları (Üstündağ ve ark., 2017)



5. Sinbiyotikler: Sinerjistik Etkileşimler ve Uygulamaları

Sinbiyotikler, probiyotik ve prebiyotiklerin bir arada kullanılmasıyla meydana gelen ve bağırsak sağlığı üzerinde sinerjik etki gösteren yem katkıları ya da besinler olarak adlandırılır (Şimşek ve ark., 2014). Probiyotik mikroorganizmalar bağırsakta, yararlı bakteri popülasyonlarının oluşmasını desteklerken, prebiyotikler bu bakteriler için uygun besin kaynağı oluşturarak canlılıklarını ve kolonize olmalarını desteklerler. Bu da sinbiyotiklerin, bağırsak mikrobiyotasının dengesinin korunmasına ve sindirim sistemi işlevselliğinin daha iyi bir hale gelmesine yarar sağlar. Sinbiyotik uygulamalarının sindirimi, villus yüksekliği ve villus alanını artırarak besin maddelerinin emilimini ve bağışıklık sistemini olumlu yönde etkilediği gözlenmiştir (Atuahene ve ark., 2025).

Bağışıklık sistemi üzerindeki etkisi, sinbiyotiklerin immünoglobulin seviyesini yükseltmesi ve fagositik aktivitenin artırması sayesinde, hayvanların çeşitli hastalıklara karşı direncini artırdıkları ve enfeksiyon görülme sıklığını düşürdükleri için de antibiyotik kullanımını dolaylı olarak azalmaktadır (Atuahene ve ark., 2025). Tablo 4'te kanatlılarda kullanılan bazı sinbiyotik kombinasyonları ve bildirilen başlıca etkileri verilmiştir.

Sinbiyotiklerin geliştirilmesindeki temel amaç ise probiyotik mikroorganizmaların sindirim sistemi içerisinde daha uzun süre canlılığını ve etkinliğini korumasını sağlamaya çalışmaktır. Yani ikisi birlikte daha verimli çalışırlar. Tek başına kullanılan probiyotikler, mide asidinden, oksijenin varlığından ve çevresel sıcaklık değişimlerinden etkilenmesi durumunda ve bağırsakta yeterli düzeyde çoğalamadıklarında, prebiyotikler onlar için bu olumsuz koşulları minimize ederler.

Böylece probiyotiklerin bağırsakta tutunma ve çoğalma yetenekleri artar, yararlı etkileri ise daha belirgin hale gelir (Şimşek ve ark., 2014).

Tablo 4: Kanatlılarda Kullanılan Sinbiyotik Kombinasyonları

Sinbiyotik kombinasyonu	**Bildirilen başlıca etkiler**	**Kaynak**
Enterococcus faecium + GOS	*E. faecium* gelişimini desteklemiş, performans ve bağırsak sağlığı üzerinde olumlu etkiler bildirilmiştir.	Khosravi ve ark., 2025
Enterococcus faecium + XOS	İn vitro koşullarda *E. faecium* gelişimini destekleme potansiyeli göstermiştir.	Khosravi ve ark., 2025
Enterococcus faecium + Oligofruktoz	İn vitro koşullarda canlı *E. faecium* sayısını arttırma potansiyeli bildirilmiştir.	Khosravi ve ark., 2025
Enterococcus faecium + MOS	İn vitro olarak değerlendirilmiş; ancak performans üzerine doğrudan güçlü etki kanıtı sınırlıdır.	Khosravi ve ark., 2025
Lactobacillus salivarius + GOS	Bağırsaktaki yararlı bakteri popülasyonlarında artış ve bağışıklıkla ilişkili gen ekspresyonunda değişimler bildirilmiştir.	Dunislawska ve ark., 2017
Lactobacillus plantarum + RFO	Bağırsak mikrobiyotası üzerinde olumlu etkiler bildirilmiş; bağışıklık yanıtı üzerindeki etkisi daha sınırlı bulunmuştur.	Dunislawska ve ark., 2017
Enterococcus faecium ve oligosakkarit içeren ticari sinbiyotik	Canlı ağırlık artışı, yemden yararlanma ve bağırsak histomorfolojisinde iyileşme bildirilmiştir.	Awad ve ark., 2009
Bifidobacterium lactis + GOS	Bifidobakteri ve laktobasil sayısında artış bildirilmiş; performans parametrelerinde anlamlı fark saptanmamıştır.	Jung ve ark., 2008
Bacillus subtilis + MOS	Yemden yararlanma oranı, villusların yapısal ölçümlerinde ve göğüs verimi üzerinde olumlu etkiler bildirilmiştir.	Ali ve ark., 2023

Sinbiyotiklerin olumlu etkileri özellikle mannan oligosakkarit (MOS) ile kombinasyonunun kullanıldığı ticari broyler çalışmalarında karkas randımanının ve göğüs eti veriminin arttığı, yemden yararlanma oranının ise iyileştiği bildirilmiştir. Bu gelişmelerin bağırsak morfolojisinin iyileşmesi ve sindirim kapasitesinin artması ile bağlantılı olduğu düşünülmektedir (Ali ve ark., 2023; Ali ve ark., 2024). Ashayerizadeh ve ark. (2009) büyüme indekslerinde benzer iyileşmeler bildirmiş ve Mohnl ve ark. (2007) sinbiyotiklerin vücut ağırlığını %2,04 artırdığını ve mortaliteyi kontrol gruplarıyla kıyasladığında %0,9 azalttığını göstermiştir. Ancak, sinbiyotiklerin prebiyotikler veya probiyotiklerle karşılaştırıldığında her zaman iki kat sinerjistik etki göstermediği de gözlenmiştir. Etkinliklerinin, mikroorganizmaların uygulama dozuna, türüne ve uygulama koşullarına göre değiştiği düşünülmektedir. Tablo 5'te Krysiak ve ark. (2021)'e göre farklı yem katkı maddelerinin broyler iç organ gelişimi üzerine karşılaştırmalı etkileri verilmiştir.

Tablo 5: Farklı yem katkı maddelerinin broyler iç organ gelişimi üzerine karşılaştırmalı etkileri, gram (Krysiak ve ark., 2021)

Diyet Uygulaması	Kontrol	Prebiyotik	Probiyotik	Sinbiyotik
Proventrikulus	8,42	8,51	9,05	8,40
Taşlık	43,12	46,15	43,07	44,02
Karaciğer	64,77	66,65	61,72	62,15
Dalak	1,87	1,98	2,11	2,06
Bursa Fabricius	2,28	2,14	2,36	2,25

6. Postbiyotikler: Yeni Nesil Biyoaktif Bileşenler

6.1. Postbiyotiklerin Tanımı ve Kapsamı

Postbiyotik kelimesi Yunancadan gelmiş olup "post" son anlamına gelirken, "biyotik" kelimesi ise canlılık anlamına gelerek, canlılık sonrası anlamına ulaşılmaktadır. Postbiyotik kavramını ilk kez 2013 yılında Tsilingiri, probiyotik kaynaklı ve konakçı üzerinde doğrudan ya da dolaylı faydalı etkiler oluşturabilen metabolitler şeklinde ortaya koymuştur. Daha sonra yapılan çalışmalar göstermiştir ki yalnızca metabolitlerin değil, inaktive edilmiş mikroorganizmaların ve onların hücre bileşenleri de yararlı etkiler gösterebilmektedir. Postbiyotik kavramı literatürde zaman içinde farklı isimlerle adlandırılmıştır. Bunlar; Paraprobiyotikler, Canlı olmayan probiyotikler, İnaktive probiyotikler, Isıl işlem görmüş probiyotikler, Tyndallize probiyotikler, Hücre lizatları, Metabiyotikler, Hayalet probiyotiklerdir. Daha sonra bu karmaşayı önlemek için postbiyotik tanımını 2021 yılında ISAPP daha kapsayıcı ve net bir hale getirmiştir. Postbiyotikler, sadece canlı olmayan mikroorganizmalar değil bu mikroorganizmaların metabolitlerinden de oluşan, konakçı sağlığı üzerinde yararlı etkiler gösteren preparatlar olarak tanımlanmıştır (Salminen ve ark., 2021; Taojing Yue'nin ve ark., 2025).

6.2. Postbiyotikleri Diğer Biyotiklerden Ayıran Özellikler

Postbiyotiklerin, probiyotiklere kıyasla önemli avantajları bulunmaktadır. Canlı olmadıklarından, translokasyon ve virülans reversiyonu riski bulunmaz. Bu da özellikle immün sistemi baskılanmış hayvanlarda güvenli kullanım olanağı sunmaktadır (Piqué ve ark., 2019). Antibiyotik direncinin gelişmesine veya direnç genlerinin transferine neden olmazlar (Özbay-Arı ve Yılmaz-Ersan, 2024).

Isıya dayanıklı olduklarından, yem peletleme işlemi sırasında (70-90°C) aktivitelerini devam ettirirler. Probiyotikler sıklıkla bu işlemler sırasında canlılığını kaybederken, postbiyotikler ise termostabil yapısı sayesinde probiyotiklerden avantajlıdır (Barros ve ark., 2020).

Standardize edilebilir özellikleri sayesinde, üretim sürecinin (sıcaklık, pH, inaktivasyon yöntemi) kontrollü bir şekilde uygulanabilir olmasından kaynaklı, her partide aynı bileşime sahip ürünler elde edilebilir (Aguilar-Toalá ve ark., 2018).

Yem katkısı olarak veya kullanıldığı alanlarda 5 yıla kadar dayanıklılığını ve stabilitesini koruma özelliğinden dolayı, kısaca raf ömrü uzun olması tercih edilmesinde etkili olmaktadır (Jakub Urban ve ark.,2024). Oda sıcaklığında 24 aya kadar stabil kalabilmekte, bu da taşıma, depolama, dağıtım ve tedarik süreçlerinde avantaj sağlamaktadır (Moradi ve ark., 2020).

6.3. Mikroorganizma Seçimi

Postbiyotik üretimi için mikroorganizma seçimi yapılırken, öncelikle seçilen mikroorganizma güvenli olmalı, patojenik olmamalı ve toksik etki göstermemelidir. Ayrıca mikroorganizmanın sadece türü değil, hangi suşun kullanıldığının da bilinmesi önemlidir. Çünkü üretim sürecinin takibini ve ürünün standardizasyonunu daha kolay hale getirir (Salminen ve ark., 2021; Vinderola ve ark., 2024). Seçilen mikroorganizmanın organik asitleri, kısa zincirli yağ asitlerini, bakteriyosinleri ve enzimleri, kısaca yararlı metabolitleri üretebilmesi mikroorganizma seçimini yaparken değerlendirilmesi gereken bir ölçüttür. Bu metabolitler bağırsak ortamının iyileştirilmesinde, patojen bakterilerin baskılanmasında ve bağışıklığın desteklenmesinde etkili olabilmektedir (Biagini ve ark., 2026; Chang ve ark., 2022).

Bunun yanında, postbiyotik üretiminde kullanılacak mikroorganizmanın seçiminde, kanatlı bağırsak sağlığıyla ilişkili olması, yani bağırsak mikrobiyotası, sindirim, bağışıklık veya bağırsak bariyer bütünlüğü üzerinde olumlu etki potansiyeli göstermesi beklenir. Broylerlerde yapılan çalışmalarda *Lactiplantibacillus plantarum* kaynaklı postbiyotiklerin bağırsak sağlığı, müsin üretimi, bağırsak geçirgenliğini kontrol eden sıkı bağlantı proteinleri ve bağışıklık yanıtı üzerinde olumlu etkiler oluşturabildiği bildirilmiştir (Chang ve ark., 2022).

Mikroorganizma seçiminde bir diğer önemli nokta, inaktivasyon işleminden sonra biyolojik etkinin devamlılığının sağlanabilmesidir. Çünkü postbiyotiklerde mikroorganizmalar canlı olmadığından asıl etkisini daha çok hücre duvarı bileşenlerinden, hücre parçalarından ve metabolitler üzerinden ortaya koyar. Bu yüzden kullanılan inaktivasyon yöntemi; postbiyotik ürününün bileşimini, biyolojik aktivitesini değiştirebileceğinden doğru bir seçim yapılmalıdır. (Salminen ve ark., 2021; Biagini ve ark., 2026). Ayrıca seçilen mikroorganizmanın endüstriyel ölçekte üretilebilir olması, depolama ve işleme koşullarına dayanıklı olması da pratik kullanımı bakımından önem arz eder (Salminen ve ark., 2021; Vinderola ve ark., 2024).

Bu özellikler doğrultusunda kanatlılarda postbiyotik üretimi için en çok kullanılan mikroorganizmalar; laktik asit bakterileri, özellikle *Lactiplantibacillus plantarum*, ayrıca Bacillus türleri ve maya kaynaklı mikroorganizmalardır. *L. Plantarum'un*, broylerlerde büyüme performansını, bağırsak bariyerini ve bağışıklığı pozitif yönde etkilediği görülmüştür (Chang ve ark., 2022). *Bacillus subtilis* kaynaklı postbiyotikler ise büyüme performansı, bağışıklık ve yaşam kalitesi üzerinde olumlu etkiler göstermiştir (Li ve ark., 2024). Maya fermantasyon ürünlerinden özellikle *Saccharomyces cerevisiae* kaynaklı ürünler kanatlı beslemede bağırsak sağlığı ve performansı açısından değerlendirilen postbiyotiklerdendir (Shanmugasundaram ve ark., 2022).

6.4. Canlılığın Sonlandırılması

Postbiyotikler, probiyotiklerden farkı olarak canlı mikroorganizma içermezler. Bu yüzden fermantasyonla veya kültür üretiminden sonra mikroorganizmaların canlılıkları kontrollü bir şekilde, farklı işlemler kullanılarak sonlandırılır. ISAPP bu inaktivasyon işleminin; bilinçli bir şekilde, kontrollü olarak yapılması ve tekrarlanabilir olması gerektiğini bildirmiştir (Salminen ve ark., 2021; Vinderola ve ark., 2024).

Kullanılan temel yöntemlerden biri ısıl işlemdir. Mikroorganizmanın canlılığı pastörizasyon, sterilizasyon ve benzeri sıcaklık uygulamaları kullanılarak sonlandırılır. Isıl işlem, postbiyotik üretim sürecinde uygulanan en yaygın yöntemlerden biridir. Uygulanan sıcaklık derecesi ve işlemin uygulanma süresi ürünün hücre bileşenlerini, metabolitlerini, biyolojik etkinliğini, tadını ve besin değerini etkiler. Bu sebeplerden dolayı, ısıl işlem her zaman güvenilir olmayabilir (Salminen ve ark., 2021; Vinderola ve ark., 2024).

UV uygulaması da mikroorganizmaları inaktive etmek için kullanılabilen yöntemlerdendir. UV ışınları mikroorganizmanın genetik materyali üzerine etki ederek, hücrenin çoğalmasını ve canlılığını engeller (Pimentel ve ark., 2023).Bir diğer yöntem de ultrasonikasyondur. Ses dalgalarıyla oluşturulan fiziksel etki, hücre zarını ve hücre yapısını bozar. Bu yöntem canlılığı etkilediği gibi bazı hücre bileşenlerinin de ortaya çıkmasını sağlar (Pimentel ve ark., 2023, Vinderola ve ark., 2024).

Yüksek basınç, postbiyotik elde edilmesinde kullanılan fiziksel inaktivasyon yöntemlerindendir. Bu yöntemde uygulanan basınç, mikroorganizmanın hücre yapısını ve membran bütünlüğünü bozarak canlılığının sonlandırılmasını sağlar. Yüksek basınç uygulamasının ısıl işleme göre avantajı, bazı biyoaktif bileşenlerin inaktivasyon sırasında daha iyi korunmasını sağlamasıdır (Biagini ve ark.,2026).

Darbeli elektrik alan uygulaması, elektrik alanının etkisiyle hücre membranında geçirgenlik artışı sağlar ve yapısal bozulmaya sebep olarak mikroorganizmanın inaktive edilmesini sağlar (Pimentel ve ark., 2023).

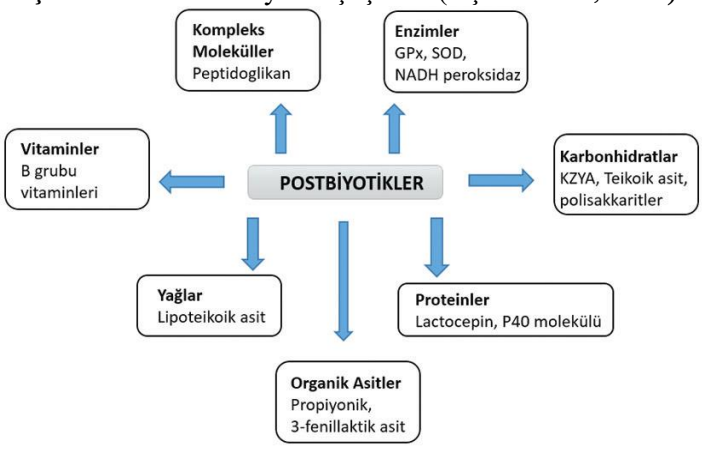
Işınlama yöntemi, hücresel yapıların ve genetik materyalin üzerine etki ederek inaktivasyon sağlar. Postbiyotik üretiminde kullanılmasındaki temel amaç, biyolojik aktif bileşenlerin korunarak, canlılığı ortadan kaldırmaktır (Pimentel ve ark., 2023).Hava uygulanarak, dondurarak ve spreyle kurutma işlemleri de yapılabilir. Probiyotik suşların, mikroorganizmaların canlılığı ve immünomodülatör özellikleri üzerinde güçlü etkileri vardır. Spreyle kurutma yöntemi, sıvı veya yarı sıvı yapıdaki materyalin sıcak hava akımıyla kısa sürede kurutularak toz forma dönüştürülmesiyle elde edilen bir yöntemdir. Bu teknik, mikrobiyal kültürlerin kurutulmuş ve kullanılabilir forma gelebilmesi için, dondurarak kurutmaya göre daha ekonomik bir alternatif olabilmektedir (Salminen ve ark., 2021).Bazı postbiyotik preparatlar hazırlanırken enzimatik veya mekanik lizis yöntemlerinden faydalanılır. Bu yöntemlerde hücre duvarı ve zarı parçalanarak peptidoglikanlar, teikoik asitler, hücre içi proteinler, peptitler ve diğer biyolojik aktif bileşenler de açığa çıkarılır (Salminen ve ark., 2021; Vinderola ve ark., 2024).

6.5.Postbiyotiklerin Sınıflandırılması

Postbiyotikler, tek bir bileşen grubundan oluşmadığı için farklı ölçütlere göre sınıflandırılabilirler. Genel olarak postbiyotiklerin sınıflandırılmasında ürünün gösterdiği fizyolojik etki, içerdiği mikrobiyal bileşenler, metabolit yapısı ve elde edildiği mikroorganizma kaynağı dikkate alınmaktadır. Postbiyotiklerin mikrobiyal kaynaklarına göre sınıflandırılmasında, özellikle laktik asit bakterileri, *Bacillus* türleri ve maya kaynaklı postbiyotikler öne çıkmaktadır. *Lactiplantibacillus plantarum* kaynaklı postbiyotikler ise broylerlerde sıkça kullanılan postbiyotikler arasındadır (Chang ve ark., 2022). *Bacillus subtilis* kaynaklı postbiyotikler, broylerlerde performansı, bağışıklığı ve yaşama gücünü arttırması bakımından, değerli bir mikroorganizmadır (Li ve ark., 2024).

Maya ve maya fermantasyon ürünleri ise bağırsak sağlığı, mikrobiyota dengesi ve bağışıklık yanıtı ile ilişkilendirilen postbiyotik ürünler arasında ele alınmaktadır (Biagini ve ark., 2026).
Kaynaklarına göre sınıflandırmanın yanında etkilerine göre de sınıflandırılabilirler. Bu kapsamda anti-inflamatuar, antioksidan, antihipertansif, antiproliferatif, antimikrobiyal, hipokolesterolemik ve immünomodülatör aktivite gösteren postbiyotikler bu grubun içerisinde değerlendirilirler (Özbay-Arı ve Yılmaz-Ersan, 2024).

Şekil 7: Bazı Postbiyotik Çeşitleri (Açar ve ark., 2021)



Diğer bir sınıflandırma, postbiyotiklerin hücre yapısına ait bileşenlerini ve bunların metabolitlerini kapsamaktadır. Hücre yapısına ait postbiyotik bileşenler arasında muramil dipeptit, teikoik asit, lipoteikoik asit, lipopolisakkarit, peptidoglikan, hücre duvarı proteinleri, hücre lizatları ve ekzopolisakkaritler yer almaktadır (Salminen ve ark.,2021; Vinderola ve ark., 2024; Özbay-Arı ve Yılmaz-Ersan, 2024). Postbiyotiklerin oluşturduğu mikrobiyal metabolitlerde ise probiyotik mikroorganizmalar tarafından salgılanan enzimler, proteinler, kısa zincirli yağ asitleri, vitaminler, biyosürfaktanlar, amino asitler, peptitler, organik asitler, antimikrobiyal peptitler, fenilasetik asit, D-amino asitler, hidrojen peroksit, uçucu organik bileşikler, fitoöstrojenler, ürolitinler, fulvik asitler, laktospin, indol ve glutatyon gibi biyoaktif maddeler bulunmaktadır (Özbay-Arı ve Yılmaz-Ersan, 2024). Postbiyotik bileşenlerin bazıları Şekil 7'de gösterilmiştir.
Postbiyotik bileşenler içerisinde B vitaminleri de yer alır. Biyotin, kobalamin, folatlar, nikotinik asit, pantotenik asit ve piridoksin gibi B vitaminleri mikrobiyal metabolizma sonucunda oluşabildikleri için konak metabolizması açısından destekleyici olabilirler. Bunun yanında K vitamini de postbiyotikler içerisinde değerlendirilen mikrobiyal kökenli bileşenler arasına girmektedir (Özbay-Arı ve Yılmaz-Ersan, 2024).Kısa zincirli yağ asitleri; özellikle asetat, propiyonat ve bütiratlar da postbiyotikler arasındadır. Glutatyon ise, postbiyotikler arasında yer alan antioksidan özellik gösteren yapılardandır. Benzer şekilde hidrojen peroksit ve bazı uçucu organik bileşikler, mikrobiyal metabolizma sonucu oluşabilen ve antimikrobiyal etki gösteren postbiyotiklerdendir (Özbay-Arı ve Yılmaz-Ersan, 2024).
Postbiyotiklerin antimikrobiyal özellikleri açısından antimikrobiyal peptitler, bakteriyosinler, organik asitler ve fenilasetik asit dikkat çeker (Aguilar-Toalá ve ark., 2018; Nataraj ve ark., 2020; Özbay-Arı ve Yılmaz-Ersan, 2024)
Postbiyotik kapsamında değerlendirilen diğer bileşenler arasında asitler, amino asitler, peptitler, enzimler, proteinler ve biyosürfaktanlar da bulunmaktadır. Bu bileşenler sindirim süreçleri, mikrobiyal etkileşimler, bağırsak yüzeyine tutunma ve patojenlerin baskılanması gibi farklı mekanizmalarda çalışabilir. Özellikle enzimler ve peptitler, yem bileşenlerinin parçalanması ve besin maddelerinden yararlanmayı artırabilmesi açısından beslemede önemlidir (Özbay-Arı ve Yılmaz-Ersan, 2024).Ayrıca daha çok genel sağlık, antioksidan kapasite ve metabolik düzenleme gibi etkiler gösteren fitoöstrojenler, özellikle equol, enterolakton ve enterodiol gibi bileşenler de postbiyotik metabolitler arasında belirtilmektedir. Bunun yanında ürolitin A ve ürolitin B gibi mikrobiyal dönüşüm ürünleri de postbiyotik kapsamda değerlendirilen biyoaktif bileşenlerdendir (Özbay-Arı ve Yılmaz-Ersan, 2024).
Bir de mikroorganizmalara uygulanan inaktivasyon yöntemlerine göre de sınıflandırılabilirler.

Isıl işlem, pastörizasyon, sterilizasyon, UV uygulaması, ultrasonikasyon, yüksek basınç, ışınlama, darbeli elektrik alan ve lizis gibi çeşitli yöntemlerle canlılığını kaybetmiş mikroorganizma olabilir (Salminen ve ark., 2021; Vinderola ve ark., 2024)

6.6. Postbiyotiklerin Bileşenleri ve Fonksiyonel Özellikleri

İnaktivasyon sonrasında ürün canlı hücre içermediğinden, mikrobiyal hücre duvarı bileşenleri, hücre içi moleküller ve fermantasyon metabolitleri postbiyotik etkinin ortaya çıkmasını sağlar. Ayrıca postbiyotiklerin fonksiyonel özelliklerinin hem suşa hem de fermantasyon ortamına bağlı olduğu belirlenmiştir (Chang ve ark.,2020).

Burada önemli olan temel nokta, hücresiz süpernatantların veya saf mikrobiyal metabolitlerin postbiyotik preparat içerisinde yer alabileceği, ancak ISAPP tarafından yapılan tanımlamada da gördüğümüz üzere, yalnızca saf metabolitlerden oluşan ürünlerin hala tek başlarına postbiyotik olarak görülmemesidir. Bu ürünlerin postbiyotik olarak nitelendirilebilmesi için, canlı olmayan mikroorganizmalar ve bunların metabolitlerini içermesi gerekmektedir (Salminen ve ark., 2021; Vinderola ve ark., 2024). Tablo 6'da ise bu metabolitler ve fonksiyonları verilmiştir.

Tablo 8: Postbiyotik Metabolitler ve Fonksiyonel Özellikleri

Metabolit	Kaynak	Fonksiyonel Özellik	Referans
Organik Asitler (Laktik, Asetik, Kaproik Asit)	*Lactobacillus* spp.	Antimikrobiyal aktivite, pH'ı düşürerek bağırsak pH'sını düzenleme	(Chang ve ark., 2020)
Bakteriyosinler	*Lactobacillus*, *Bacillus* spp.	Patojen inhibisyonu	(Dankowiakowska ve ark., 2013)
Kısa Zincirli Yağ Asitleri	Bağırsak mikrobiyotası	Bağırsak bariyer bütünlüğünü ve sağlığını koruma, enerji kaynağı sağlama	(Shehata ve ark., 2022)
Ekzopolisakkaritler	Laktik asit bakterileri	İmmünomodülasyon etki, antioksidan aktivite	(Aggarwal ve ark., 2022)
Hücre Duvarı Bileşenleri	Gram-pozitif bakteriler	Bağışıklık sistemi uyarımı	(Aggarwal ve ark., 2022)
Hidrojen Peroksit	Laktik asit bakterileri	Antimikrobiyal aktivite	(Dankowiakowska ve ark., 2013)

6.7. Postbiyotiklerin Etki Mekanizmaları

Postbiyotiklerin etki mekanizması; inaktif mikrobiyal hücreler, hücre duvarı bileşenleri, hücre lizatı ve fermentasyon sonucu oluşan metabolitler açısından açıklanmaktadır. ISAPP tanımına dayanarak postbiyotikler canlı olmayan mikroorganizmalar veya bunların bileşenlerinden oluştuğu için probiyotiklerden farklı şekilde etki gösteremezler, ancak canlı hücreler bulunmadığından, daha stabil ve daha güvenli bir seçenek olarak değerlendirilebilirler (Salminen ve ark., 2021; Vinderola ve ark., 2024). Peptidoglikan, lipoteikoik asit, muramil dipeptit, ekzopolisakkaritler, bakteriyosinler, organik asitler ve kısa zincirli yağ asitleri gibi postbiyotiklerin tüm bileşenleri intestinal epitel hücreleri, bağışıklık hücreleri ve bağırsak mikrobiyotası üzerinde etki gösterebilir (Nataraj ve ark., 2020; Vinderola ve ark., 2024).

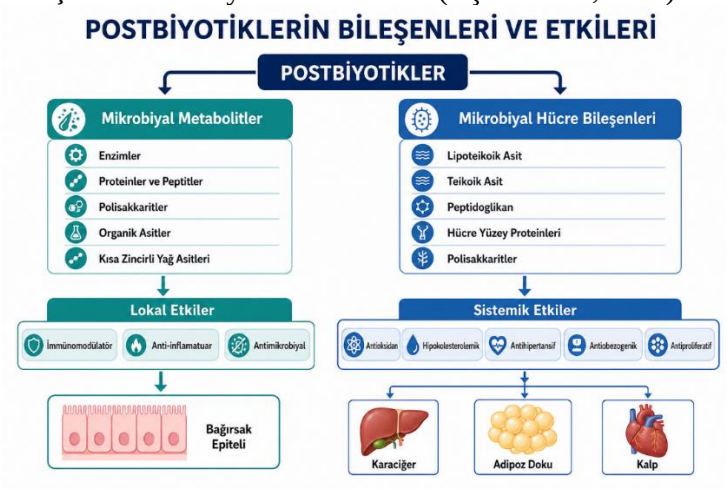
Antimikrobiyal aktivite, postbiyotiklerin etki mekanizmalarından biridir. Organik asitler ve bakteriyosinler pH'ı düşürerek veya bakteriyel hücre zarlarını değiştirerek patojen mikroflorayı inhibe eder. Özellikle, *Lactiplantibacillus plantarum* gibi laktik asit bakterileri tarafından elde edilen postbiyotiklerin; *Listeria monocytogenes*, vankomisine dirençli enterokoklar, *Salmonella typhimurium* ve *Escherichia coli* dahil olmak üzere patojenleri inhibe ettiği gösterilmiştir (Izuddin ve ark., 2020; Nataraj ve ark., 2020).

Kanatlı beslemede bu etki özellikle *Salmonella, E. coli* ve diğer enterik patojenlerin kontrolü açısından önemlidir (Biagini ve ark., 2026). *L. reuteri* tarafından üretilen Reuterin, antipatojenik etki gösteren bir moleküldür ve bakteriyel büyümenin oluşturduğu oksidatif strese bu bakterileri inhibe ederek engel olur (Açar ve ark., 2021).

Diğer bir mekanizma ise antioksidan aktiviteleridir. Hayvanların normal metabolizması sırasında veya ısı stresi, enfeksiyon, aşılama gibi durumlarda oluşan reaktif oksijen türleri (ROS) veya serbest radikaller ve bunların neden olduğu oksidatif hasarı azaltabildikleri gözlenmişir. Laktik asit bakterilerinden elde edilen, ekzopolisakkaritlerin ve L. plantarum kaynaklı postbiyotiklerin antioksidan özellik göstererek; reaktif oksijen türlerini yok ettiği, lipit peroksidasyonunun etkilerini azalttığı ve antioksidan savunmasını destekleyerek etkiler oluşturduğu gözlenmiştir (Scott ve ark., 2022; Chang ve ark., 2022).

Postbiyotiklerin sağladığı önemli bir etki mekanizması da immünomodülasyondur. Hücre duvarı bileşenleri ve metabolitler, konağın bağışıklık sistemiyle etkileşime giriyorlar ve sitokin yanıtlarını düzenleyebiliyorlar. Isı stresi altındaki broylerlerde postbiyotik takviyesinin, pro-inflamatuar etki gösteren sitokinlerden olan TNF-α ve IL-1β düzeylerini ve IL-2 yi baskılayabildiği ayrıca anti-inflamatuar etki gösteren sitokin IL-10,IL-4 ve IL-6 düzeyini ise artırabildiği bildirilmiştir (Humam ve ark., 2019; Nataraj ve ark., 2020, Yue ve ark., 2025; Açar ve ark., 2021). Bu da postbiyotiklerin inflamasyonu azaltarak bağırsak homeostazının korunmasına katkı sağladığını bize gösteriyor (Humam ve ark., 2019). Broylerlerde yapılan bir çalışmada postbiyotik takviyesinin plazma immünoglobulin düzeyini, özellikle IgG ve IgM konsantrasyonlarını olumlu etkilediği bildirilmiştir (Humam ve ark., 2019). Şekil 8'de mikrobiyal hücre bileşenleri ile metabolitlerin etkileri özetlenmiştir.

Şekil 8: Postbiyotiklerin etkileri (Açar ve ark., 2021)



Postbiyotikler ayrıca bağırsak bariyerinin sağlığını ve işlevini destekleyebilir. Postbiyotiklerde bulunan ekzopolisakkaritler, kısa zincirli yağ asitleri ve mikrobiyal hücre duvarı bileşenleri gibi moleküller, müsin salgısını teşvik ederek ve bu hücrelerin geçirgenliğiyle ilişkili sıkı bağlantı proteinlerini düzenleyerek, bağırsak epitelinin korunmasına katkı sağlar. Böylece bağırsak geçirgenliğini kontrol etmiş olur ve zararlı mikroorganizmaların veya toksinlerin bağırsak duvarından geçmesine izin vermezler (Chang ve ark., 2022). Chang ve ark.,2022' de yaptığı in vivo çalışmada, broylerlerde bağırsak bariyerinin stabilitesi ve müsin üretimi de dahil olan gen ekspresyonu üzerindeki olumlu etkileri *L. plantarum'un* farklı suşlarında gözlenmiştir.

Ancak postbiyotiklerin etkilerinin; kullanılan mikroorganizma türüne, suşa, postbiyotik bileşiminin yapısına, inaktivasyon yöntemine, uygulama dozuna ve hayvanın fizyolojik durumuna göre farklılık gösterdiği unutulmamalıdır (Aggarwal ve ark. (2022); Nataraj ve ark., 2020; Vinderola ve ark., 2024).

Postbiyotikler anti-inflamatuar etkiler de gösterebilir. Bağırsakta inflamasyonun azaltarak, enerji kullanımının büyümeye ve verimin artmasına yönelik öncelik vermesini sağlar (Biagini ve ark., 2026).

Postbiyotiklerin inflamasyonu azaltıcı etkileri; bağırsak bariyerinin korunmasına, patojen yükünün azaltılmasına ve bağışıklık yanıtının daha güçlü hale gelmesinde de katkısı olduğu düşünülmektedir (Açar ve ark., 2021, Özbay-Arı ve Yılmaz-Ersan, 2024).

7. Sonuç

Kanatlı üretiminde verimlilik, hayvan sağlığı, gıda güvenliği ve sürdürülebilirlik birbirleriyle bağlantılı olan temel unsurlardır. Yoğun üretim koşullarında büyüme performansının arttırılması, yemden yararlanmanın iyileştirilmesi ve çeşitli hastalıkların kontrol altına alınması amacıyla uzun yıllar antibiyotiklerden yararlanılmıştır. Ancak antibiyotik kullanımı sonucunda birçok risk fark edilmiştir. Bunlardan bazıları hayvanların antibiyotiklere karşı direnç geliştirmiş olması, mevcut mikrobiyal dengeyi bozması ve halk sağlığı açısından tehdit oluşturmasıdır. Daha sonra yemlere antibiyotik katkısı yasaklanmış, bu da beraberinde kanatlı beslemede daha güvenli ve fonksiyonel alternatif kaynak arayışını zorunlu hale getirmiştir. Bu doğrultuda da probiyotiklere, prebiyotiklere, sinbiyotiklere ve son yıllarda ise postbiyotiklere olan ilgi giderek artmıştır. Bu seminerde ele alınan bilgiler doğrultusunda, kanatlılarda bağırsak mikrobiyotasının sadece sindirim ve emilimle ilgili bir yapı olmadığını; bağışıklık yanıtı, patojenlere direnç, metabolik denge, bağırsak bariyer bütünlüğü ve yemden yararlanma üzerinde de etkin bir role sahip, dinamik bir yapı olduğunu görmekteyiz. Mikrobiyotanın hayvanın türüne, yaşına, genetik yapısına, beslenmesine, çevrenin etkisine, strese ve antibiyotik kullanımına bağlı olarak çok sayıda faktörden etkilenmesi, bağırsak sağlığının yönetiminde besleme stratejilerinin önemini daha da değerli kılmaktadır. Bu nedenle kanatlı rasyonlarında kullanılan fonksiyonel yem katkılarını seçerken temel hedefimizin, mikrobiyal dengeyi desteklemek, patojen varlığını azaltmak ve bağırsak bariyerini güçlendirmek olması gerekmektedir.Probiyotikler, yeterli miktarda alındığında konakçı sağlığı üzerinde olumlu etki gösterebilen canlı mikroorganizmalardır. Kanatlılarda probiyotik kullanımı, bağırsaktaki yararlı bakteri popülasyonunu artırarak, patojen mikroorganizmaları baskılayarak, bağışıklık sistemini uyararak ve yemden yararlanma oranını iyileştirerek işlev görmektedir. Ancak probiyotiklerin canlı mikroorganizmalar olmasından kaynaklı çeşitli sorunlarla karşılaşılmakta, bu yüzden kullanımını daha güvenli kılmak için probiyotik seçiminde güvenilirlik, mide asidi ve safra tuzlarına dayanıklılık, bağırsak epiteline tutunabilme, antimikrobiyal madde üretme, yem işleme sırasındaki yüksek sıcaklığa karşı dayanıklılık özellikleri dikkate alınmalıdır.

Prebiyotikler ise sindirilemeyen ancak bağırsaktaki yararlı mikroorganizmalar için substrat gelişimini destekleyen bir bileşen olarak temel etkileri, bağırsak mikrobiyotasını olumlu yönde düzenlemek ve özellikle *Laktobasil* ile *Bifidobakteri* gibi yararlı mikroorganizmaların çoğalmasını desteklemektir. Prebiyotiklerin fermantasyonu sonucunda oluşan kısa zincirli yağ asitleri; bağırsak epitel hücrelerine enerji sağlamakta, bağırsak pH'sını düzenlemekte, patojenlerin gelişimini sınırlamakta ve bağışıklık sisteminin dengelenmesine katkı sağlamaktadır. Özellikle mannan-oligosakkaritler (MOS), patojen bakterilerin fimbrialarına bağlanarak bağırsak epiteline tutunmalarını engelleyerek spesifik bir koruma mekanizmasına sahiptir. Bu özellikleri nedeniyle prebiyotikler önemli yem katkılarından biri olarak görev alabilmektedirler.

Sinbiyotikler, probiyotik ve prebiyotiklerin kombine kullanılmasıyla oluşturulurlar. Seçilen prebiyotik bileşen, probiyotik mikroorganizmanın bağırsakta canlılığını ve etkinliğini destekleyerek daha güçlü bir etkileşim oluşturabilmektedir. Kanatlılarda sinbiyotik kullanımı, bağırsak mikrobiyotasının dengelenmesi, villus gelişiminin desteklenmesi, bağışıklık fonksiyonlarının iyileştirilmesi ve yemden yararlanmanın artırılması açısından önemli görevlere sahiptir. Yapılan çalışmalarda da görüldüğü üzere sinbiyotik uygulamalarının broylerlerde canlı ağırlık artışı, yemden yararlanma oranı, karkas randımanı ve göğüs eti verimi üzerinde olumlu etkiler sağladığı kanıtlanmıştır. Ancak her sinbiyotik kombinasyonu aynı etkiyi göstermemektedir. Olumlu sinbiyotik etkinin ortaya çıkabilmesi için probiyotik suş ile prebiyotik bileşenin birbiriyle uyumlu olması gerektiği unutulmamalıdır.

Postbiyotikler, canlı olmayan mikroorganizmalar ve bu mikroorganizmalara ait hücresel bileşenler ile metabolitleri içeren preparatlar olarak probiyotiklerden en önemli farkları canlıklarını kaybetmiş olmalarıdır. Postbiyotikler depolanma, yem işleme, güvenlik ve standardizasyon açısından da avantaja sahiptirler. Isıl işlem, pastörizasyon, sterilizasyon, UV, ultrasonikasyon, yüksek basınç, darbeli elektrik alan veya lizis gibi inaktivasyon yöntemleriyle elde edilen postbiyotikler, kullanılan mikroorganizma türüne, suşuna, üretim ortamına, inaktivasyon yöntemine, dozuna ve uygulama süresine bağlı etkinlikleri değişebilen yapılardır.

Bu nedenle postbiyotiklerin değerlendirilmesinde bu durumlar göz önünde bulundurulmalıdır. Postbiyotiklerin organik asitler, bakteriyosinler, kısa zincirli yağ asitleri, ekzopolisakkaritler ve hücre duvarı bileşenleri aracılığıyla antimikrobiyal, antioksidan, anti-inflamatuar ve immünomodülatör etkiler gösterebildiği gözlenmiştir. Bu etkiler sayesinde postbiyotikler bağırsak bariyerinin korunması, patojen yükünün azaltılması, bağışıklık yanıtının düzenlenmesi ve performansın desteklenmesi açısından umut vadeden yeni nesil yem katkıları olarak değerlendirilmektedir.

Sonuç olarak probiyotikler, prebiyotikler, sinbiyotikler ve postbiyotikler, antibiyotiklerin yerini alabilecek alternatifler arayışında kanatlı beslemede bağırsak sağlığını destekleyen ve giderek önem kazanan fonksiyonel katkı maddeleri olduğu görülmektedir. Bu katkılar farklı mekanizmalarla etki gösterseler de ortak hedefleri bağırsak mikrobiyotasının dengelenmesi, patojen baskısının azaltılması ve bağışıklık yanıtının düzenlenmesidir. Ancak bu ürünlerin etkinliği hayvan türü, doz, ürün bileşimi ve yetiştirme koşulları gibi faktörlere bağlı olarak değişebildiğinden, hangi koşullarda ne düzeyde etki sağlandığı henüz tam olarak netleşmemiştir. Bu nedenle bu katkı maddelerinin güvenilir biçimde kullanılabilmesi için ürünlerin iyi tanımlanması, standardize edilmesi ve hedef hayvan türlerinde kontrollü çalışmalarla desteklenmesi gerekmektedir.

KAYNAKÇA

Açar, Y., & Sökülmez Kaya, P. (2021). Postbiotics and their effects on health: Systematic review. Journal of Literature Pharmacy Sciences, 10(2), 276–284. https://doi.org/10.5336/pharmsci.2021-82004

Aguilar-Toalá, J. E., Garcia-Varela, R., Garcia, H. S., Mata-Haro, V., González-Córdova, A. F., Vallejo-Cordoba, B., & Hernández-Mendoza, A. (2018). Postbiotics: An evolving term within the functional foods field. Trends in Food Science & Technology, 75, 105–114. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.03.009

Awad, W. A., Ghareeb, K., Abdel-Raheem, S., & Böhm, J. (2009). Effects of dietary inclusion of probiotic and synbiotic on growth performance, organ weights, and intestinal histomorphology of broiler chickens. Poultry Science, 88(1), 49–56. https://doi.org/10.3382/ps.2008-00244

Biagini, L., Muollo, M. C., Galosi, L., Roncarati, A., De Bellis, D., & Rossi, G. (2026). Postbiotics in poultry nutrition: Mechanisms of action, health benefits and future perspectives. Agriculture, 16(3), Article 387. https://doi.org/10.3390/agriculture16030387

Chang, H. M., Foo, H. L., Loh, T. C., Lim, E. T. C., & Abdul Mutalib, N. E. (2021). Comparative studies of inhibitory and antioxidant activities, and organic acids compositions of postbiotics produced by probiotic Lactiplantibacillus plantarum strains isolated from Malaysian foods. Frontiers in Veterinary Science, 7, Article 602280. https://doi.org/10.3389/fvets.2020.602280

Chang, H. M., Loh, T. C., Foo, H. L., & Lim, E. T. C. (2022). Lactiplantibacillus plantarum postbiotics: Alternative of antibiotic growth promoter to ameliorate gut health in broiler chickens. Frontiers in Veterinary Science, 9, Article 883324. https://doi.org/10.3389/fvets.2022.883324

Chateau, N., Castellanos, I., & Deschamps, A. M. (1993). Distribution of pathogen inhibition in the Lactobacillus isolates of a commercial probiotic consortium. Journal of Applied Bacteriology, 74(1), 36–40. https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1993.tb02993.x

Crittenden, R., & Playne, M. J. (2008). Prebiotics. In S. Lee & S. Salminen (Eds.), Handbook of probiotics and prebiotics (2nd ed., pp. 533–581). Wiley. https://doi.org/10.1002/9780470432624.ch7

European Commission. (2005, December 22). Ban on antibiotics as growth promoters in animal feed enters into effect (Press release IP/05/1687). https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_05_1687

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2007). FAO technical meeting on prebiotics. FAO.

Fuller, R. (1989). Probiotics in man and animals. Journal of Applied Bacteriology, 66(5), 365–378. https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1989.tb05105.x

Gadde, U., Kim, W. H., Oh, S. T., & Lillehoj, H. S. (2017). Alternatives to antibiotics for maximizing growth performance and feed efficiency in poultry: A review. Animal Health Research Reviews, 18(1), 26–45. https://doi.org/10.1017/S1466252316000207

Hill, C., Guarner, F., Reid, G., Gibson, G. R., Merenstein, D. J., Pot, B., Morelli, L., Canani, R. B., Flint, H. J., Salminen, S., Calder, P. C., & Sanders, M. E. (2014). Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology, 11(8), 506–514. https://doi.org/10.1038/nrgastro.2014.66

Humam, A. M., Loh, T. C., Foo, H. L., Samsudin, A. A., Mustapha, N. M., Zulkifli, I., & Izuddin, W. I. (2019). Effects of feeding different postbiotics produced by Lactobacillus plantarum on growth performance, carcass yield, intestinal morphology, gut microbiota composition, immune status, and growth gene expression in broilers under heat stress. Animals, 9(9), Article 644. https://doi.org/10.3390/ani9090644

Kabir, S. M. L. (2009). The role of probiotics in the poultry industry. International Journal of Molecular Sciences, 10(8), 3531–3546. https://doi.org/10.3390/ijms10083531

Krysiak, K., Konkol, D., & Korczyński, M. (2021). Overview of the use of probiotics in poultry production. Animals, 11(6), Article 1620. https://doi.org/10.3390/ani11061620

Li, D., Fang, S., He, F., Fan, X., Wang, T., Chen, Z., & Wang, M. (2024). Postbiotic derived from Bacillus subtilis ACCC 11025 improves growth performance, mortality rate, immunity, and tibia health in broiler chicks. Frontiers in Veterinary Science, 11, Article 1414767. https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1414767

Mountzouris, K. C., Tsirtsikos, P., Kalamara, E., Nitsch, S., Schatzmayr, G., & Fegeros, K. (2007). Evaluation of the efficacy of a probiotic containing Lactobacillus, Bifidobacterium, Enterococcus, and Pediococcus strains in promoting broiler performance and modulating cecal microflora composition and metabolic activities. Poultry Science, 86(2), 309–317. https://doi.org/10.1093/ps/86.2.309

Nataraj, B. H., Ali, S. A., Behare, P. V., & Yadav, H. (2020). Postbiotics-parabiotics: The new horizons in microbial biotherapy and functional foods. Microbial Cell Factories, 19(1), Article 168. https://doi.org/10.1186/s12934-020-01426-w

Özbay-Arı, B., & Yılmaz-Ersan, L. (2024). Yeni nesil fonksiyonel bileşenler olarak postbiyotikler ve biyoaktif özellikleri. Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 38(2).

Pimentel, T. C., Cruz, A. G., Pereira, E., & Almeida da Costa, W. K. (2023). Postbiotics: An overview of concepts, inactivation technologies, health effects, and driver trends. Trends in Food Science & Technology, 138, 199–214. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.06.009

Piqué, N., Berlanga, M., & Miñana-Galbis, D. (2019). Health benefits of heat-killed (tyndallized) probiotics: An overview. International Journal of Molecular Sciences, 20(10), Article 2534. https://doi.org/10.3390/ijms20102534

Salminen, S., Collado, M. C., Endo, A., Hill, C., Lebeer, S., Quigley, E. M. M., Sanders, M. E., Shamir, R., Swann, J. R., Szajewska, H., & Vinderola, G. (2021). The International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of postbiotics. Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology, 18(9), 649–667. https://doi.org/10.1038/s41575-021-00440-6

Servin, A. L., & Coconnier, M. H. (2003). Adhesion of probiotic strains to the intestinal mucosa and interaction with pathogens. Best Practice & Research Clinical Gastroenterology, 17(5), 741–754. https://doi.org/10.1016/S1521-6918(03)00052-0

Shang, Y., Kumar, S., Oakley, B., & Kim, W. K. (2018). Chicken gut microbiota: Importance and detection technology. Frontiers in Veterinary Science, 5, Article 254. https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00254

Urban, J., Kareem, K. Y., Atanasov, A. G., Matuszewski, A., Bień, D., Ciborowska, P., Rygało-Galewska, A., & Michalczuk, M. (2024). Postbiotics, a natural feed additive for growth performance, gut microbiota and quality of poultry products. Current Research in Biotechnology, 8, Article 100247. https://doi.org/10.1016/j.crbiot.2024.100247

Vinderola, G., Sanders, M. E., Cunningham, M., & Hill, C. (2024). Frequently asked questions about the ISAPP postbiotic definition. Frontiers in Microbiology, 14, Article 1324565. https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1324565

Yue, T., Lu, Y., Ding, W., Xu, B., Zhang, C., Li, L., Jian, F., & Huang, S. (2025). The role of probiotics, prebiotics, synbiotics, and postbiotics in livestock and poultry gut health: A review. Metabolites, 15(7), Article 478. https://doi.org/10.3390/metabo15070478

Kırkpınar F, Atan H. Kanatlı hayvanların beslenmesinde sürdürülebilirlik stratejileri. Ege Üniv Ziraat Fak Derg. 2022;59(4):731–742.

Tetik K, Sareyyüpoğlu B. Tavuklarda sindirim sistemi mikrobiyotası ve önemi. Harran Üniv Vet Fak Derg. 2022;11(2):269–276.

Patterson JA, Burkholder KM. Application of prebiotics and probiotics in poultry production. Poult Sci. 2003;82:627–631.

Atılgan, C., & Karabıyıklı Çiçek, Ş. (2021). *Hayvanların beslenmesinde probiyotik ve prebiyotiklerin önemi ve sağlık üzerine etkileri*. Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi, 10(2), 24–35.

Naeem, M., & Bourassa, D. (2025). *Probiotics in poultry: Unlocking productivity through microbiome modulation and gut health*. Microorganisms, 13, 257.

Raza, A., Abbas, R. Z., Karadağoğlu, Ö., et al. (2024). *Role of probiotics in increasing meat and egg production in poultry: A review*. Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 30(6), 753–760.

Idowu, P. A., et al. (2025). *Impact of probiotics on chicken gut microbiota, immunity, behavior, and productive performance*. Frontiers in Animal Science, 6, 1562527.

Roto SM, Kwon YM, Ricke1 SC. 2016. Applications of in ovo technique for the optimal development of the gastrointestinal tract and the potential influence on the establishment of its microbiome in poultry. Frontiers in Veterinary Science. 3:63-doi: 10.3389/fvets.2016.00063.

Jha, R., Das, R., Oak, S., & Mishra, P. (2020). Probiotics (direct-fed microbials) in poultry nutrition and their effects on nutrient utilization, growth and laying performance, and gut health: A systematic review. *Animals, 10*(10), Article 1863.

Shehata, A. A., Yalçın, S., Latorre, J. D., Basiouni, S., Attia, Y. A., El-Wahab, A. A., Visscher, C., El-Seedi, H. R., Huber, C., Hafez, H. M., Eisenreich, W., & Tellez-Isaias, G. (2022). *Probiotics, prebiotics, and phytogenic substances for optimizing gut health in poultry*. Microorganisms, 10(2), 395.

İduğ, T., & Hızlı Güldemir, H. (2024). *Probiyotiklerin türleri, etki mekanizmaları ve metabolik etkileri: Güncel bir bakış*. İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi, 9(3), 457–462.

Karademir, G., & Karademir, B. (2003). Yem katkı maddesi olarak kullanılan biyoteknolojik ürünler (Derleme). *Lalahan Hayvancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi, 43*(1), 61–74.

Gülhan, T., Boynukara, B., & Develi, Z. Ş. (2018). *Veteriner hekimlikte probiyotik kullanımı*. Doğa ve Sürdürülebilirlik Derneği Yayın Organı, 1(1), 43–48.

Ezema, C. (2013). *Probiotics in animal production: A review*. *Journal of Veterinary Medicine and Animal Health, 5*(11), 308–316.

Ülger, İ., Büyükkılıç Beyzi, S., Kaliber, M., & Konca, Y. (2015). *Kanatlı sektöründe probiyotiklerin etkinliği ve geleceği* (*The effectiveness of probiotics in the poultry sector and their future*). *Tavukçuluk Araştırma Dergisi (Journal of Poultry Research), 12*(2), 7–12.

Arsène, M. M. J., Davares, A. K. L., Andreevna, S. L., Vladimirovich, E. A., Carime, B. Z., Marouf, R., & Khelifi, I. (2021). *The use of probiotics in animal feeding for safe production and as potential alternatives to antibiotics*. *Veterinary World, 14*(2), 319–328.

Dankowiakowska, A., Kozłowska, I., & Bednarczyk, M. (2013). *Probiotics, prebiotics and synbiotics in poultry – Mode of action, limitation, and achievements*. *Journal of Central European Agriculture, 14*(1), 467–478.

Doğan, M. (2011). Probiyotik bakterilerin etki mekanizması. *ABMYO Dergisi, 21*, 98–102.

Alloui, M. N., Szczurek, W., & Świątkiewicz, S. (2013). *The usefulness of prebiotics and probiotics in modern poultry nutrition: A review*. *Annals of Animal Science, 13*(1), 17–32.

Şimşek, B., Çiftçi, A., & Dalkılıç, B. (2014). Probiyotikler, prebiyotikler ve sağlık üzerine etkileri. *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 28*(1), 76–83.

Atuahene, D., Sam, B. A., Idan, F., Sana, S. S., Knop, R., Suthar, T., Kumar, H., & Shaikh, A. M. (2025). *Probiotics, prebiotics, and synbiotics in pigs and poultry: A review of gut health, performance, and environmental outcomes*. *Veterinary Sciences, 12*(11), 1054.

Barros, C. P., Guimarães, J. T., Esmerino, E. A., Duarte, M. C. K. H., Silva, M. C., Silva, R., Ferreira, B. M., Sant'Ana, A. S., Freitas, M. Q., & Cruz, A. G. (2020). *Paraprobiotics and postbiotics: Concepts and potential applications in dairy products. Current Opinion in Food Science, 32*, 1–8.

Moradi, M., Kousheh, S. A., Almasi, H., Alizadeh, A., Guimarães, J. T., Yılmaz, N., Lotfi, A., & Cruz, A. G. (2020). *Postbiotics produced by lactic acid bacteria: The next frontier in food safety*. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 19*(6), 3390–3415.

Ali, A., Rehan, S., Qureshi, A. S., Rashed, S., Nawaz, S., Kausar, R., Sharif, M. U., Umar, Z., Usman, M., Muneer, H., Abdullah, M., & Rizwan, M. (2024). *Use of prebiotic, probiotic and synbiotic growth promoters in the modern poultry farming: An updated review*. In P. Liu (Ed.), *Gut health, microbiota and animal diseases* (pp. 134–142). Unique Scientific Publishers. https://doi.org/10.47278/book.CAM/2024.005

Shanmugasundaram, R., Selvaraj, R. K., & Lilburn, M. S. (2022). *Effects of yeast cell wall supplementation on intestinal health, immune response, and performance in poultry*. *Poultry Science, 101*

Aggarwal, S., Sabharwal, V., Kaushik, P., Singh, A. K., Nain, L., & Suri, M. (2022). *Postbiotics: From emerging concept to application*. *Frontiers in Sustainable Food Systems, 6*, 887642.

Ali, A., Qureshi, A. S., Rehan, S., Deeba, F., & Usman, M. (2023). Prebiotic, probiotic, and antibiotic growth promoters use in commercial broilers: A comparative study. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society, 74*(3), 5929–5936.

Izuddin, W. I., Humam, A. M., Loh, T. C., Foo, H. L., & Samsudin, A. A. (2020). *Dietary postbiotic Lactobacillus plantarum improves serum and ruminal antioxidant*

Scott, E., De Paepe, K., & Van de Wiele, T. (2022). Postbiotics and their health modulatory biomolecules. Biomolecules, 12(11), 1640.

EFFECT OF SHORT-TERM EXPOSURE TO HIGH AMBIENT TEMPERATURE ON AEROBIC DETERIORATION IN CORN SILAGE

Asst. Prof. Dr. Emre YILMAZ
Department of Animal Nutrition and Nutritional Diseases, Faculty of Veterinary Medicine, Atatürk University, Erzurum, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-1004-6531

Özet
Yüksek çevre sıcaklıkları, silajların açılmasından sonra gerçekleşen aerobik süreçleri etkileyerek yem kalitesinin korunmasını güçleştirebilmektedir. Bu araştırma, yüksek çevre sıcaklığının (35,1 °C) mısır silajında açılma sonrası 48 saatlik aerobik maruziyet süresince kuru madde (KM), pH ve aerobik bozulma kinetiği üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla yürütüldü. Ticari bir süt sığırcılığı işletmesinden temin edilen mısır silajı, 1 kg kapasiteli çift cidarlı polietilen poşetlere mekanik olarak sıkıştırılarak dolduruldu ve havaya maruz bırakılmadan önce 100 saat süreyle kapalı olarak bekletildi. Bu ön inkübasyon süresinin sonunda, her poşetin geometrik merkezine standart hava maruziyetini sağlamak amacıyla 3 cm çapında bir açıklık oluşturuldu. Daha sonra silajlar kontrol (25,5 °C) ve yüksek sıcaklık (35,1 °C) koşullarında 48 saat süreyle inkübe edildi. İnkübasyon süresince silaj kütlesinin sıcaklığı 2 saatlik aralıklarla takip edildi. Silaj sıcaklığının ortam sıcaklığının 2 °C üzerine çıkması için gereken süre, yüksek sıcaklık koşullarında kontrol grubuna göre anlamlı düzeyde daha kısa bulundu (25,2 ± 2,28 ve 31,6 ± 2,61 saat; *p=0,003*). İnkübasyon sonunda, yüksek sıcaklık koşullarında silaj pH'sı kontrol grubuna göre belirgin şekilde daha yüksek bulundu (5,08 ± 0,064 ve 4,05 ± 0,050; *p<0,001*), buna karşılık KM oranı daha düşük olarak belirlendi (%27,5 ± 0,505 ve %29,6 ± 0,680*; p<0,001*). Bu bulgular, in vitro koşullarda yüksek çevre sıcaklığına maruz kalmanın mısır silajında aerobik bozulmayı hızlandırdığını ve aerobik stabilite süresini kısalttığını göstermektedir.
Anahtar Kelimeler: Aerobik stabilite, kuru madde, mısır silajı, pH, yüksek çevresel sıcaklık.

Abstract
High ambient temperatures may influence aerobic processes after silage opening, making the preservation of feed quality more challenging. This study investigated the effects of high ambient temperature (35.1 °C) on dry matter (DM), pH, and the kinetics of aerobic deterioration in corn silage during a 48-h aerobic exposure period following opening. Corn silage obtained from a commercial dairy farm was mechanically compacted into 1-kg double-layer polyethylene bags and held sealed for 10 h before exposure to air. At the end of this pre-incubation period, a 3-cm-diameter opening was made at the geometric center of each bag to ensure consistent air exposure. The silages were subsequently incubated for 48 h under either control (25.5 °C) or high-temperature (35.1 °C) conditions. Silage mass temperature was monitored at 2-h intervals throughout the incubation period. The time required for silage temperature to rise 2 °C above ambient temperature was significantly shorter under high-temperature conditions than in the control treatment (25.2 ± 2.28 vs. 31.6 ± 2.61 h; *p=0.003*). After 48 h of aerobic exposure, silage pH was markedly higher under high-temperature conditions than in the control treatment (5.08 ± 0.064 vs. 4.05 ± 0.050; *p<0.001*), whereas DM content was lower (27.5 ± 0.505 vs. 29.6 ± 0.680%; *p < 0.001*). These findings indicate that exposure to high ambient temperature under in vitro conditions accelerated aerobic deterioration and shortened the aerobic stability of small-scale corn silage.
Keywords: Aerobic stability, corn silage, dry matter, high ambient temperature, pH.

Introduction
Aerobic deterioration is an important process that can lead to quality losses in silage following exposure to air. In the presence of oxygen, the activity of aerobic microorganisms, particularly yeasts and molds, increases, resulting in metabolic heat production and a subsequent increase in silage temperature. This process may also lead to increases in pH and losses of dry matter and nutrients (Wilkinson & Davies, 2013; Borreani et al., 2018). Ambient temperature is an important environmental factor influencing the aerobic deterioration (Shan et al., 2021). The effects of high ambient temperature on aerobic stability have previously been demonstrated under different experimental conditions (Ashbell et al., 2002; Ünal et al., 2018; Shan et al., 2021).

These studies indicate that increasing temperature may enhance aerobic microbial activity and associated heat production, thereby accelerating the aerobic deterioration of silage. Ashbell et al. (2002) evaluated corn and wheat silages obtained from commercial bunker silos under aerobic conditions at 10, 20, 30, and 40 °C for 3 or 6 days and reported that the most pronounced deterioration occurred at 30 °C, where yeast counts, CO_2 production, and pH increases were also greater than other groups. Ünal et al. (2018) evaluated 500-kg bales of corn and wheat silage at 7–8, 24–25, and 32–33 °C for 15 days and monitored temperature development together with chemical and microbiological parameters using thermal imaging found that as the temperature increased, the duration of aerobic deterioration shortened, and deterioration was observed in the associated chemical and microbiological parameters. In contrast, Shan et al. (2021) used a smaller-scale system in which maize silage was packed into 1.5-L glass jars at a density of 220 kg DM/m³ and incubated at 23 and 33 °C for 168 h, with temperature and pH monitored throughout the experimental period, and reported findings consistent with a temperature-dependent acceleration of aerobic deterioration.

These studies demonstrate that the silage quantity and experimental procedures used in aerobic stability assays vary considerably. A reduction in sample size may increase heat loss to the surrounding environment and thereby limit heat accumulation within the silage; consequently, silage mass should be considered when evaluating aerobic stability based on temperature development (Honig, 1990; Weiss et al., 2016). Although larger silage masses provide an experimental system more representative of the bulk silage mass (Shan et al., 2021), smaller-scale systems offer practical advantages, including lower material requirements, reduced incubation space, easier preparation and handling of experimental units, and the ability to evaluate a larger number of samples. However, the effect of short-term exposure to high ambient temperature on aerobic deterioration of corn silage under small-scale experimental conditions remains insufficiently characterized. Therefore, the present study aimed to investigate the effect of short-term exposure to high ambient temperature on the aerobic deterioration of corn silage.

Materials and Methods

Silage Material and Experimental Design

Baled corn silage was obtained from the feed unit of the Cattle Farm within the Atatürk University Food and Livestock Research and Application Center. A bale was randomly selected, and silage samples were randomly collected from the central portion of the bale. The samples were placed into double-layer polyethylene bags at a rate of 1 kg per bag. Two temperature treatment groups were established, with five replicates per group. The silage was mechanically compressed within the bags, and the bags were sealed and transported to the laboratory for the pre-incubation procedure.

Pre-incubation and Temperature Treatments

The prepared silage samples were subjected to two different temperature conditions prior to aerobic exposure. The control group was maintained at 25.5 °C, whereas the heat stress group was maintained at 35.1 °C for 10 h under sealed conditions. The silage bags remained sealed throughout the pre-incubation period, after which aerobic exposure was initiated.

Aerobic Exposure and Determination of Aerobic Stability

Following the 10-h pre-incubation period, a circular opening with a diameter of 3 cm was made at the geometric center of each silage unit to expose the silage to ambient air. This procedure was considered the beginning of the aerobic exposure phase. The silage units were subsequently incubated aerobically for 48 h under their respective temperature conditions. The time at which the silage mass temperature rose to 2°C above the ambient temperature ($T_{mass} \geq T_{ambient} + 2°C$) was recorded as the aerobic stability threshold time of the silage (Ranjit & Kung, 2000).

pH Analysis

Silage pH was determined before aerobic exposure and at the end of the 48-h aerobic incubation period. For pH determination, 25 g of silage was mixed with 100 mL of distilled water and homogenized for 1 min using a glass stirring rod. The pH of the resulting suspension was measured using a Hanna pH211 pH meter (Bolsen et al., 1992).

Dry Matter Analysis

Dry matter (DM) content was determined before aerobic exposure and at the end of the 48-h aerobic incubation period. Silage samples were weighed and transferred into pre-weighed containers and dried at 60 °C for 48 h in a forced-air drying oven until a constant weight was achieved. Following drying, the samples were cooled in a desiccator and reweighed. Dry matter content was calculated as a percentage of the initial sample weight (AOAC, 2000).

Statistical Analysis

Statistical analyses were performed using an R and Java-based statistical analysis program developed by AelixLab (Türkiye). Differences between the control and high-temperature groups were evaluated using an independent-samples t-test. Statistical significance was declared at $p< 0.05$.

Findings and Discussion

Mass Temperature and Aerobic Stability

Silage mass temperature increased progressively during the 48-h aerobic exposure period in both experimental groups; however, the rate of temperature increase differed markedly between treatments. Silage exposed to 35.1 °C exhibited a more rapid increase in internal temperature than silage maintained at 25.5 °C (Figure 1). The aerobic stability threshold, defined as the time required for the internal silage temperature to increase by 2 °C above the ambient temperature, was reached significantly earlier in the heat stress group than in the control group (25.2 ± 2.28 vs. 31.6 ± 2.61 h, respectively; $p = 0.003$). This finding is consistent with previous studies showing that increasing ambient temperature can shorten the aerobic stability of corn silage (Ashbell et al., 2002; Ünal et al., 2018; Shan et al., 2021). These studies used different experimental scales, ranging from small laboratory containers to silage bales and samples obtained from commercial bunker silos. Shan et al. (2021) evaluated maize silage in 1.5-L glass jars at 23 and 33 °C and used the same 2 °C increase above ambient temperature as the threshold of aerobic instability. At 33 °C, the threshold was reached at approximately 30 h, which was close to the 25.2 h observed in the present study at 35.1 °C. Despite differences in experimental conditions, the similar timing of aerobic instability supports the observed effect of high temperature on the early deterioration of corn silage.

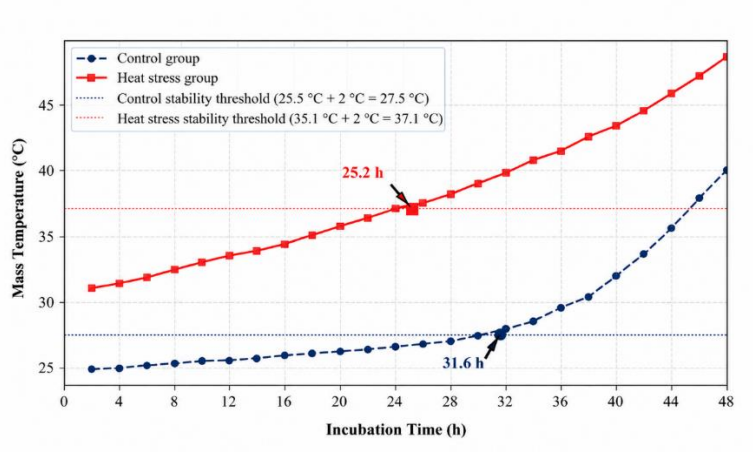


Figure 1. Changes in mass temperature of silage during 48 h of aerobic incubation under control (25.5 °C) and high-temperature (35.1 °C) conditions. Aerobic stability was defined as the time required for mass temperature of silage to exceed ambient temperature by 2 °C.

pH and Dry Matter

The pH, DM content, and aerobic stability threshold values are summarized in Table 1. The initial pH of the silage was 3.91. Following 48 h of aerobic exposure, silage pH differed significantly between treatments. The final pH increased to 5.08 ± 0.064 in the heat stress group, whereas a lower value of 4.046 ± 0.050 was observed in the control group ($p < 0.001$). This result is consistent with previous observations that pH increases during aerobic deterioration and that temperature elevation precedes marked changes in silage pH (Ashbell et al., 2002; Ünal et al., 2018).

However, temperature did not consistently affect pH, as no significant differences were observed in corn silage by Koc et al. (2010) and Shan et al. (2021). Nevertheless, elevated ambient temperatures may accelerate microbial activity and deterioration, thereby increasing the likelihood of pH elevation in silage.

Dry matter content also differed significantly between treatments after the 48-h aerobic exposure period. The heat stress group had a lower DM content than the control group (27.50 ± 0.505 vs. 29.56 ± 0.680%, respectively; $p < 0.001$). Aerobic exposure is recognized as an important factor contributing to dry matter and quality losses in silage, particularly when oxygen availability allows aerobic deterioration to proceed (Borreani et al., 2018). Previous studies, however, indicate that the magnitude of DM changes during aerobic exposure is not necessarily consistent across experimental conditions. In some studies, aerobic deterioration has been accompanied by measurable dry matter losses and changes in silage temperature, supporting the association between aerobic instability and DM depletion (Kim ve Adesogan, 2006; Drouin et al., 2021). In contrast, Shan et al. (2021) reported no significant difference in final DM content between maize silages exposed to 23 and 33°C, despite the substantially earlier temperature increase and greater loss of lactic acid under the higher-temperature condition. Similarly, differences in aerobic deterioration among silages can occur without a proportional change in DM, as temperature development is influenced by the characteristics of the silage and its microbial population (Shan et al., 2021; Kim and Adesogan, 2006). Therefore, the lower DM content observed in the present heat-stressed silage should not be interpreted as a universal consequence of higher exposure temperature. However, under the specific conditions of the present experiment, the concurrent reduction in DM, earlier temperature increase, and higher final pH provide a consistent pattern of greater aerobic deterioration under the high-temperature treatment.

Table 1. pH, dry matter content, and aerobic stability of corn silage after 48 h of aerobic incubation under different temperature conditions

Parameter	Control group (25.5 °C)	Heat stress group (35.1 °C)	*p*-value
Final pH	4.05 ± 0.050	5.08 ± 0.064	*<0.001*
Dry matter (%)	29.6 ± 0.680	27.5 ± 0.505	*<0.001*
Aerobic stability threshold (h)	31.6 ± 2.61	25.2 ± 2.28	*0.003*

Conclusion and Recommendations

The present study demonstrated that short-term exposure to high ambient temperature accelerated aerobic deterioration in corn silage. Exposure to 35.1 °C shortened the time required to reach the aerobic stability threshold and resulted in higher pH and lower DM content after 48 h of aerobic exposure. These findings support the hypothesis that elevated ambient temperature negatively affects the aerobic stability of corn silage. The 1-kg silage model provided a controlled and standardized experimental system for evaluating the short-term effects of ambient temperature.

However, the relatively small silage mass may be more sensitive to environmental temperature fluctuations and may not fully represent the heat transfer characteristics of larger silage masses. Therefore, the present findings should be interpreted within the conditions of the experimental model. Further studies using larger silage masses or farm-scale silos are needed to determine whether the temperature-dependent responses observed in the present study are maintained under practical storage and feed-out conditions. In addition, measurements of microbial populations and fermentation characteristics would provide further information on the processes associated with temperature-induced aerobic deterioration.

Thanks and Information Note

The author gratefully acknowledges the Feed Unit of the Cattle Farm at the Atatürk University Food and Livestock Research and Application Center for providing the corn silage material used in this study. The author also thanks Assistant Professor Soner Uysal for his valuable contributions during silage preparation and laboratory analyses. ChatGPT was used as a language-editing and writing-assistance tool during the preparation of this manuscript.

The author is fully responsible for the content of the manuscript and have carefully reviewed and verified the accuracy of the information, data interpretation, and references included in the manuscript.

References

AOAC. (2000). *Official Methods of Analysis (17th ed.)*. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA.

Ashbell, G., Weinberg, Z. G., Hen, Y., & Filya, I. (2002). The effects of temperature on the aerobic stability of wheat and corn silages. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 28(5), 261-263. https://doi.org/10.1038/sj/jim/7000237

Bolsen, K. K., Lin, C., Brent, B. E., Feyerherm, A. M., Urban, J. E., & Aimutis, W. R. (1992). Effect of silage additives on the microbial succession and fermentation process of alfalfa and corn silages. *Journal of Dairy Science*, 75(11), 3066-3083. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(92)78070-9

Borreani, G., Tabacco, E., Schmidt, R. J., Holmes, B. J., & Muck, R. E. (2018). Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 3952–3979. https://doi.org/10.3168/jds.2017-13837

Drouin, P., Tremblay, J., Renaud, J., & Apper, E. (2021). Microbiota succession during aerobic stability of maize silage inoculated with Lentilactobacillus buchneri NCIMB 40788 and Lentilactobacillus hilgardii CNCM-I-4785. *MicrobiologyOpen*, 10(1), e1153. https://doi.org/10.1002/mbo3.1153

Honig, H. 1990. Evaluation of aerobic stability. *In: Proceedings of the EUROBAC Conference*, 12–16 August 1986, Uppsala. p. 76–82.

Kim, S. C., & Adesogan, A. T. (2006). Influence of ensiling temperature, simulated rainfall, and delayed sealing on fermentation characteristics and aerobic stability of corn silage. *Journal of Dairy Science*, 89(8), 3122-3132. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72586-3

Koc, F., Coskuntuna, L., Ozduven, M. L., Coskuntuna, A., & Samli, H. E. (2009). The effects of temperature on the silage microbiology and aerobic stability of corn and vetch-grain silages. *Acta Agriculturae Scand Section A*, 59(4), 239-246. https://doi.org/10.1080/09064700903490596

Ranjit, N. K., & Kung Jr, L. I. M. I. N. (2000). The effect of Lactobacillus buchneri, Lactobacillus plantarum, or a chemical preservative on the fermentation and aerobic stability of corn silage. *Journal of Dairy Science*, 83(3), 526-535. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)74912-5

Shan, G., Buescher, W., Maack, C., Lipski, A., Acir, I. H., Trimborn, M., ... & Sun, Y. (2021). Dual sensor measurement shows that temperature outperforms pH as an early sign of aerobic deterioration in maize silage. *Scientific Reports*, 11(1), 8686. https://doi.org/10.1038/s41598-021-88082-1

Ünal, Ö., Koc, F., Okur, A. A., Okur, E., & Özdüven, M. L. (2018). Mısır ve buğday silajlarının termal kamera görüntüleme tekniği kullanılarak aerobik stabilitesinin değerlendirilmesi. *Alinteri Journal of Agriculture Science*, 33(1), 55-63. https://doi.org/10.28955/alinterizbd.362241

Weiss, K., Kroschewski, B., & Auerbach, H. (2016). Effects of air exposure, temperature and additives on fermentation characteristics, yeast count, aerobic stability and volatile organic compounds in corn silage. *Journal of Dairy Science*, 99(10), 8053-8069. https://doi.org/10.3168/jds.2015-10323

Wilkinson, J. M., & Davies, D. R. (2013). The aerobic stability of silage: key findings and recent developments. *Grass and Forage Science*, 68(1), 1–19. https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2012.00891.x

SURGICAL MANAGEMENT OF CONCURRENT MANDIBULAR BODY AND SUPRACONDYLAR FEMORAL FRACTURES FOLLOWING A FALL FROM HEIGHT IN A CAT

Asst. Prof. Dr. Onur YILDIRIM
Department of Surgery, Faculty of Veterinary Medicine, Siirt University, Siirt, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-5462-6100

Assoc. Prof. Dr. Ali GÜLAYDIN
Department of Surgery, Faculty of Veterinary Medicine, Siirt University, Siirt, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-7200-1040

Özet
Kedilerde yüksekten düşme sendromu, farklı sistemleri eş zamanlı etkileyebilen ve ayrıntılı travma değerlendirmesi gerektiren önemli bir klinik tablodur. Bu olgu sunumunda, yüksekten düşmeye bağlı eş zamanlı corpus mandibulae ve çok parçalı intraartiküler suprakondiler femur kırığının cerrahi sağaltımı ile postoperatif sonuçlarının değerlendirilmesi amaçlandı. Dördüncü kattan düşme sonrası sağ arka ekstremitede topallık ve ağızda kanama şikâyetleriyle getirilen 10 aylık, erkek, 5 kg ağırlığında Tekir kedinin klinik muayenesinde oral kanama, epistaksis, sağ distal femurda anormal hareket ve sağ corpus mandibulae bölgesinde krepitasyon belirlendi. Hematolojik ve biyokimyasal parametrelerin referans aralıklarda belirlendiği olguda radyolojik muayenede sağ femur distalinde çok parçalı suprakondiler kırık ile disloke corpus mandibulae kırığı saptandı. Femurdaki interkondiler komponent 2 mm çaplı lag vidası ile rekonstrükte edildi; suprakondiler stabilizasyon çapraz 1,5 mm Kirschner telleri ve sekiz şekilli 0,6 mm transosseöz serklaj teliyle sağlandı. Mandibula kırığı ise 0,6 mm transosseöz serklaj teli ve 1 mm interfragmenter Kirschner teli kullanılarak fikse edildi. Postoperatif dönemde analjezik, antimikrobiyal ve destekleyici sağaltım uygulanarak oral antisepsi ve yumuşak diyet sağlandı. Olgu ilk 24 saat içinde ihtiyatlı yük vermeye ve istemli beslenmeye başladı; normal dental oklüzyon korundu. Üç gün süren ekstremite ödeminin gerilemesini takiben dördüncü günden itibaren fonksiyonel ekstremite kullanımı gözlendi. Postoperatif 40. günde radyografik kaynama ve normal fonksiyon belirlendi. Bu olgu, yüksekten düşme olgularında sistematik ortopedik ve orofasiyal değerlendirmenin önemini ve seçilen kombine fiksasyon yöntemlerinin benzer kompleks kırıklarda uygulanabilir bir seçenek olabileceğini göstermektedir.
Anahtar Kelimeler: Kedi, yüksekten düşme sendromu, mandibula kırığı, suprakondiler femur kırığı, osteosentez

Abstract
Feline high-rise syndrome is an important clinical condition that may simultaneously affect multiple systems and requires a comprehensive trauma assessment. This case report aimed to evaluate the surgical treatment and postoperative outcomes of concurrent mandibular body and comminuted intra-articular supracondylar femoral fractures resulting from a fall from height. A 10-month-old, male, 5-kg tabby cat was presented with right hindlimb lameness and oral bleeding after falling from the fourth floor. Clinical examination revealed oral bleeding, epistaxis, abnormal motion in the right distal femur, and crepitus in the region of the right mandibular body. Hematological and biochemical parameters were within the reference intervals. Radiographic examination revealed a comminuted supracondylar fracture of the right distal femur and a displaced mandibular body fracture. The intercondylar component of the femoral fracture was reconstructed using a 2-mm-diameter lag screw, while supracondylar stabilization was achieved using crossed 1.5-mm Kirschner wires and a figure-of-eight 0.6-mm transosseous cerclage wire. The mandibular fracture was fixed using a 0.6-mm transosseous cerclage wire and a 1-mm interfragmentary Kirschner wire. Postoperatively, analgesic, antimicrobial, and supportive treatment was administered, together with oral antisepsis and a soft diet. The cat began cautious weight-bearing and voluntary feeding within the first 24 hours, and normal dental occlusion was maintained. Following the resolution of limb edema, which persisted for three days, functional limb use was observed from the fourth day onward.

Radiographic union and normal function were documented on postoperative day 40. This case highlights the importance of systematic orthopedic and orofacial assessment in cats presenting after falls from height and demonstrates that the selected combined fixation techniques may represent a feasible option for similar complex fractures.
Keywords: Cat, feline high-rise syndrome, mandibular fracture, supracondylar femoral fracture, osteosynthesis

Introduction

High-rise syndrome (HRS) in cats is a traumatic condition resulting from falls from two or more storeys and may involve various combinations of thoracic, abdominal, orthopaedic, neurological, and orofacial injuries (Lefman & Prittie, 2022). In feline HRS cases, both femoral and mandibular fractures are commonly encountered orthopaedic injuries, depending on the biomechanics of the fall and the manner in which the cat impacts the ground (Candela Andrade et al., 2025b). Femoral fractures have been reported to account for 15–40% of all limb fractures in cats with HRS (Papazoglou et al., 2001; Karabağlı et al., 2024). For mandibular fractures, the reported prevalence ranges from 3.4% to 10.1% (Whitney & Mehlhaff, 1987; Vnuk et al., 2004; Karabağlı et al., 2024; Candela Andrade et al., 2025b). These fractures, which commonly result from high-energy trauma such as road traffic accidents or falls from height, may be accompanied by additional skeletal and soft tissue injuries (Roberts & Meeson, 2022).

Femoral fractures associated with HRS, particularly in young cats, may involve the supracondylar region and may present as comminuted fracture patterns as a consequence of severe trauma (Lefman & Prittie, 2022). In distal femoral fractures located close to the stifle joint and extending towards the articular surface, accurate reduction and stable fixation are required to restore both joint congruity and limb function (Roberts & Meeson, 2022). Accordingly, various osteosynthesis techniques have been described for the treatment of supracondylar fractures, including crossed intramedullary pinning (Altunatmaz et al., 2017), figure-of-eight cerclage wiring (Spångberg et al., 2019), fixation with crossed Kirschner wires (Rubinos & Meeson, 2022), plate fixation (Field et al., 2018), external skeletal fixation (Gülaydın & Alkan, 2024), and angle-stable interlocking nail systems (Marturello et al., 2021).

Orofacial lesions are reported in approximately 51–66% of overall HRS cases, and mandibular fractures constitute an important component of this injury pattern (Bonner et al., 2012; Lefman & Prittie, 2022). Karabağlı et al. (2024) reported mandibular fractures in 6.25% of 160 evaluated cases, whereas Vnuk et al. (2004) reported a prevalence of 3.4%. The principal objective in the treatment of mandibular fractures encountered in clinical practice is to restore dental occlusion and masticatory function as rapidly as possible (Woodbridge & Owen, 2013). For this purpose, cerclage wiring or wire-reinforced dental composite splints may be used for symphyseal separations and rostral mandibular fractures, whereas miniplate-and-screw systems are generally preferred for caudal mandibular body fractures and comminuted fractures. In cases in which these techniques are unsuitable, maxillomandibular fixation or external skeletal fixation may be considered as alternative treatment options (Woodbridge & Owen, 2013; Freeman & Southerden, 2023; Castejon-Gonzalez et al., 2025).

This case report describes the surgical management and postoperative outcome of multiple trauma in a cat with a supracondylar femoral fracture concurrent with a mandibular body fracture secondary to a fall from height.

Materials and Methods

A 10-month-old, 5-kg, male domestic shorthair cat was presented to the Siirt University Animal Health Application and Research Hospital with a history of falling from the fourth floor and complaints of right hindlimb lameness and oral bleeding. General clinical examination revealed oral bleeding, epistaxis, and dragging of the right hindlimb during ambulation. Orthopaedic examination identified abnormal mobility at the distal aspect of the right femur. Oral examination revealed crepitus in the region of the right mandibular body. No pathological abnormalities were detected in the haematological or serum biochemical parameters.

Because clinical and orthopaedic examinations indicated the presence of fractures, the patient was referred for radiographic evaluation, and radiographs of the affected regions were obtained.

Radiographic examination revealed a comminuted supracondylar fracture of the distal right femur (Figure 1A) and a displaced fracture of the right mandibular body (Figure 1B). Based on the general clinical condition of the patient and the haematological and biochemical findings, surgical treatment was elected.

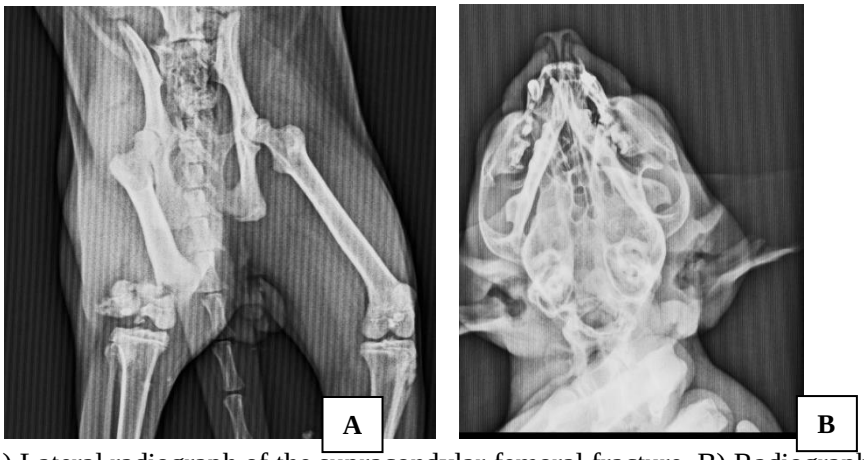


Figure 1. A) Lateral radiograph of the supracondylar femoral fracture, B) Radiograph of the mandibular body fracture.

Routine surgical preparation protocols were applied to the affected limb before surgery. General anaesthesia was induced with intravenous propofol at a dose of 6–8 mg/kg (Propofol-PF, Aroma İlaç, Tekirdağ, Türkiye). Following endotracheal intubation, anaesthesia was maintained with 2% sevoflurane (Sevorane, AbbVie Tıbbi İlaç, İstanbul, Türkiye). The patient was positioned on the operating table with the right hindlimb uppermost. A craniolateral approach to the distal femur and stifle joint was performed to expose the fracture site.

Initially, the intercondylar fracture component was reduced and stabilised using a 2-mm-diameter lag screw. For reduction between the femoral shaft and the condylar segment, the stifle was flexed and the tarsocrural joint was maintained in extension while cranial traction was applied to the proximal tibia. Following reduction, stabilisation was achieved using crossed 1.5-mm Kirschner wires inserted from the condyles into the femur (Figure 2).

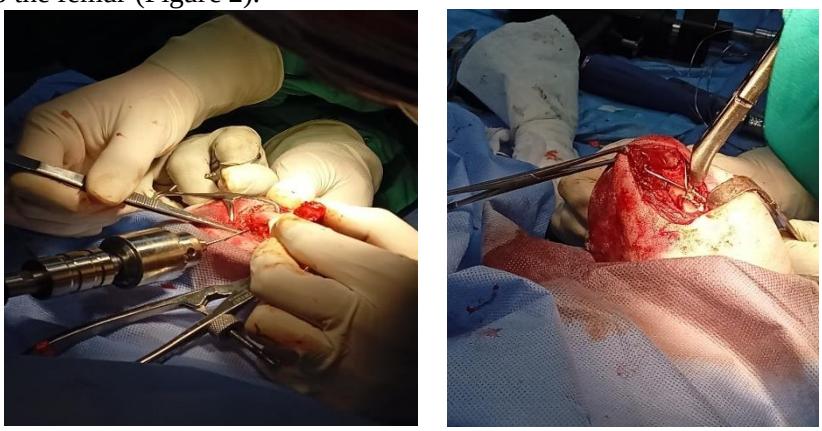


Figure 2. Cross-pinning technique using Kirschner wires.

To achieve rigid reduction, two parallel holes were drilled through the femur from lateral to medial using a 1-mm drill bit and an orthopaedic drill. A 0.6-mm cerclage wire was then passed through each hole. The wires were positioned in a figure-of-eight configuration on both sides of the femur, immediately proximal to the crossing point and sufficiently abaxial to avoid interference with patellar function. The wires were tightened until the fracture construct was stable, after which the surgical site was closed routinely. Postoperative radiographs were subsequently obtained (Figure 3).

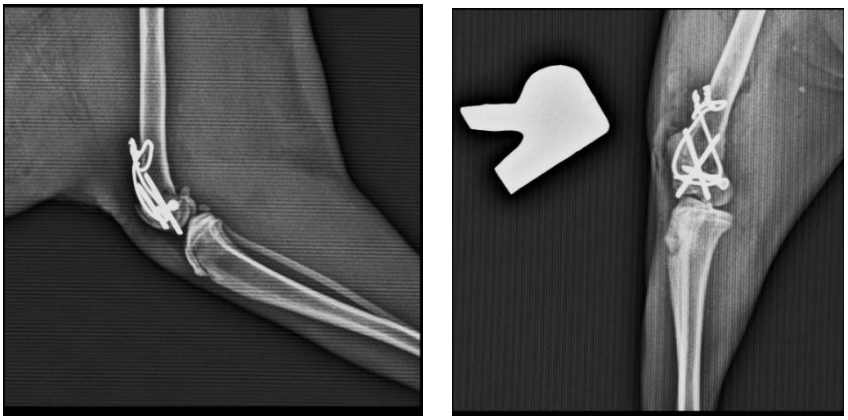


Figure 3. Postoperative radiographs of the femur.

For treatment of the open mandibular body fracture, the fracture ends were reduced by traction. A 1-mm Kirschner wire was then used to drill parallel to the mandible approximately 1 cm from each fracture segment, and reduction was maintained by passing a 0.6-mm cerclage wire through the prepared holes. To increase stability, a 1-mm Kirschner wire was inserted rostrally across the fracture fragments, providing rigid fixation (Figure 4).

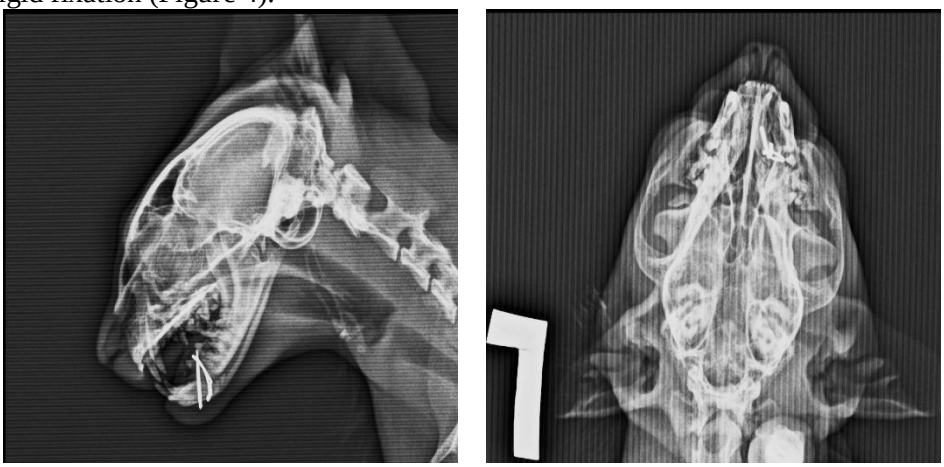


Figure 4. Postoperative radiographs of the mandible.

During the postoperative period, the patient was hospitalised until discharge. During this period, the surgical site was lavaged three times daily with a freshly prepared 0.1% rivanol solution (Rivanol; Galenik Ecza ve Kimyevi Maddeler İç ve Dış Sanayi Ticaret A.Ş., İzmir, Türkiye). To reduce the risk of infection, cephalosporin was administered intramuscularly at a dose of 25 mg/kg for 5 days (Eqiceft® 1 g IM; Tüm Ekip İlaç A.Ş., İstanbul, Türkiye). For analgesic and anti-inflammatory purposes, a non-steroidal anti-inflammatory drug (Tolfenak, Alke İlaç, Tokat) was administered subcutaneously once daily for 3 days. In addition, 0.3 mL of vitamin C (Tekno-C, Teknovet İlaç, Tekirdağ) was administered intravenously once daily.

Because of inadequate oral intake, the patient received 50 mL of 0.9% NaCl (Turkfleks 0.9% Isotonic Sodium Chloride, Turk İlaç ve Serum Sanayi, Ankara) and 5% dextrose (Polifleks, 5% Dextrose, Polifarma İlaç, Tekirdağ) intravenously twice daily for 3 postoperative days. To reduce the risk of oral infection, an oral antiseptic spray (Geraks®; Pharmanear İlaç San. Tic. ve Paz. A.Ş., İstanbul, Türkiye) was administered orally twice daily. A specific dietary programme was also arranged for the patient. Limb oedema persisting for 3 days postoperatively was controlled with cold compresses and intramuscular administration of 2.5 mL Diuril® (10 mg/mL; Vetaş/DEVA Holding A.Ş., İstanbul, Türkiye).

Findings and Discussion

Within the first 24 h postoperatively, the cat was observed to bear weight cautiously on the right hindlimb.

Limb oedema developed and persisted for 3 days but was controlled following medical treatment; thereafter, functional use of the limb was observed from postoperative day 4. Clinical evaluation of the mandible revealed normal occlusion, and the patient voluntarily resumed food intake within the first 24 h. No additional pathological changes were detected in the intraoral soft tissues during hospitalisation. Radiographic union and functional recovery were observed by postoperative day 40.

The concurrent occurrence of orthopaedic and orofacial injuries in the same patient with high-rise syndrome indicates that trauma assessment should not be limited to clinically obvious lameness alone (Lefman & Prittie, 2022). In the present case, the simultaneous presence of oral bleeding, epistaxis, and right hindlimb lameness, together with the identification of fractures at two distinct anatomical sites following detailed oral, orthopaedic, and radiographic examinations, supports the importance of a systematic polytrauma assessment in cats with HRS. Likewise, the absence of abnormalities in the haematological and serum biochemical findings does not exclude the presence of clinically significant local injuries and emphasises that decisions regarding surgical management should be based on the combined assessment of the patient's general condition, physical examination, and diagnostic imaging findings.

In distal femoral fractures extending to the articular surface, the primary objectives are anatomical restoration of joint congruity and sufficiently rigid fixation of the reconstructed condylar block to the femoral diaphysis. Cebeci and Karslı (2021) used a combination of an intercondylar screw and dynamic cross-pinning in three cats with Salter-Harris type IV supracondylar femoral fractures and reported favourable functional outcomes, except in one case with marked articular damage. Similarly, in a study involving comminuted articular distal femoral fractures, the intercondylar fracture component in two cats was stabilised using a lag screw and Kirschner wire, whereas the supracondylar component was stabilised using Rush pins and crossed Kirschner wires. Fracture union occurred at 8 and 12 weeks, respectively, and a poorer functional outcome was reported in the cat that developed distal Rush pin migration (Alexandre et al., 2018). In the present case, reconstruction of the fracture fragments with an intercondylar lag screw followed by crossed Kirschner wires and a figure-of-eight transosseous wire was intended to address the distinct mechanical requirements of the articular and supracondylar components within a single fixation construct.

In a study of 14 cats in which supracondylar and distal femoral fractures were treated using bidirectional intramedullary Kirschner wires, limb use began between postoperative days 3 and 5, normal gait was restored by day 10, and radiographic union occurred between days 32 and 44 (Altunatmaz et al., 2017). In eight cats treated using the EFECE system, initial limb use began within 1–2 days, the mean time to fracture union was 42.8 days, and minor complications occurred in three cases. In the case in which oedema developed, the swelling resolved following 3 days of cold compress application (Gülaydın & Alkan, 2024). In the present case, cautious weight-bearing within the first 24 h and subsequent functional limb use after resolution of the oedema were consistent with the early return to limb use reported in previous studies. Because loss of fixation due to inadequate wire tension or wire breakage has been reported with figure-of-eight wiring techniques, appropriate wire tensioning and serial radiographic follow-up are important (Spångberg et al., 2019).

The principal functional goals in the treatment of mandibular fractures are preservation of anatomical dental occlusion, adequate fracture stability, and early return to voluntary feeding (Woodbridge & Owen, 2013; Freeman & Southerden, 2023). In the present case, the combination of transosseous cerclage wiring and an interfragmentary Kirschner wire resulted in normal occlusion and voluntary food intake within the first 24 h, indicating that the fixation achieved the intended early functional objectives. Because the fracture was open and communicated with the oral cavity, regular lavage, oral antisepsis, and a soft diet constituted important components of postoperative management. Although no additional intraoral soft tissue abnormalities were identified during hospitalisation, this observation should not be interpreted as excluding the possibility of long-term infection or implant-related complications.

This case demonstrates that early limb use, normal occlusion, voluntary feeding, and satisfactory functional recovery during follow-up can be achieved following concurrent surgical management of a comminuted articular distal femoral fracture and a mandibular body fracture secondary to high-energy trauma. However, these findings do not establish the superiority of the selected implant combination; rather, they suggest that this construct may represent a feasible option when planning the surgical management of similarly complex fractures.

Conclusion and Recommendations

This case highlights the importance of simultaneous and systematic assessment of orthopaedic and orofacial injuries in cases of multiple trauma secondary to falls from height. Stable fixation of the comminuted intra-articular supracondylar femoral fracture was achieved using an intercondylar lag screw, crossed Kirschner wires, and a figure-of-eight transosseous cerclage wire, whereas the mandibular body fracture was stabilised using transosseous cerclage wiring and an interfragmentary Kirschner wire. Following surgical treatment, preservation of normal dental occlusion, early return to voluntary feeding and functional limb use, and achievement of radiographic union with normal function by postoperative day 40 were regarded as favourable clinical outcomes. However, because these findings are based on a single case, they do not demonstrate the superiority or generalisable efficacy of the fixation techniques used. Further studies involving larger case series and long-term functional follow-up are required to evaluate the clinical outcomes associated with these implant combinations.

Thanks and Information Note

The authors would like to thank the academic staff and undergraduate students who contributed to and assisted with the surgical management of this case.

References

Alexandre, N., Caldeira, J. & Alves, R. (2018, April 14–15). *Comminuted articular fractures of distal femur in dog and cat: a case series* [Conference poster]. 8º Encontro de Formação da Ordem dos Médicos Veterinários, Lisbon, Portugal.

Altunatmaz, K., Karabağlı, M., Aydın, D., Güzel, Ö., Yalin, E. E., Uğurlu, Ü., . . . Ekici, H. (2017). The treatment of supracondylar and diaphyseal femoral fractures in cats using intramedullary two-way stacked Kirschner wire application. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences, 41*(2), 282–287.

Bonner, S. E., Reiter, A. M. & Lewis, J. R. (2012). Orofacial manifestations of high-rise syndrome in cats: a retrospective study of 84 cases. *Journal of Veterinary Dentistry, 29*(1), 10–18.

Candela Andrade, M., Slunsky, P., Nerlich, A., Aguilera-Rojas, M. & Brunnberg, L. (2025b). High-rise syndrome in cats (part 2): injury patterns and survival rate. *Journal of Feline Medicine and Surgery, 27*(5), 1098612X251334096.

Castejon-Gonzalez, A. C., Friday, C. S., Hast, M. W. & Reiter, A. M. (2025). Mechanical evaluation of mandibular fractures stabilized with absorbable implants or intraoral splints in cats. *Frontiers in Veterinary Science, 11*, 1525586.

Field, M. R., Butler, R., Wills, R. W. & Maxwell, W. M. (2018). Retrospective evaluation of perioperative and short term clinical outcomes in appendicular long bone skeleton fractures repaired via the string of pearls (SOP) locking plate system. *BMC Veterinary Research, 14*(1), 386.

Freeman, A. & Southerden, P. (2023). Mandibular fracture repair techniques in cats: a dentist's perspective. *Journal of Feline Medicine and Surgery, 25*(2), 1098612X231152521.

Gülaydın, A. & Alkan, İ. (2024). Evaluation of distal femur fractures in cats by hybrid external fixator. *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 71*(1), 89–100.

Karabağlı, M., Mutlu, Z., Kaya, D. A., Duman, B. E. E., Bektaş, C. N. G., Bilgiç, E. B., . . . Temir, M. T. (2024). A retrospective analysis of high-rise syndrome in cats in Istanbul: 160 cases (2016–2017). *Pakistan Veterinary Journal, 44*(3).

Lefman, S. & Prittie, J. E. (2022). High-rise syndrome in cats and dogs. *Journal of Veterinary Emergency and Critical Care, 32*(5), 571–581.

Marturello, D. M., Perry, K. L. & Déjardin, L. M. (2021). Clinical application of the small I-Loc interlocking nail in 30 feline fractures: a prospective study. *Veterinary Surgery, 50*(3), 588–599.

Papazoglou, L., Galatos, A., Patsikas, M. et al. (2001). High-rise syndrome in cats: 207 cases (1988–1998). *Australian Veterinary Practitioner, 31*(3), 98–102.

Roberts, V. J. & Meeson, R. L. (2022). Feline femoral fracture fixation: what are the options? *Journal of Feline Medicine and Surgery, 24*(5), 442–463.

Rubinos, C. & Meeson, R. L. (2022). Traumatic physeal fractures in cats: a review of 36 cases (2010–2020). *Journal of Feline Medicine and Surgery, 24*(2), 98–106.

Spångberg, C., Spångberg, I. B. & Bergström, A. (2019). Stainless steel wire in a figure-of-eight for repair of distal femoral physeal fractures in ten cats: a case report. *Journal of Veterinary Science, 20*(6).

Vnuk, D., Pirkić, B., Matičić, D., Radišić, B., Stejskal, M., Babić, T., . . . Lemo, N. (2004). Feline high-rise syndrome: 119 cases (1998–2001). *Journal of Feline Medicine and Surgery, 6*(5), 305–312.

Whitney, W. O. & Mehlhaff, C. J. (1987). High-rise syndrome in cats. *Journal of the American Veterinary Medical Association, 191*(11), 1399–1403.

Woodbridge, N. & Owen, M. (2013). Feline mandibular fractures: a significant surgical challenge. *Journal of Feline Medicine and Surgery, 15*(3), 211–218.

VIRAL RESPIRATORY PATHOGENS IN CATTLE WITH RESPIRATORY DISEASE IN KASTAMONU, TÜRKIYE

Asst. Prof. Dr. Selda DURAN-YELKEN
Department of Virology, Faculty of Veterinary Medicine, Kastamonu University, Kastamonu, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-0633-3132

Zelfinaz AYDIN
Faculty of Veterinary Medicine, Kastamonu University, Kastamonu, Türkiye.
ORCID ID: 0009-0005-1236-536X

Özet
Sığır solunum sistemi hastalığı (BRD), sığır yetiştiriciliğinde önemli ekonomik kayıplara neden olan multifaktöriyel bir hastalık olup viral patojenler primer etken veya koenfeksiyon etkeni olarak rol oynamaktadır. Bu çalışmada, Aralık 2022 ile Aralık 2024 arasındaki iki yıllık dönemde Kastamonu ilinin beş ilçesinde (Devrekani, Kastamonu Merkez, Taşköprü, İhsangazi ve Küre) bulunan 14 sığır işletmesinden solunum sistemi hastalığına ilişkin klinik bulgular gösteren sığırlardan alınan solunum yolu örnekleri değerlendirildi. Başlıca viral solunum sistemi patojenlerinin varlığı; virus tespit oranları, coğrafi dağılımları ve koenfeksiyon durumları açısından incelendi. Sığırlardan alınan toplam 85 solunum yolu sürüntü örneği; bovine respiratory syncytial virus (BRSV), bovine coronavirus (BCoV), bovine adenovirus (BAdV), bovine herpesvirus tip 1 (BoHV-1) ve bovine parainfluenza virus tip 3 (BPIV-3) yönünden test edildi. Viral nükleik asitlerin ekstraksiyonunun ardından örnekler, her bir virusa özgü genomik bölgeleri hedefleyen PCR veya RT-PCR yöntemleri kullanılarak analiz edildi. En az bir viral patojen 31/85 (%36,5) örnekte tespit edildi. Bu örneklerin 27'sinde tek virus enfeksiyonu, dördünde ise ikili viral koenfeksiyon belirlendi (iki BRSV–BCoV, bir BCoV–BoHV-1 ve bir BAdV–BoHV-1). BCoV, hem örnek hem de işletme düzeyinde sırasıyla %27,1 (23/85) ve %42,9 (6/14) pozitiflik oranlarıyla en sık tespit edilen virus oldu. Bunu BAdV (%7,1, 6/85; %21,4, 3/14), BoHV-1 (%4,7, 4/85; %14,3, 2/14) ve BRSV (%2,4, 2/85; %7,1, 1/14) izledi. BPIV-3 örneklerin hiçbirinde tespit edilmedi. Bu bulgular, Kastamonu'da solunum sistemi hastalığı bulunan sığırlarda çeşitli virusların sirkülasyonda olduğunu göstermektedir. Koenfeksiyonların belirlenmesi, BRD araştırmalarında birden fazla viral etkenin taranmasının önemini ortaya koymaktadır. Bu viruslar Türkiye'deki sığırlarda daha önce bildirilmiş olmakla birlikte, dolaşımdaki suşlara ilişkin moleküler veriler hâlen sınırlıdır. Devam eden moleküler karakterizasyon çalışmaları, bu virusların çeşitliliği, dolaşımı ve epidemiyolojik öneminin daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır.
Bu çalışma, TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında 1919B012321403 numaralı proje ile kısmen desteklenmiştir.
Anahtar Kelimeler: Sığır solunum sistemi hastalığı; solunum sistemi patojenleri; viral enfeksiyonlar; koenfeksiyon; sığır

Abstract
Bovine respiratory disease (BRD) is a multifactorial condition and a major cause of economic losses in cattle production, with viral pathogens acting as primary or co-infecting agents. This study evaluated respiratory samples collected from cattle with clinical signs of respiratory disease over a two-year period, between December 2022 and December 2024, from 14 cattle farms located in five districts (Devrekani, Kastamonu Central, Taşköprü, İhsangazi, and Küre) of Kastamonu Province. The occurrence of major viral respiratory pathogens was assessed according to virus detection rates, geographic distribution, and coinfection status. A total of 85 respiratory swab samples collected from cattle were tested for bovine respiratory syncytial virus (BRSV), bovine coronavirus (BCoV), bovine adenovirus (BAdV), bovine herpesvirus type 1 (BoHV-1), and bovine parainfluenza virus type 3 (BPIV-3). Following the extraction of viral nucleic acids, samples were analyzed using PCR or RT-PCR assays targeting specific genomic regions of each virus. At least one viral pathogen was detected in 31/85 samples (36.5%), comprising 27 single-virus infections and four dual-virus coinfections (two BRSV–BCoV, one BCoV–BoHV-1, and one BAdV–BoHV-1).

BCoV was the most frequently detected virus at both the sample and farm levels, with positivity rates of 27.1% (23/85) and 42.9% (6/14), respectively. This was followed by BAdV (7.1%, 6/85; 21.4%, 3/14), BoHV-1 (4.7%, 4/85; 14.3%, 2/14), and BRSV (2.4%, 2/85; 7.1%, 1/14). BPIV-3 was not detected in any of the samples. These findings demonstrate the circulation of several viruses in cattle with respiratory disease in Kastamonu. The detection of coinfections highlights the importance of screening for multiple viral agents in BRD investigations. Although these viruses have previously been reported in cattle in Türkiye, molecular data on circulating strains remain limited. Ongoing molecular characterization will improve our understanding of their diversity, circulation, and epidemiological significance.

This study was partially supported by TÜBİTAK under the 2209-A University Students Research Projects Support Program (Project No. 1919B012321403).

Keywords: Bovine respiratory disease; respiratory pathogens; viral infections; coinfection; cattle

KOYUNLARIN YENİLEBİLİR DOKULARINDA ANTİPARAZİTER MAKROSİKLİK LAKTON KALINTILARININ BELİRLENMESİ İÇİN HIZLI VE HASSAS BİR HPLC ANALİZ YÖNTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

DEVELOPMENT OF A RAPID AND SENSITIVE HPLC ANALYSIS METHOD FOR THE DETERMINATION OF ANTIPARASITIC MACROCYCLIC LACTONE RESIDUES IN EDIBLE SHEEP TISSUES

Dr. Büşra ASLAN AKYOL
Department of Veterinary Pharmacology and Toxicology, Graduate School of Health Sciences, Balıkesir University, Balıkesir, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-4123-8408

Specialist Dr. Nurullah GÜÇLÜ
Department of Medical Pharmacology, Faculty of Medicine, Balıkesir University, Balıkesir, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-7985-1910

Kübra DELİKLİTAŞ
Department of Veterinary Pharmacology and Toxicology, Graduate School of Health Sciences, Balıkesir University, Balıkesir, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-5627-6960

Assoc. Prof. Dr. Oğuzhan KORKUT
Department of Medical Pharmacology, Faculty of Medicine, Balıkesir University, Balıkesir, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-2057-4197

Specialist Dr. Fazilet ŞEN METİN
Department of Medical Pharmacology, Faculty of Medicine, Balıkesir University, Balıkesir, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-8433-1194

Prof. Dr. Cengiz GÖKBULUT
Department of Medical Pharmacology, Faculty of Medicine, Balıkesir University, Balıkesir, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-4912-7307

ÖZET

Hayvansal gıdalarda veteriner ilaç kalıntılarının izlenmesi toplum sağlığı açısından oldukça önemlidir. Gıda değeri olan hayvanlarda parazit tedavisinde sıkça tercih edilen makrosiklik lakton grubu antihelmintikler, yüksek lipofilik özellikleri nedeniyle hayvansal dokularda birikerek uzun süreli kalıntı riski oluşturmaktadır. Bu ilaçların eser miktardaki kalıntılarının tespit edilebilmesi için yüksek hassasiyete ve seçiciliğe sahip, hızlı sonuç veren analitik yöntemlere ihtiyaç vardır. Bu çalışmanın amacı, koyunların yenilebilir dokularında (et, yağ doku, böbrek, karaciğer) makrosiklik lakton grubu antihelmintik (abamektin, ivermektin, eprinomektin, doramektin ve moksidektin) ilaç kalıntılarının belirlenebilmesi için hızlı, hassas, güvenilir, kolay uygulanabilir ve olabildiğince daha az maliyetli bir kromatografik analiz yönteminin geliştirilmesidir. Bu amaçla, örnek toplama tarihinden önce son 3 ay içerisinde herhangi bir ilaç uygulanmamış koyunlardan elde edilen et, yağ dokusu, böbrek ve karaciğer dokuları metot geliştirme ve validasyon için kullanıldı. Metot geliştirme ve validasyon sonrasında, toplanan doku örnekleri geliştirilen modifiye QuEChERS yöntemi ile ektraksiyonlarını takiben kromatografi cihazında (HPLC) analiz edildi. Tüm yenilebilir dokulardaki tüm ilaçlar için geri kazanım oranları %63.29 ile %100.86 arasında değişkenlik gösterdi. Yöntemin gerçek örneklere uygulanması, değerlendirilen 139 örneğin 5'inde makrosiklik lakton kalıntılarının varlığını ortaya koydu. Bir koyun eti numunesinin (45 ng/g ivermektin) maksimum kalıntı limitini aştığı, diğer pozitif numunelerin ise kendi maksimum kalıntı limitlerinin altında kaldığı tespit edilmiştir. Geliştirilen ve doğrulanan bu yöntem, daha az işlem adımı, daha düşük çözücü hacmi, daha az numune miktarı ve kimyasal solvent kullanımı sayesinde, insan tüketimine yönelik koyunun yenilebilir dokularında birden fazla makrosiklik lakton kalıntısının eşzamanlı analizi için bir alternatif sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Makrosiklik lakton, İvermektin, Çoklu Kalıntı, Koyun

ABSTRACT

Monitoring veterinary drug residues in animal-derived foods is crucial for public health. Macrocyclic lactone anthelmintics frequently used for the treatment of parasites in food-producing animals, accumulate in animal tissues due to their high lipophilic properties, posing a long-term residue risk. Highly sensitive and selective analytical methods that provide rapid results are needed to detect even trace amounts of these drugs. The aim of this study is to develop a rapid, sensitive, reliable, easily applicable, and cost-effective chromatographic analysis method for determining macrocyclic lactone anthelmintic (abamectin, ivermectin, eprinomectin, doramectin, and moxidectin) residues in edible tissues (meat, adipose tissue, kidney, liver) of sheep. For this purpose, meat, adipose tissue, kidney, and liver tissues obtained from sheep that had not received any medication within the last three months prior to sample collection were used for method development and validation. Following method development and validation, collected tissue samples were extracted using the developed modified QuEChERS method and then analyzed by chromatography (HPLC). Recovery rates for all drugs in all edible tissues varied between 63.29% and 100.86%. Application of the method to real samples revealed the presence of macrocyclic lactone residues in 5 of the 139 samples evaluated. One sheep meat sample (45 ng/g, ivermectin) exceeded the maximum residue limit, while the other positive samples were below respective maximum residue limits. This developed and validated method offers an alternative for the simultaneous analysis of multiple macrocyclic lactone residues in sheep edible tissues intended for human consumption, thanks to fewer processing steps, lower solvent volume, smaller sample size, and less chemical material.

Keywords: Macrocyclic lactone, Ivermectin, Multiple Residue, Sheep

HİPERTİROİDİLİ RATLARDA KEKİK YAĞININ KARDİYAK İRİSİN VE OKSİDATİF STRES PARAMETRELERİ ÜZERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF THYME OIL ON CARDIAC IRISIN AND OXIDATIVE STRESS PARAMETERS IN HYPERTHYROID RATS

Assoc. Prof. Dr. Meltem SAĞIROĞLU
Department of Physiology, Faculty of Veterinary Medicine, Fırat University, Elazığ, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-6547-6809

Asst. Prof. Dr. Gözde ARKALI
Department of Physiology, Faculty of Veterinary Medicine, Fırat University, Elazığ, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-0850-7557

Res. Asst. Edanur GÜLER EKMEN
Department of Physiology, Faculty of Veterinary Medicine, Fırat University, Elazığ, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-8473-7592

PhD Student Mustafa FİRİK
Department of Physiology, Faculty of Veterinary Medicine, Fırat University, Elazığ, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-0269-876X

Özet

Bu çalışmada, hipertiroidizm oluşturulan erkek ratlarda kekik yağının kalp dokusu oksidatif stres parametreleri ile kalp dokusu ve serum irisin düzeyleri üzerine etkilerinin araştırılması amaçlandı. Çalışmada 250-300 g ağırlığında 10-12 haftalık 50 adet Sprague Dawley ırkı erkek rat kullanıldı. Her grupta 10 adet hayvan olacak şekilde Kontrol, Hipertiroid (LT-4, 0,3 mg/kg/gün, i.p.), Kekik Yağı (100 mg/kg, oral gavaj), Zeytinyağı (1 mL/gün, oral gavaj) ve Hipertiroid + Kekik Yağı olmak üzere beş gruba ayrıldı. Sekizinci haftanın sonunda anestezi eşliğinde dekapitasyonla ratlardan kan ve kalp dokusu örnekleri alındı. Serum TSH, serbest T3 (fT3), serbest T4 (fT4) ve irisin düzeyleri ELISA yöntemiyle belirlendi. Kalp dokusu homojenatlarında irisin düzeyi ELISA yöntemiyle ölçüldü.

Ayrıca kalp dokusunda malondialdehit (MDA) ve glutatyon (GSH) düzeyleri ile glutatyon peroksidaz (GSH-Px) ve katalaz (CAT) aktiviteleri belirlendi. Hipertiroid grubunda Kontrol grubuna göre TSH düzeyinin anlamlı olarak azaldığı, fT3 ve fT4 düzeylerinin ise anlamlı olarak arttığı belirlendi ($p<0,001$). Kalp dokusu irisin düzeyi Hipertiroid grubunda Kontrol grubuna göre anlamlı olarak yüksek bulundu ($p<0,001$). Hipertiroid + Kekik Yağı ile Hipertiroid grupları arasında kalp dokusu irisin düzeyi açısından anlamlı farklılık saptanmazken, serum irisin düzeyi Hipertiroid + Kekik Yağı grubunda Hipertiroid grubuna göre anlamlı olarak yüksek bulundu ($p<0,001$). Kalp dokusu GSH-Px ve CAT aktiviteleri Hipertiroid + Kekik Yağı grubunda Hipertiroid grubuna göre anlamlı olarak yüksek bulundu ($p<0,001$). MDA ve GSH düzeyleri açısından ise Hipertiroid ve Hipertiroid + Kekik Yağı grupları arasında anlamlı farklılık saptanmadı. Sonuç olarak, hipertiroidizmin kalp dokusu irisin düzeyinde artış ve CAT aktivitesinde azalma ile ilişkili olduğu belirlendi. Kekik yağı uygulaması hipertiroidizme bağlı TSH, fT3 ve fT4 değişiklikleri ile kalp dokusu irisin düzeyini anlamlı olarak değiştirmezken, kalp dokusunda GSH-Px ve CAT aktivitelerini artırdı ve serum irisin düzeyini yükseltti.

Bu bulgular, kekik yağının hipertiroidizm koşullarında kalp dokusunun antioksidan savunma sistemi üzerinde destekleyici etkilere sahip olabileceğini ve dolaşımdaki irisin yanıtını etkileyebileceğini düşündürmektedir.

Anahtar Kelimeler: Hipertiroidizm, kekik yağı, irisin, oksidatif stres, kalp

Abstract

This study aimed to investigate the effects of thyme oil on oxidative stress parameters in cardiac tissue and on cardiac tissue and serum irisin levels in male rats with experimentally induced hyperthyroidism. Fifty male Sprague-Dawley rats, aged 10-12 weeks and weighing 250-300 g, were used in the study.

The animals were divided into five groups, with 10 rats in each group: Control, Hyperthyroid (LT-4, 0.3 mg/kg/day, i.p.), Thyme Oil (100 mg/kg, oral gavage), Olive Oil (1 mL/day, oral gavage), and Hyperthyroid + Thyme Oil. At the end of the eighth week, blood and cardiac tissue samples were collected following decapitation under anesthesia. Serum TSH, free T3 (fT3), free T4 (fT4), and irisin levels were determined using ELISA. Irisin levels in cardiac tissue homogenates were also measured using ELISA. In addition, malondialdehyde (MDA) and glutathione (GSH) levels and glutathione peroxidase (GSH-Px) and catalase (CAT) activities were determined in cardiac tissue.TSH levels were significantly decreased, whereas fT3 and fT4 levels were significantly increased in the Hyperthyroid group compared with the Control group ($p<0.001$). Cardiac tissue irisin levels were significantly higher in the Hyperthyroid group than in the Control group ($p<0.001$). Although no significant difference in cardiac tissue irisin levels was observed between the Hyperthyroid + Thyme Oil and Hyperthyroid groups, serum irisin levels were significantly higher in the Hyperthyroid + Thyme Oil group than in the Hyperthyroid group ($p<0.001$). Cardiac tissue GSH-Px and CAT activities were significantly higher in the Hyperthyroid + Thyme Oil group than in the Hyperthyroid group ($p<0.001$). No significant differences in MDA or GSH levels were observed between the Hyperthyroid and Hyperthyroid + Thyme Oil groups. In conclusion, hyperthyroidism was associated with increased cardiac tissue irisin levels and decreased CAT activity. Thyme oil administration did not significantly alter hyperthyroidism-associated changes in TSH, fT3, and fT4 levels or cardiac tissue irisin levels, but increased cardiac tissue GSH-Px and CAT activities and serum irisin levels. These findings suggest that thyme oil may exert supportive effects on the antioxidant defense system of cardiac tissue under hyperthyroid conditions and may influence the circulating irisin response.

Keywords: Hyperthyroidism, thyme oil, irisin, oxidative stress, cardiac tissue

INULA THAPSOİDES (M.BİEB. EX WİLLD.) SPRENG.'İN BAZI YABANCI OTLARIN TOHUM ÇİMLENMESİ VE FİDE GELİŞİMİNE KARŞI ALLELOPATİK POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI

INVESTIGATION OF THE ALLELOPATHIC POTENTIAL OF INULA THAPSOIDES (M.BIEB. EX WILLD.) SPRENG. ON SEED GERMINATION AND SEEDLING GROWTH OF SELECTED WEED SPECIES

Asst. Prof. Dr. Mesut SIRRI
Kurtalan Vocational School, Siirt University, Siirt, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-9793-9599

Özet
Bu çalışmada, *Inula thapsoides*'in toprak üstü kısımlarından elde edilen su özütlerinin *Amaranthus retroflexus*, *Chenopodium album*, *Echinochloa crus-galli* ve *Physalis angulata* tohumlarının çimlenmesi ve fide gelişimi üzerindeki allelopatik ve fitotoksik etkileri araştırılmıştır. %50, %75 ve %100 konsantrasyonlarında hazırlanan özütler kontrollü koşullarda (30 °C, 12/12 saat aydınlık/karanlık) 14 gün süreyle test edilmiş; çimlenme oranı ile kök ve sürgün uzunlukları belirlenmiştir. Sonuçlar, özüt uygulamalarının tüm türlerde doza bağlı olarak çimlenmeyi, kök ve sürgün gelişimini önemli ölçüde baskıladığını göstermiştir ($p<0,05$). *C. album*, *E. crus-galli* ve *P. angulata* tohumları %100 dozunda tamamen inhibe olurken, *A. retroflexus* nispeten daha toleranslı bulunmuştur. Ayrıca kök gelişiminin sürgün gelişimine kıyasla uygulamaya karşı daha duyarlı olduğu belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, *I. thapsoides* özütlerinin doğal kökenli bir biyoherbisit adayı olarak değerlendirilebileceğini ortaya koymuş; ancak etkinliğinin ve güvenliğinin detaylı laboratuvar, sera ve tarla koşullarında ileri çalışmalarla desteklenmesi gerektiğini göstermiştir.
Anahtar Kelimeler: Allelopati, biyoherbisit, *Inula thapsoides*, tohum çimlenmesi, fitotoksisite

Abstract
This study investigated the allelopathic and phytotoxic effects of aqueous extracts obtained from the aerial parts of *Inula thapsoides* on the seed germination and seedling growth of *Amaranthus retroflexus*, *Chenopodium album*, *Echinochloa crus-galli*, and *Physalis angulata*. Extracts prepared at 50%, 75%, and 100% concentrations were tested under controlled conditions (30 °C, 12/12 h light/dark) for 14 days, and germination rate along with root and shoot lengths were measured. The results revealed that extract application significantly suppressed germination and root/shoot growth in all species in a dose-dependent manner ($p<0.05$). Germination was completely inhibited in *C.* album, *E. crus-galli*, and *P. angulata* at the 100% dose, whereas *A. retroflexus* showed relatively greater tolerance. Root growth was found to be more sensitive to the treatment than shoot growth. The findings indicate that I. thapsoides extracts can be considered as candidates for a naturally derived bioherbicide; however, they also show that their efficacy and safety must be supported by further studies under detailed laboratory, greenhouse, and field conditions.
Keywords: Allelopathy, bioherbicide, Inula thapsoides, seed germination, phytotoxicity

Giriş

Yabancı otlar, tarımsal üretim alanlarında kültür bitkileriyle su, besin maddeleri, ışık ve yaşam alanı bakımından rekabete girerek ürün verimi ve kalitesinde önemli kayıplara neden olan başlıca biyotik etmenler arasında yer almaktadır (Özer ve ark., 2001). Türlerin morfolojik, ekolojik ve fizyolojik özellikleri ile yaşam döngüleri ve üreme stratejileri arasındaki farklılıklar, yabancı otlarla mücadeleyi güçleştirmektedir (Önen, 2021; Önen, 2023). Yabancı ot rekabetinden kaynaklanan ürün kayıplarının koşullara bağlı olarak %25–75 arasında değişebildiği bildirilmektedir (Farooq vd., 2013). Bu nedenle yabancı otların etkili ve sürdürülebilir yöntemlerle yönetilmesi, tarımsal üretimin devamlılığı açısından büyük önem taşımaktadır.

Yabancı ot kontrolünde sentetik herbisitler, hızlı ve etkili sonuç vermeleri nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, bu ürünlerin yoğun ve tekrarlanan kullanımı; çevresel kirlenme, toprakta ve tarımsal ürünlerde kalıntı oluşumu, hedef dışı organizmaların zarar görmesi ve herbisite dayanıklı yabancı ot popülasyonlarının gelişmesi gibi önemli sorunlara yol açabilmektedir (Mengüç, 2015).

Ayrıca organik ve sürdürülebilir üretim sistemlerine yönelik talebin artması, kimyasal mücadeleye bağımlılığı azaltabilecek çevre dostu alternatiflerin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır (Jabran, 2017; Kostina-Bednarz ve ark., 2023).

Bu kapsamda allelopati, bitkiler tarafından çevreye salınan kimyasal bileşiklerin diğer bitkilerin çimlenme, büyüme ve gelişme süreçleri üzerindeki doğrudan veya dolaylı etkilerini ifade eden önemli bir ekolojik mekanizmadır. Allelokimyasallar; yaprak, gövde, kök, çiçek, tohum ve tohum kabuğu gibi farklı bitki organlarından yıkanma, uçuculaşma, kök salgıları ve bitki artıklarının ayrışması yoluyla çevreye bırakılabilmektedir (Cheng ve Cheng, 2015; Dang Xuan ve ark., 2025). Terpenoidler, flavonoidler, tanenler, alkaloidler ve fenolik bileşikler gibi sekonder metabolitler; tohum çimlenmesini engelleme, hedef bitkilerde hücre bölünmesi, kök uzaması, besin maddesi alımı, fotosentez ve genel hücresel metabolizma üzerinde etkili olabilmektedir (Önen, 2003; Prabhu ve ark., 2022; Ain ve ark., 2023). Bu bileşiklerin etkileri konsantrasyona bağlı olarak değişebilmekte; düşük düzeylerde uyarıcı etkiler görülebilirken yüksek konsantrasyonlarda çimlenme ve fide gelişimi belirgin biçimde baskılanabilmektedir (Kristiana, 2019).

Allelopatik özellik taşıyan bitkilerden elde edilen özütlerin yabancı ot yönetiminde kullanılması, sentetik herbisitlere alternatif veya tamamlayıcı bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir (Önen, 2003). Bitkisel kökenli biyoherbisitler, biyolojik olarak parçalanabilmeleri, çevrede kalıcılıklarının görece düşük olması ve hedef dışı canlılar açısından daha düşük risk taşıma potansiyelleri nedeniyle dikkat çekmektedir (Budi ve ark., 2023). Bununla birlikte, bu materyallerin tarımsal uygulamalarda kullanılabilmesi için etkilerinin hedef yabancı ot türü, uygulama dozu ve gelişme dönemi bakımından ayrıntılı olarak belirlenmesi gerekmektedir.

Doğal biyoaktif bileşikler bakımından zengin, önemli bitki gruplarından biri Asteraceae familyasıdır. Bu familyaya ait türlerde flavonoidler, alkaloidler, tanenler, saponinler, terpenoidler, steroidler ve kinonlar gibi çeşitli sekonder metabolitlerin bulunduğu bilinmektedir. Asteraceae içerisinde yer alan *Inula* türleri; kök, yaprak ve çiçeklerinde bulunan antibakteriyel, antifungal ve fitotoksik bileşikler nedeniyle sağlık, çevre ve tarım alanlarında değerlendirilebilecek önemli bir biyolojik kaynak niteliğindedir. Bu özellikler, *Inula* türlerinin doğal yabancı ot baskılayıcı materyallerin geliştirilmesinde kullanılabileceğine işaret etmektedir (Horuz ve Üremiş, 2024). Ancak *Inula thapsoides* (M.Bieb. ex Willd.) Spreng.'in farklı yabancı ot türlerinin çimlenmesi ve erken fide gelişimi üzerindeki etkilerine ilişkin bilgiler sınırlıdır.

Bu çalışmada, *Inula thapsoides*'in toprak üstü kısımlarından elde edilen bitkisel özütlerin bazı yabancı ot türlerinin tohum çimlenmesi ve fide gelişimi üzerindeki allelopatik ve fitotoksik etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, farklı özüt dozlarının hedef yabancı otların çimlenme oranı ile kök ve sürgün gelişimi üzerindeki etkileri kontrollü koşullarda değerlendirilmiş; türlerin uygulamalara karşı duyarlılık düzeyleri karşılaştırılarak *I. thapsoides*'in allelopatik potansiyeli ortaya konulmuştur.

Materyal ve Metot

Bitki materyali 2025 yılında yapılan saha çalışmasında Hakkâri ili Yüksekova ilçesinin doğal florasından çiçeklenme döneminde toplanmıştır. Bitki materyalleri (toprak üstü kısımlar) gölgeli ve iyi havalandırılmış bir ortamda 10 gün boyunca kurutulmuştur. Daha sonra kurutulmuş bitki materyalleri öğütücü kullanılarak toz haline getirilmiştir. Denemelerde test bitkisi olarak kullanılan *Amaranthus retroflexus* L., *Cehonopodium album* L., *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. ve *Physalis angulata* L. tohumları ise Siirt ilindeki tarım alanlarından temin edilmiştir.

Bitki Su Özütlerin Hazırlanması

Öğütülmüş bitki materyalinde 20g/100ml oranında saf su eklenilerek orbital çalkalayıcıda oda sıcaklığında 24 saat süreyle ekstrakte edilmiştir. Elde edilen ekstrakt Whatman No. 1 filtre kâğıdından süzüldükten sonra 4000 rpm'de 10 dakika santrifüj edilmiştir. Elde edilen stok çözelti, sırasıyla %100 (1:0 v/v; su ekstraktı), %75 (1:0,5 v/v; su ekstraktı), %50 (1:1, v/v; ekstrakt su) konsantrasyonlarında hazırlanmış; kontrol uygulamasında ise yalnızca distile su kullanılmıştır.

Tohum Çimlenme Testleri

Çalışmada test bitkisi olarak kullanılan *A. retroflexus, C. album, E. crus-galli* ve *P. angulata* tohumlarına, patojen bulaşma riskini azaltmak amacıyla yüzey sterilizasyonu uygulanmıştır.

Tohumlar %1'lik sodyum hipoklorit (NaClO) çözeltisinde 5 dakika bekletilmiş, ardından her biri 5 dakika olmak üzere üç kez saf suyla yıkanmıştır (Horuz ve Üremiş, 2024). Dormansinin giderilmesi amacıyla *C. album* tohumlarına 24 saat % 0,2'lik potasyum nitrat (KNO_3) uygulaması yapılırken, *P. angulata* tohumları 24 saat süreyle akan su altında bekletilmiştir. Çimlenme testlerinde, 9 cm çapındaki Petri kaplarının tabanına çift kat Whatman No. 1 filtre kâğıdı yerleştirilmiş ve her bir Petri kabına 50 adet tohum homojen biçimde dağıtılmıştır. Ardından her Petri kabına 5 mL uygulama çözeltisi ilave edilmiştir. Petri kapları, 30 °C sıcaklık ile 12 saat aydınlık/12 saat karanlık fotoperiyot koşullarına ayarlanmış çimlenme kabininde 14 gün süreyle inkübasyona bırakılmıştır (Önen, 2003). İnkübasyon süresinin sonunda, kökçük uzunluğu en az 0,5 mm'ye ulaşan tohumlar çimlenmiş olarak kabul edilmiştir. Değerlendirmeler kapsamında çimlenen tohum sayısı belirlenmiş; fidelerin kök ve sürgün uzunlukları ölçülmüştür. Deneme üç tekerrürlü olarak yürütülmüştür.

Bulgular ve Tartışma

Çalışma sonuçları Şekil 1 ve Şekil 2 birlikte değerlendirildiğinde, uygulanan ekstraktın test edilen yabancı ot türlerinin tohum çimlenmesini konsantrasyona bağlı olarak baskıladığı görülmektedir. Ekstrakt konsantrasyonunun %50'den %100'e yükselmesi, hem çimlenmenin başlamasını geciktirmiş hem de 14. gün sonunda ulaşılan toplam çimlenme yüzdesini azaltmıştır. Bununla birlikte, uygulamanın etkisi yabancı ot türlerine göre farklılık göstermiştir.

Kontrol grubunda *Amaranthus retroflexus* tohumlarının çimlenmesi denemenin başlangıcında hızlı gerçekleşmiş ve 4. günde yaklaşık %84'e ulaşmıştır. Sonraki günlerde önemli bir değişim görülmemiştir. Ekstrakt uygulamalarında ise çimlenmenin daha yavaş ilerlediği belirlenmiştir. On dördüncü gün sonunda çimlenme oranları %50, %75 ve %100 konsantrasyonlarında sırasıyla yaklaşık %64, %52 ve %16 olarak kaydedilmiştir. Bu sonuçlar, *A. retroflexus*'un düşük ve orta konsantrasyonlarda çimlenme yeteneğini kısmen koruduğunu, ancak %100'lük uygulamanın çimlenmeyi belirgin biçimde baskıladığını göstermektedir.

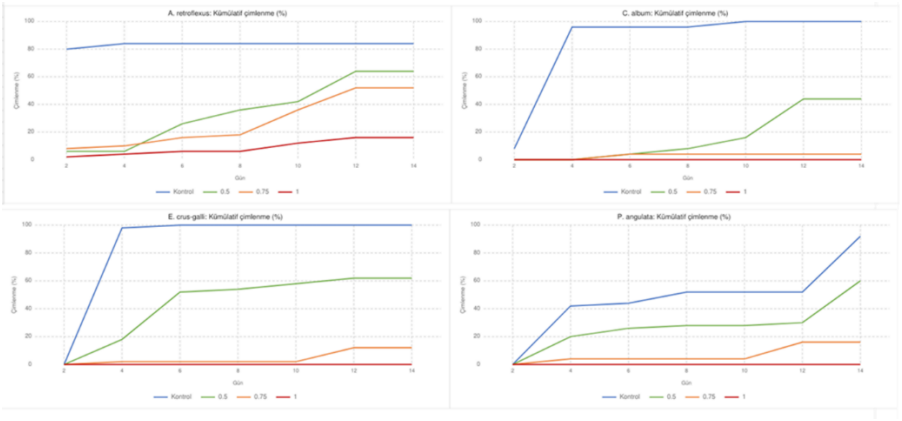
Chenopodium album kontrol grubunda çimlenme büyük ölçüde ilk dört gün içerisinde gerçekleşmiş ve deneme sonunda yaklaşık %100'e ulaşmıştır. Buna karşılık, %50'lik uygulamada çimlenme gecikmiş ve 14. gün sonunda yalnızca %44 düzeyinde kalmıştır. %75'lik konsantrasyonda çimlenme yaklaşık %4'e düşerken, %100'lük uygulamada çimlenme gözlenmemiştir. Dolayısıyla *C. album*, özellikle yüksek ekstrakt konsantrasyonlarına karşı en hassas türlerden biri olarak öne çıkmıştır.

Benzer bir eğilim *Echinochloa crus-galli* tohumlarında da belirlenmiştir. Kontrol grubunda çimlenme 4. günde yaklaşık %97'ye ulaşmış ve deneme sonunda %100'e yaklaşmıştır. %50'lik uygulamada çimlenme daha yavaş gerçekleşmiş ve 14. günde yaklaşık %62 olarak belirlenmiştir. %75'lik uygulamada toplam çimlenme %12 ile sınırlı kalırken, %100'lük uygulamada çimlenme tamamen engellenmiştir. Bu bulgular, ekstraktın *E. crus-galli* üzerinde güçlü ve konsantrasyona bağlı bir çimlenme engelleyici etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

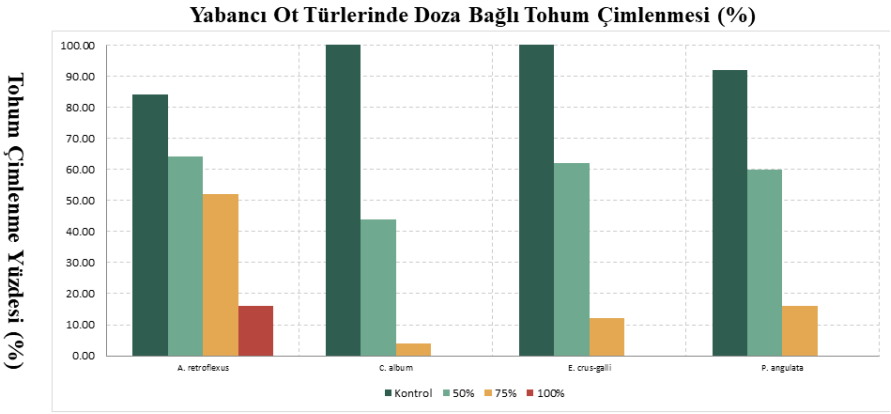
Physalis angulata kontrol grubunda diğer türlere kıyasla daha yavaş ve düzensiz bir çimlenme seyri göstermiştir. Kontrol uygulamasında çimlenme 4. günde yaklaşık %42'ye ulaşmış, 12. güne kadar yaklaşık %52 düzeyinde kalmış ve 14. günde %92'ye yükselmiştir. %50'lik uygulamada benzer şekilde gecikmeli bir çimlenme gerçekleşmiş ve deneme sonunda yaklaşık %60 çimlenme elde edilmiştir. %75'lik konsantrasyonda çimlenme %16'ya düşerken, %100'lük uygulamada çimlenme görülmemiştir. Bu durum, ekstraktın *P. angulata* tohumlarında hem çimlenme hızını hem de toplam çimlenme oranını azalttığını ortaya koymaktadır.

Yabancı ot türleri karşılaştırıldığında, %50'lik uygulama sonunda en yüksek çimlenme oranı *A. retroflexus*'ta (%64), ardından *E. crus-galli* (%62), *P. angulata* (%60) ve *C. album*'da (%44) belirlenmiştir. %75'lik uygulamada ise *A. retroflexus* yaklaşık %52 çimlenme oranıyla diğer türlerden daha toleranslı görünürken; *P. angulata, E. crus-galli* ve *C. album*'da çimlenme sırasıyla yaklaşık %16, %12 ve %4'e gerilemiştir. %100'lük uygulama *C. album, E. crus-galli* ve *P. angulata* tohumlarında çimlenmeyi tamamen engellerken, *A. retroflexus*'ta düşük düzeyde (%16) çimlenme devam etmiştir.

Genel olarak elde edilen bulgular, ekstraktın yabancı ot tohumlarının çimlenmesi üzerinde belirgin ve doza bağlı bir fitotoksik etki oluşturduğunu göstermektedir. *A. retroflexus* yüksek konsantrasyonda dahi belirli ölçüde çimlenme gösterebildiğinden uygulamaya karşı görece toleranslı; C. *album* ise özellikle %75 ve %100 konsantrasyonlarında en hassas tür olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 1. Yabancı otların 14 günlük çimlenme sayıları



Şekil 2. Farklı uygulama dozlarında yabancı otların ortalama tohum çimlenme oranları (%)

Çalışmada yabancı ot türü, uygulama dozu ve tür × doz etkileşiminin tohum çimlenmesi, kök uzunluğu ve sürgün uzunluğu üzerindeki etkilerinin istatistiksel olarak önemli bulunması ($p<0,005$), uygulamanın fitotoksik etkisinin hem doza hem de hedef türe bağlı olduğunu ortaya koymuştur. Özellikle tür × doz etkileşiminin önemli olması, aynı uygulama dozunun farklı yabancı ot türlerinde benzer düzeyde etki meydana getirmediğini göstermektedir. Bu durum, türlerin uygulamadaki etkin bileşiklere karşı fizyolojik duyarlılıklarının farklı olabileceğine işaret etmektedir.

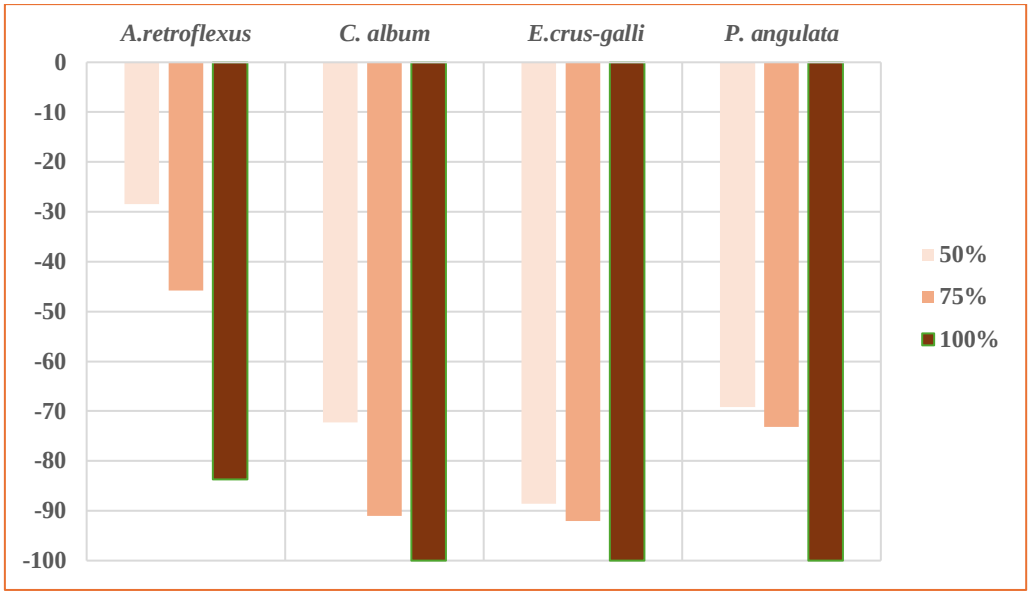
Kök uzunluğuna ilişkin sonuçlar, uygulamanın bütün yabancı ot türlerinde belirgin ve doza bağlı bir baskılama oluşturduğunu göstermiştir. Kontrol grubunda kök uzunluğu *A. retroflexus, C. album, E. crus-galli* ve *P. angulata* için sırasıyla 31,40; 16,12; 30,96 ve 11,57 olarak belirlenirken, %50 dozunda bu değerler 4,72; 4,47; 3,52 ve 3,56'ya gerilemiştir. Buna göre en düşük uygulama dozunda dahi kök uzunluğu kontrol grubuna kıyasla *A. retroflexus*'ta yaklaşık %85,0, *C. album*'da %72,3, *E. crus-galli*'de %88,6 ve *P. angulata*'da %69,2 oranında azalmıştır. Bu sonuçlar, kök gelişiminin uygulamaya karşı oldukça hassas bir parametre olduğunu göstermektedir (Tablo 1 ve Şekil 3).

Uygulama dozunun %75'e yükseltilmesiyle kök gelişimindeki baskılanma daha da belirginleşmiştir. Bu dozda kontrol grubuna göre kök uzunluğundaki azalma *A. retroflexus*'ta yaklaşık %91,2, *C. album*'da %91,0, *E. crus-galli*'de %92,1 ve *P. angulata*'da %73,2 olarak hesaplanmıştır. %100 dozunda ise *C. album, E. crus-galli* ve *P. angulata*'da kök gelişimi tamamen engellenirken, *A. retroflexus*'ta 1,57 düzeyinde sınırlı bir kök gelişimi devam etmiştir. Bununla birlikte, *A. retroflexus*'un kök uzunluğu da kontrol grubuna göre yaklaşık %95,0 oranında azalmıştır. Dolayısıyla bu türün uygulamaya tamamen dayanıklı olmadığı, ancak diğer türlere göre yüksek dozlarda daha fazla tolerans gösterebildiği anlaşılmaktadır (Tablo 1 ve Şekil 3).

Tablo 1. Farklı uygulama dozlarında yabancı ot türlerinin ortalama kök uzunluğu değerleri (ortalama ± standart sapma)

	A. retroflexus	*C. album*	*E. crus-galli*	*P. angulata*
Kontrol	31.40±1.23[a]	16.11±1.21[a]	30.95±2.75[a]	11.57±2.34[a]
%50	4.71±0.27[b]	4.46±0.80[b]	3.52±1.09[b]	3.56±0.57[b]
%75	2.75±0.15[c]	1.44±0.07[c]	2.43±0.06[b]	3.10±0.16[b]
%100	1.57±0.29[d]	0.00±0.00[d]	0.00±0.00[c]	0.00±0.00[c]

* Her uygulama dozu ilgili türün kontrol grubuyla karşılaştırılmıştır. p<0,05 istatistiksel olarak önemli kabul edilmiştir.



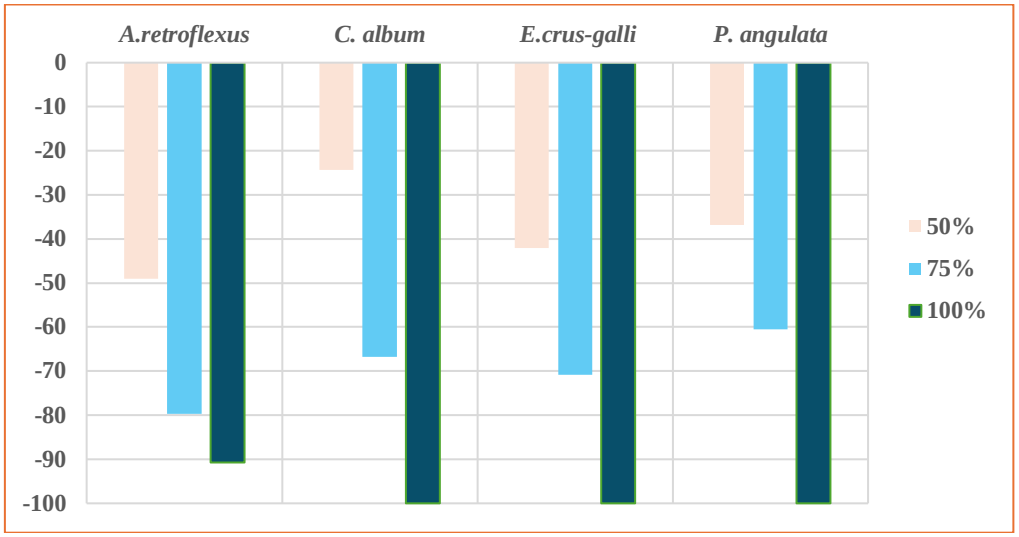
Şekil 3. Inula thapsoides' in yabancı otların kök büyümesi üzerindeki inhibisyon etkisi

Sürgün uzunluğu bakımından da benzer şekilde belirgin bir doz–tepki ilişkisi saptanmıştır. %50 uygulama dozunda sürgün uzunluğu kontrol grubuna göre *A. retroflexus*'ta yaklaşık %49,1, *C. album*'da %24,3, *E. crus-galli*'de %42,1 ve *P. angulata*'da %36,8 oranında azalmıştır. Aynı dozda kök uzunluğunda meydana gelen azalmaların sürgün uzunluğundaki azalmalardan daha yüksek olması, kök sisteminin uygulamanın fitotoksik etkilerine karşı sürgünlerden daha duyarlı olduğunu göstermektedir. Köklerin uygulama çözeltisiyle doğrudan temas etmesi ve kök büyümesinin hücre bölünmesi ile hücre uzamasındaki bozulmalara hızlı tepki vermesi, bu farklılığın olası nedenleri arasında değerlendirilebilir (Tablo 2 ve Şekil 4).Sürgün gelişimindeki baskılanma, dozun %75'e çıkarılmasıyla bütün türlerde güçlenmiştir. Bu dozda sürgün uzunluğu kontrol grubuna göre *A. retroflexus*'ta yaklaşık %79,6, *C. album*'da %66,7, *E. crus-galli*'de %70,8 ve *P. angulata*'da %60,5 oranında azalmıştır. %100 dozunda *C. album, E. crus-galli* ve *P. angulata*'da sürgün gelişimi tamamen engellenmiştir. Buna karşılık *A. retroflexus*'ta sürgün uzunluğu 2,39 olarak ölçülmüş; ancak bu değer kontrol grubuna göre yaklaşık %90,7'lik bir azalmaya karşılık gelmiştir. Kök uzunluğunda olduğu gibi sürgün uzunluğunda da *A. retroflexus*'un yüksek doza karşı görece daha toleranslı olduğu görülmektedir (Tablo 2 ve Şekil 4).

Tablo 2. Farklı uygulama dozlarında yabancı ot türlerinin ortalama sürgün uzunluğu değerleri (ortalama ± standart sapma)

	A. retroflexus	*C. album*	*E. crus-galli*	*P. angulata*
Kontrol	25.68±0.78[a]	13.55±1.31[a]	33.66±0.83[a]	8.84±0.52[a]
%50	13.06±0.55[b]	10.26±1.90[b]	19.49±0.69[b]	5.59±0.33[b]
%75	5.22±0.72[c]	4.51±0.37[c]	9.83±0.73[c]	3.48±1.05[c]
%100	2.39±0.14[d]	0.00±0.00[d]	0.00±0.00[d]	0.00±0.00[d]

* Her uygulama dozu ilgili türün kontrol grubuyla karşılaştırılmıştır. p<0,05 istatistiksel olarak önemli kabul edilmiştir.



Şekil 4. Inula thapsoides' in yabancı otların sürgün büyümesi üzerindeki inhibisyon etkisi

Genel olarak, bütün uygulama dozlarının kontrol grubuna göre çimlenme ve kök gelişimini önemli derecede azalttığını ($p<0,05$), sürgün uzunluğunda ise bütün uygulamaların kontrolden önemli ölçüde farklı olduğunu göstermiştir ($p<0,05$). En düşük dozda dahi istatistiksel olarak önemli bir baskılanmanın ortaya çıkması, uygulamanın düşük konsantrasyonlarda da biyolojik olarak etkili olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, gözlenen güçlü doz–tepki ilişkisi, uygulamanın etkinliğinin konsantrasyon arttıkça belirgin biçimde yükseldiğini ortaya koymaktadır.

Yüksek uygulama dozlarında *C. album*, *E. crus-galli* ve *P. angulata*'ta tam çimlenme inhibisyonunun meydana gelmesi, bu türlerin uygulamaya karşı oldukça duyarlı olduğunu göstermektedir. Buna karşılık *A. retroflexus*'un aynı koşullarda sınırlı da olsa çimlenme ve fide gelişimini sürdürebilmesi, bu türün daha yüksek fizyolojik toleransa sahip olabileceğini düşündürmektedir. Türler arasındaki farklı tepkiler; tohum kabuğunun geçirgenliği, tohum büyüklüğü, dormansi özellikleri, detoksifikasyon mekanizmaları ve etkin bileşiklerin alınım veya taşınma düzeylerindeki farklılıklarla ilişkili olabilir. Ancak bu mekanizmaların açıklanabilmesi için fizyolojik ve biyokimyasal analizlerle desteklenen ileri çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır.

Sonuç olarak, incelenen bütün yabancı ot türlerinde çimlenme ve erken fide gelişimini doza bağlı olarak önemli ölçüde baskılamıştır. Kök gelişiminin sürgün gelişimine göre daha yüksek düzeyde etkilenmesi, kök uzunluğunun fitotoksik etkinliğin belirlenmesinde hassas bir gösterge olarak kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Özellikle %100 dozunun *C. album*, *E. crus-galli* ve *P. angulata* üzerinde tam inhibisyon sağlaması, uygulamanın bu türlerin mücadelesinde doğal kökenli bir biyoherbisit adayı olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, uygulamanın tarla koşullarındaki kalıcılığı, seçiciliği, kültür bitkileri üzerindeki olası fitotoksik etkileri ve çevresel güvenliği kontrollü sera ve tarla denemeleriyle ayrıca araştırılmalıdır.

Kaynaklar

Ain, Q., Mushtaq, W., Shadab, M., & Siddiqui, M. B. (2023). Allelopathy: an alternative tool for sustainable agriculture. Physiology and Molecular Biology of Plants, 29(4), 495-511.

Budi, G. P., Pribadi, T., Fitri, S. N., & Biky, M. A. (2023, May). The effectiveness of weed extract with different temperature aquades solvent for controlling antraknosa disease of red chili (*Capsicum annum* L.). In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 1183, No. 1, p. 012093). IOP Publishing.

Cheng, F., & Cheng, Z. (2015). Research progress on the use of plant allelopathy in agriculture and the physiological and ecological mechanisms of allelopathy. Frontiers in plant science, 6, 160714.

Dang Xuan, T., Xuan Chien, N., Dang Khanh, T., Duc Viet, T., & Ngoc Minh, T. T. (2025). Advancements and challenges in allelopathy: a global perspective on agricultural practices. Journal of Crop Health, 77(5), 151.

Farooq, M., Bajwa, A.A., Cheema, S.A. & Cheema Z.A. (2013). Application of allelochemical in crop production. International Journal of Agriculture & Biology, 15, 1367-1378.

Horuz, H. & Üremiş, İ. (2024). Andız Otu (*Inula viscosa* L.) ve Kokar Ağaç (*Ailanthus altissima* (Miller) Swingle) Özütlerinin Bazı Yabancı Ot Tohumlarının Çimlenmeleri Üzerine Allelopatik Etkileri. Turkish Journal of Weed Science, 27(1), 9-22.

Jabran, K. (2017). Manipulation of allelopathic crops for weeds control. Spring Briefs in Plants Sciences, pp. 1.

Kostina-Bednarz, M., Płonka, J., & Barchanska, H. (2023). Allelopathy as a source of bioherbicides: challenges and prospects for sustainable agriculture. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology

Kristiana, R. (2019). Mengkaji Peranan Alelokimia pada Bidang Pertanian. Bioedukasi. 12(1), 41-46.

Mengüç, Ç. (2015). Yabancı otlarda herbisitlere dayanıklılık konusunda dünyadaki mevcut durum. Ziraat Mühendisliği, (362), 38-41.

Önen, H. (2003). Bioherbicidal effects of some plant essential oils. Turkish Journal of Weed Science, 6 (1), 39-47.

Önen, H. (2021). Yabancı otların yaşam öyküsü (gelişim, üreme ve adaptasyon) stratejileri, 9. Bölüm. "Herboloji (Yabancı Ot Bilimi): İlkeler, Kavramlar ve Uygulamalar / Weed Science: Theory and Practice" içinde (48 sayfa). Adana, DOI: 10.13140/RG.2.2.20971.31526

Önen, H. (2023). Türkiye'nin Yabancı Otları ve Özellikleri: Ayçiçeği. Turkish Journal of Weed Science, 26(2), 159-189.

Özer, Z., Kadıoğlu, İ., Önen, H., Tursun, N. (2001). Herboloji (Yabancı Ot Bilimi). Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No: 20 Kitap Seri No: 10, Tokat.

Prabhu, N., R.Kiruthiga, R. Kowsalya, S. Jeevitha & M. Vijay. (2022). Evaluation of Phytochemicals and Histochemicals of Cyperus rotundus and Its Thrombolytic Activity. Journal of Pharmaceutical Research International. 34(8B), 18-30.

TAKVIYE EDICI GIDALARDA KULLANILABILECEK BITKILER LISTESINDE YER ALAN YABANCI OT TÜRLERI

WEED SPECIES INCLUDED IN THE LIST OF PLANTS PERMITTED FOR USE IN FOOD SUPPLEMENTS

MSc. Agricultural Engineer Gülten SIRRI
Food and Feed Branch, Siirt Provincial Directorate of Agriculture and Forestry, Siirt, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-1632-0992

Asst. Prof. Dr. Mesut SIRRI
Department of Plant and Animal Production, Kurtalan Vocational School, Siirt University, Siirt, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-9793-9599

Özet

Bu derlemede, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğü tarafından yayımlanan 2025 yılı Takviye Edici Gıdalarda Kullanılabilecek Bitkiler Listesi'nde yer alan yabancı ot niteliğindeki taksonların belirlenmesi; bunların taksonomik dağılımlarının, kullanılan bitki kısımlarının ve değerlendirilme potansiyellerinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu kapsamda listedeki 677 bitki kaydı incelenmiş, kullanımına izin verilmeyen negatif statülü bitkiler kapsam dışında bırakılmıştır. Taksonların yabancı ot niteliği A Global Compendium of Weeds temel alınarak değerlendirilmiş; bilimsel adları, sinonimleri ve Türkçe adları ilgili taksonomik kaynaklar kullanılarak doğrulanmıştır. İnceleme sonucunda 35 familyaya ait 116 tür veya tür altı takson belirlenmiştir. Takson sayısı bakımından Lamiaceae 20 takson (%17.2) ile ilk sırada yer almış; bunu Asteraceae 18 (%15.5), Fabaceae 10 (%8.6), Brassicaceae 7 (%6,0), Apiaceae 6 (%5.2) ve Plantaginaceae 6 takson (%5.2) izlemiştir. Kullanımına izin verilen bitki kısımları arasında toprak üstü aksam öne çıkarken bunu çiçek veya çiçek durumu, tohum, kök ve yaprak takip etmiştir. Bulgular, tarımsal ve doğal ekosistemlerde yabancı ot olarak değerlendirilen çok sayıda bitkinin takviye edici gıda hammaddesi olarak ekonomik ve etnobotanik potansiyel taşıdığını göstermektedir. Bununla birlikte, bu potansiyelin güvenli ve sürdürülebilir biçimde değerlendirilebilmesi için doğru tür teşhisi, izin verilen bitki kısmının kullanılması, kalite standardizasyonu, toksikolojik değerlendirme ve güncel mevzuata uygunluk temel koşullardır.

Anahtar kelimeler: Bitkisel hammaddeler, etnobotanik, gıda takviyeleri, taksonomik çeşitlilik, sürdürülebilir kullanım, yabancı otlar

Abstract

This review aimed to identify weed taxa included in the 2025 List of Plants Permitted for Use in Food Supplements published by the General Directorate of Food and Control of the Republic of Türkiye Ministry of Agriculture and Forestry and to evaluate their taxonomic distribution, permitted plant parts, and utilization potential. A total of 677 plant records were examined, while plants assigned a negative status and therefore not permitted for use were excluded. Weed status was assessed using A Global Compendium of Weeds, and the scientific names, synonyms, and Turkish common names of the selected taxa were verified using relevant taxonomic references. The assessment identified 116 species or infraspecific taxa belonging to 35 families. Lamiaceae was the most represented family, with 20 taxa (17.2%), followed by Asteraceae with 18 (15.5%), Fabaceae with 10 (8.6%), Brassicaceae with seven (6.0%), and Apiaceae and Plantaginaceae with six taxa each (5.2%). Aerial parts constituted the most frequently permitted plant-part category, followed by flowers or inflorescences, seeds, roots, and leaves. The findings demonstrate that numerous plants regarded as weeds in agricultural and natural ecosystems possess considerable economic and ethnobotanical potential as raw materials for food supplements. However, the safe and sustainable use of these resources requires accurate taxonomic identification, the exclusive use of permitted plant parts, quality standardization, toxicological assessment, and compliance with current legislation.

Keywords: Botanical raw materials, ethnobotany, food supplements, sustainable utilization, taxonomic diversity, weeds

Giriş

İnsanların bitkilerden beslenme ve sağlık amacıyla yararlanması tarih öncesi dönemlere kadar uzanmaktadır. Arkeobotanik ve etnobotanik bulgular, avcı-toplayıcı toplulukların bazı bitkilerin hem besinsel hem de fizyolojik etkilerini ayırt edebildiğini göstermektedir (Koçyiğit, 2005; Pehlivan ve ark., 2018; Bayraktar, 2025). Bitkiler, 19. yüzyılın sonlarına kadar tedavinin başlıca araçları arasında yer almış; sentetik ilaçların gelişmesiyle göreli önemleri azalsa da özellikle 1990'lı yıllardan itibaren tıbbi ve aromatik bitkilere ve bitkisel ürünlere yönelik ilgi yeniden belirgin biçimde artmıştır (Anonim, 2021). Bu tarihsel birikim, günümüzde geleneksel kullanım bilgisinin modern gıda, farmakoloji ve fitoterapi uygulamalarıyla birlikte değerlendirilmesine zemin hazırlamaktadır (Mohammed ve ark., 2019).

Takviye edici gıdalar, normal beslenmeyi desteklemek amacıyla kullanılan; vitamin, mineral, protein, lif, yağ asidi ve amino asit gibi besin ögelerinin yanı sıra besleyici veya fizyolojik etkileri bulunan bitkisel ve hayvansal kaynaklı maddeler ile biyoaktif bileşenlerin konsantre ya da ekstraktlarını içerebilen ürünlerdir (Aslan ve ark., 2021; Bayraktar, 2025). Bu ürünler tek başına veya karışım hâlinde hazırlanabilmekte; kapsül, tablet, pastil, tek kullanımlık toz paket, sıvı ampul ve damlalıklı şişe gibi günlük alım dozu belirlenmiş formlarda sunulabilmektedir (Anonim, 2013). Bitkisel kökenli takviyelerin yaygınlaşması, doğal ürünlere yönelik tüketici talebinin artması ve bitkilerin içerdiği biyolojik olarak etkin bileşiklerin daha fazla araştırılmasıyla yakından ilişkilidir (Ersöz, 2012; Sırrı ve ark., 2021). Bununla birlikte, "doğal" nitelemesi tek başına güvenlilik göstergesi değildir; ürünlerin bilinçsiz kullanımı, toksik etkiler ve bitki–ilaç etkileşimleri bakımından bilimsel değerlendirme gerektirmektedir.

Türkiye; Avrupa-Sibirya, Akdeniz ve İran-Turan fitocoğrafik bölgelerinin kesişiminde bulunması, farklı iklim ve topoğrafya koşullarına sahip olması nedeniyle zengin bir bitki çeşitliliği ve güçlü bir etnobotanik birikim barındırmaktadır (Tümen, 2012). Anadolu'da yabani bitkilerin yaprak, kök, gövde, çiçek, meyve ve tohum gibi farklı kısımları yüzyıllardır gıda, baharat, bitkisel çay ve geleneksel tedavi amacıyla kullanılmaktadır (Özer ve ark., 2002; 2004; Türkoğlu ve ark., 2006; Uce ve ark., 2014). Özellikle kırsal alanlarda sürdürülen bu kullanım kültürü, doğal kaynakların değerlendirilmesi kadar yerel bilginin korunması ve gelecek kuşaklara aktarılması bakımından da önem taşımaktadır (Sırrı ve Sırrı, 2020). Son yıllarda doğal ürünlere, yöresel mutfaklara ve eko-gastronomiye artan ilgi, yabani bitkilerin besinsel ve ekonomik potansiyelinin yeniden gündeme gelmesini sağlamıştır (Diker ve ark., 2017; Okcu ve Kaplan, 2018).

Tarım bilimi açısından yabancı otlar, kültür bitkileriyle su, ışık, besin maddesi ve yaşam alanı için rekabet eden ve üretimde kayıplara yol açabilen bitkiler olarak ele alınmaktadır (Özer ve ark., 2001). Ancak bir türün "yabancı ot" olarak değerlendirilmesi, onun biyolojik veya ekonomik açıdan bütünüyle değersiz olduğu anlamına gelmemektedir. Tarım alanlarında ya da doğal habitatlarda kendiliğinden yetişen birçok tür; gıda, yem, tıbbi ürün, erozyon kontrolü, organik madde kaynağı, polinatör ve diğer yararlı organizmalar için besin ve barınak sağlama gibi farklı işlevlere sahiptir (Özer ve ark., 2002). Nitekim yabani veya yabancı ot niteliğindeki bitkilerin geleneksel olarak sebze, baharat ve tedavi edici materyal şeklinde kullanıldığı; bazı türlerin protein, vitamin, mineral, lif ve antioksidan bileşikler bakımından dikkate değer olduğu bildirilmektedir (Özer ve ark., 2004; Maroyi, 2013; Okcu ve Kaplan, 2018). Bu çok yönlü yapı, yabancı otların yalnızca mücadele edilmesi gereken organizmalar olarak değil, sürdürülebilir biçimde değerlendirilebilecek biyolojik kaynaklar olarak da incelenmesini gerekli kılmaktadır.

Bitkisel kaynakların gıda takviyelerinde kullanılabilme potansiyeli, büyük ölçüde içerdikleri sekonder metabolitlerle ilişkilidir (Aslan ve ark., 2021). Uçucu yağlar, fenolik bileşikler, flavonoidler, alkaloitler, saponinler, tanenler ve reçineler bitkilerin aroma, tat ve renk özelliklerine katkıda bulunurken çeşitli biyoaktif etkiler de gösterebilmektedir (Irchhaiya ve ark., 2015; Yang ve ark., 2018; Isah, 2019). Bu bileşiklerin miktarı ve bileşimi; tür, kullanılan bitki kısmı, gelişme dönemi, çevresel koşullar ve ekstraksiyon yöntemi gibi etmenlere bağlı olarak değişmektedir (Ou ve ark., 2015; Oroian ve ark., 2020; Aslan ve ark., 2021). Dolayısıyla bir bitkinin geleneksel kullanımının bulunması, bitkinin bütün kısımlarının veya her türlü preparatının aynı ölçüde güvenli ve uygun olduğu anlamına gelmez. Botanik teşhisin doğru yapılması, kullanılan kısmın ve hazırlama biçiminin açıkça belirtilmesi, dozun ve olası toksikolojik risklerin değerlendirilmesi bitkisel takviyelerin güvenli kullanımı açısından temel gerekliliklerdir (Tümen, 2024; Bayraktar, 2025).

Türkiye'de gıda amaçlı kullanılmak istenen bitki, bitki kısmı ve bitkisel preparatlar Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından oluşturulan bitki listeleri kapsamında değerlendirilmektedir (Anonim, 2023). Değerlendirme sürecinde bitkinin kimyasal bileşimi, tarihsel ve güncel kullanım alanları, insan fizyolojisi üzerindeki olumlu ve olumsuz etkileri, toksikolojik verileri, olası etkileşimleri, kullanım kısıtlamaları, önerilen kullanım şekli ve miktarı ile ulusal ve uluslararası güvenlilik değerlendirmeleri dikkate alınmaktadır (Anonim, 2010). Bir türün listedeki durumu yalnızca taksonomik adına göre değil; yaprak, kök, meyve, tohum veya çiçek gibi kullanılan kısmına ya da ekstre ve uçucu yağ gibi preparat biçimine göre de farklılık gösterebilmektedir. Bu yaklaşım, bitkisel kaynakların geleneksel kullanım bilgisini bilimsel güvenlilik kanıtlarıyla birlikte ele alması bakımından önemlidir.

Tarımsal ekosistemlerde yaygın bulunan bazı yabancı ot türlerinin aynı zamanda takviye edici gıdalarda kullanılabilecek bitkiler arasında yer alması, bu türlerin farklı disiplinlerin kesişiminde incelenmesini gerekli kılmaktadır. Yabancı ot bilimi çoğunlukla türlerin tarımsal zararlarına ve mücadele yöntemlerine odaklanırken, gıda ve farmakognozi alanları aynı türleri botanik özellikleri, kullanılan kısımları, biyoaktif bileşenleri ve güvenlilik koşulları bakımından değerlendirmektedir. Bu iki yaklaşımın birlikte ele alınması; yararlı kullanım potansiyelinin ortaya konulmasına, yanlış tür teşhisinden veya uygunsuz bitki kısmı kullanımından kaynaklanabilecek risklerin azaltılmasına ve biyolojik kaynakların sürdürülebilir biçimde değerlendirilmesine katkı sağlayabilir.

Bu derlemede, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğünün 2025 yılı Takviye Edici Gıdalar Güncel Bitki Listesi esas alınarak, tarımsal ekosistemlerde yayılış gösteren ve yabancı ot olarak değerlendirilen bitki türlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır (Anonim, 2026). Bu kapsamda türlerin bilimsel ve Türkçe adları, temel botanik özellikleri, takviye edici gıdalarda kullanılabilen kısımları, geleneksel ve güncel kullanım alanları ile kullanıma ilişkin kısıtlama ve uyarılar bir arada değerlendirilmiştir. Böylece yabancı otların yalnızca tarımsal üretimdeki olumsuz etkileriyle değil, uygun ve güvenli kullanım koşulları çerçevesinde taşıdıkları etnobotanik, besinsel ve ekonomik değerle de ele alınması hedeflenmiştir.

Materyal ve Metot

Araştırma materyalini, Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından yayımlanan 2025 yılı Takviye Edici Gıdalarda Kullanılabilecek Bitkiler Listesi'nde yer alan taksonlar oluşturmuştur. Liste, takviye edici gıda üretiminde kullanılabilecek bitkilerin bilimsel adları ile kullanılmasına izin verilen bitki kısımlarını içeren temel veri kaynağı olarak değerlendirilmiştir. Çalışmanın inceleme birimi, listede ayrı bir kayıt olarak verilen tür veya tür altı taksondur.

Verilerin Seçilmesi ve Sınıflandırılması

Öncelikle listedeki toplam 677 bitki kaydı taranmıştır. Listede negatif (–) statüde belirtilen ve takviye edici gıda üretiminde kullanımına izin verilmeyen bitkiler araştırma kapsamı dışında bırakılmıştır. Pozitif statüdeki kayıtlar arasından tarım alanlarında, tarım dışı alanlarda veya doğal ve yarı doğal habitatlarda yabancı ot niteliği gösterebilen taksonlar seçilmiştir. Bir taksonun yabancı ot olarak değerlendirilmesinde A Global Compendium of Weeds (Randall, 2017) esas alınmıştır. Aynı taksonun eş anlamlı adlarla birden fazla kez değerlendirilmesini önlemek amacıyla bilimsel adlar ve sinonimler karşılaştırılmış, yinelenen kayıtlar tek takson altında birleştirilmiştir.

Taksonomik Doğrulama

Belirlenen taksonların kabul edilen güncel bilimsel adları, yazar adları ve Türkçe adları Türkiye Bitkileri Listesi–Damarlı Bitkiler (Güner ve ark., 2012) temel alınarak kontrol edilmiştir. Bakanlık listesinde sinonimle verilen adlar, mümkün olduğunda kabul edilen adın yanında gösterilmiştir. Cins düzeyinde belirtilen kayıtlar (örneğin Astragalus sp. ve Urtica sp.) özgün listedeki taksonomik çözünürlük korunarak değerlendirilmiştir. Familya adları güncel sistematik kullanıma göre standartlaştırılmıştır.

Verilerin Değerlendirilmesi

Her kayıt için familya, bilimsel ad, Türkçe adı ve takviye edici gıdalarda kullanılmasına izin verilen bitki kısmı veri tablosuna aktarılmıştır. Kullanılan kısımlar; toprak üstü organ, yaprak, çiçek/çiçek durumu, meyve, tohum, kök, rizom, yumru, zamk ve yağ gibi kategoriler altında değerlendirilmiştir. Bir bitkide birden fazla kısmın kullanımına izin verildiğinde ilgili kayıt bütün kategorilerde dikkate alınmış; bu nedenle bitki kısmına ilişkin frekanslar birbirini dışlayan sınıflar olarak yorumlanmamıştır.

Veriler betimsel olarak analiz edilmiş; familya bazında takson sayıları ve toplam içindeki oranları hesaplanmıştır. Bulgular frekans ve yüzde değerleriyle özetlenmiş, türlerin botanik ve kullanım özellikleri literatür ışığında tartışılmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından yayımlanan 2025 yılı Takviye Edici Gıdalarda Kullanılabilecek Bitkiler Listesi'nde yer alan 677 bitki kaydının incelenmesi sonucunda, yabancı ot niteliği taşıyan 35 familyaya ait 116 tür veya tür altı takson belirlenmiştir (Tablo 1). Bu sonuç, takviye edici gıda hammaddesi olarak değerlendirilen bitkilerin önemli bir bölümünün yalnızca kültüre alınmış türlerden oluşmadığını; tarımsal ve doğal ekosistemlerde kendiliğinden gelişebilen çok sayıda taksonu da kapsadığını göstermektedir.

Familyalara göre dağılım

Takson sayısı bakımından Lamiaceae 20 takson (%17,2) ile ilk sırada yer almış, bunu Asteraceae 18 (%15,5), Fabaceae 10 (%8,6), Brassicaceae 7 (%6,0), Apiaceae 6 (%5,2) ve Plantaginaceae 6 takson (%5,2) izlemiştir. Bu altı familya birlikte değerlendirildiğinde toplam taksonların %57,8'ini oluşturmaktadır. Geriye kalan 49 takson ise 29 familyaya dağılmıştır. Lamiaceae ve Asteraceae'nin belirgin üstünlüğü, bu familyaların Türkiye florasında yüksek tür çeşitliliğine sahip olmaları ve çok sayıda aromatik, tıbbi ya da yenilebilir takson içermeleriyle ilişkilendirilebilir. Benzer biçimde, söz konusu familyaların dünya ve Türkiye florasının tür bakımından zengin grupları arasında yer aldığı bildirilmektedir (Uluğ ve ark., 1999; Özer ve ark., 2001; Cheek ve ark., 2020).

Lamiaceae üyelerinin büyük bölümünde yaprak ve toprak üstü aksamın, Asteraceae üyelerinde ise çiçek, toprak üstü aksam, kök veya tohumun öne çıktığı görülmüştür. Fabaceae ve Brassicaceae'de tohum kullanımının daha belirgin olması, bu familyalarda depo maddelerince zengin generatif organların gıda ve takviye amaçlı değerlendirilmesiyle uyumludur. Bununla birlikte, aynı familya içinde kullanılan organların değişebilmesi, izin verilen kısmın yalnızca familya düzeyindeki genellemelerle değil, tür bazında değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Kullanılan bitki kısımlarının dağılımı

Kayıtlar kullanılan bitki kısmı yönünden incelendiğinde en yaygın kategorinin toprak üstü aksam olduğu; bunu çiçek/çiçek durumu, tohum, kök ve yaprağın izlediği belirlenmiştir. Meyve, rizom, zamk, yağ ve yumru gibi kısımlar daha sınırlı sayıda taksonda yer almıştır. Birden fazla organı kullanılabilen türlerin bulunması, bu bitkilerin farklı biyoaktif bileşik grupları bakımından değerlendirilebildiğine işaret etmektedir. Örneğin *Urtica* sp., *Silybum marianum* ve *Fagopyrum esculentum* gibi taksonlarda birden fazla bitki kısmının listelenmesi, kullanım biçimlerinin türün biyolojik ve kimyasal özelliklerine göre çeşitlendiğini göstermektedir.

Yabancı ot niteliği ile kullanım potansiyelinin birlikte değerlendirilmesi

Yabancı ot olarak kabul edilen bir bitkinin takviye edici gıda hammaddesi niteliği taşıması ilk bakışta karşıt iki özellik gibi görünse de bu durum, türün bulunduğu yere ve kullanım amacına bağlıdır. Tarım alanında ürünle su, ışık, besin maddesi ve alan için rekabet eden bir tür ekonomik kayba neden olabilirken, aynı tür kontrollü biçimde toplanıp yetiştirildiğinde gıda, tıbbi bitki veya hammadde kaynağı olarak değer kazanabilir. Nitekim bu familyaların bazı üyelerinin dünyanın farklı bölgelerinde gıda, tıbbi bitki ve yem amacıyla kullanıldığı bildirilmektedir (Özer ve ark., 2004; Kaval ve ark., 2014; Kawarty, 2020; Behçet ve Yapar, 2021; Sırrı ve Sırrı, 2020; Sırrı ve ark., 2021).

Bu çift yönlü özellik, yabancı ot yönetimi açısından da önemlidir. Ekonomik kullanım potansiyeli bulunan yabancı otların uygun tür teşhisi, sürdürülebilir hasat ve kalite kontrol koşulları altında değerlendirilmesi; mücadele maliyetlerinin azaltılmasına ve yerel biyolojik kaynakların katma değerli ürünlere dönüştürülmesine katkı sağlayabilir. Ancak bir türün listede yer alması, bitkinin her kısmının veya her dozunun güvenli olduğu anlamına gelmemektedir. Hammadde temininde izin verilen bitki kısmı, hasat dönemi, yetişme ortamı, olası kirleticiler, etkin bileşen düzeyi ve mevzuatta belirtilen kısıtlamalar ayrı ayrı dikkate alınmalıdır.

Taksonomik ve mevzuata ilişkin değerlendirme

Listede bazı kayıtların cins düzeyinde, bazılarının ise sinonimleriyle birlikte verilmiş olması uygulamada doğru teşhisin önemini artırmaktadır.

Aynı Türkçe adın birden fazla türe karşılık gelebilmesi veya farklı türlerin benzer ticari adlarla sunulması, hammadde standardizasyonunda karışıklığa yol açabilir. Bu nedenle bilimsel ad, yazar adı, kullanılan organ ve mümkünse drog tanımının birlikte verilmesi izlenebilirlik açısından gereklidir. Ayrıca yabancı ot listeleri ile takviye edici gıda mevzuatı zaman içinde güncellenebileceğinden, sonuçlar çalışmada esas alınan 2025 tarihli liste kapsamında değerlendirilmelidir.

Genel olarak bulgular, takviye edici gıda mevzuatında yer alan yabancı otların yüksek bir taksonomik ve kullanım çeşitliliğine sahip olduğunu göstermiştir. Özellikle Lamiaceae ve Asteraceae'nin baskınlığı ile toprak üstü aksam, çiçek, tohum, kök ve yaprak kullanımının öne çıkması, bu grubun botanik özellikleri ile kullanım alanları arasındaki güçlü ilişkiyi ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, potansiyel ekonomik değerin güvenli ve sürdürülebilir kullanıma dönüşebilmesi için tür düzeyinde doğru teşhis, izin verilen organın kullanılması ve güncel mevzuata uygunluk temel koşullardır.

Tablo 1. Takviye Edici Gıdalarda Kullanılabilecek Bitkiler Listesi yer alan yabancı otlar, bilimsel ismi, Tükçe ismi ve kullanılan kısmınlar

Familya	**Latince ismi**	**Türkçe ismi**	**Kullanılan kısım**
Adoxaceae	*Sambucus ebulus* L.	Cüce mürver	Çiçek, meyve
	Sambucus nigra L.	Kara Mürver	Çiçek, meyve
Amaranthaceae	*Amaranthus caudatus* L.	Uzunibik	Tohum (çekirdek), tohum yağı
Apiaceae	*Ferula elaeochytris* Korovin (Sin.: *Dorema meifolium* Fenzl, *Ferula amani* Zohary & P.H.Davis, *Ferula cassii* Zohary & P.H.Davis, *Ferula meifolia* (Fenzl) Boiss.)	Çakşır otu	Kök
	Anthriscus cerefolium (L.) Hoffm.	Mendik	Toprak üstü
	Daucus carota L.	Yabani havuç	Tohum, kök
	Eryngium campestre L.		
	Eryngium maritimum L.	Boğadikeni	Toprak üstü, kök
	Pimpinella major var. Rosea Lindeman	Taş anasonu	Kök
Asparagaceae	*Polygonatum glaberrimum* K.Koch	Köse boğumluca	Rizom
Aspleniaceae	*Ceterach officinarum* (Syn.: *Asplenium ceterach*)	Altınotu	Yaprak
Asteraceae	*Achillea millefolium* L.	Cıvanperçemi	Topraküst kısmı, çiçek
	Arctium minus (Hill) Bernh.	Dulavrakot	Toprak üstü
	Arctium tomentosum Mill.	Dulavrakot	Toprak üstü
	Artemisia absinthium L.	Acı pelinotu	Toprak üstü
	Artemisia vulgaris L.	Kaba yavşan	Toprak üstü
	Calendula officinalis L.	Ayısefa	Çiçek
	Centaurea benedicta (L.) L.	Topdiken	Toprak üstü
	Cichorium intybus L.	Hindiba	Kök ve toprak üstü
	Cyanus segetum Hill (Sin: *Centaurea cyanus*)	Peygamber Çiçeği	Çiçek

Familya	Latince ismi	Türkçe ismi	Kullanılan kısım
	Echinacea purpurea (L.) Moench (Sin.: *Brauneria purpurea* (L.) Britton, *Echinacea intermedia* Lindl. ex Paxton, *Echinacea serotina* (Sweet) D. Don ex G. Don f., *Echinacea speciosa* (Wender.) Paxton, H*elichroa purpurea* (L.) Raf.. *Rudbeckia purpurea* L.)	Ekinezya	Toprak üstü, rizom, kök
	Gundelia tournefortii L.	Kenger	Zamkı
	Helichrysum sp.	Altınotu, Ölmez Çiçek	Çiçek
	Inula helenium L.	Andız otu	Rizom
	Matricaria chamomilla L. (Sin: *Matricaria recutita*)	almanpapatyası	Çiçek, toprak üstü
	Scolymus hispanicus L.	Şevketibostan	Toprak üstü
	Silybum marianum (L.) Gaertn.	Meryem Ana Devedikeni	Meyve, tohum, yaprak, toprak üstü
	Tanacetum parthenium (L.) Sch. Bip.	Beyaz papatya	Toprak üstü
	Taraxacum officinale F.H.Wigg	Karahindiba	Toprak üstü, kök
Berberidaceae	*Berberis vulgaris* L.	Kızıl karamuk	Meyve, kök, kök kabuğu
Boraginaceae	*Buglossoides arvensis* (L.) I.M.Johnst	Tarlataşkesenotu	Tohum yağı
	Pulmonaria officinalis L.	Çiğer otu	Toprak Üstü, Yaprak
	Borago officinalis L.	Hodan	Tohumlarından elde edilen Borage oil
Brassicaceae	*Nasturtium officinale* R.Br.	Su teresi	Toprak üstü
	Sisymbrium officinale (L.) Scop. (Sin.: *Erysimum officinale* L.)	Bülbül otu	Toprak üstü
	Brassica nigra (L.) W.D.J.Koch	karahardal	Tohum
	Brassica juncea (L.) Czern.	hinthardalı	Tohum
	Sinapis alba L.	mamanık	Tohum
	Camelina sativa (L.) Crantz	Ketencik	Tohum yağı
	Capsella bursa-pastoris Medik.	Çobançantası	Toprak üstü
Cannabaceae	*Cannabis sativa* L.	Kenevir	Tohum
	Humulus lupulus L.	Şerbetçiotu	Çiçek durumu (strobil), salgı tüyü
Capparaceae	*Capparis* sp.	Kapari	Çiçek tomurcuğu ve meyveleri
Caprifoliaceae	Cephalaria syriaca (L.) Schrad. (Sin.: Asterocephalus dichotomus Lag.)	Pelemir	Tohum
	Valeriana officinalis L.	Kedi otu	Kök
Caryophyllaceae	*Herniaria glabra* L.	Atyaran	Toprak üstü
	Herniaria hirsuta L.	Herniaria hirsuta L.	Toprak üstü
	Spergularia rubra (L.) J.Presl & C.Presl (Sin.: *Alsine alpina* Willk.)	Remilotu	Bütün bitki

Familya	Latince ismi	Türkçe ismi	Kullanılan kısım
Equisetaceae	*Equisetum arvense* L.	Atkuyruğu otu	Toprak üstü
Ericaceae	*Calluna vulgaris* (L.) Hull	Süpürge çalısı	Çiçek, toprak üstü, yaprak
Fabaceae	*Astragalus* sp.	Geven	Zamkı
	Galega officinalis L.	Keçisedefi	Tüm kısımları
	Glycyrrhiza glabra L.	Meyan otu	Kök
	Glycyrrhiza uralensis Fisch. ex DC.	Meyan otu	Kök
	Melilotus officinalis L.	Kokulu Yonca	Toprak üstü
	Medicago sativa L.	Yonca	Toprak üstü
	Ononis spinosa L.	Kayışkıran	Kök, toprak üstü
	Pisum sativum L.	Bezelye	Bezelye filizi
	Trifolium pratense L.	Çayır üçgülü	Çiçek durumu
	Trigonella foenum-graecum L.	Çemenotu	Tohum
Gentianaceae	*Centaurium erythraea* Rafn. (Sin.: *Centaurium minus* Moench)	Kırmızıkantaron	Toprak üstü
	Gentiana lutea L.	Sarıafat	Kök
Hypericaceae	*Hypericum perforatum* L.	Sarı kantaron	Toprak üstü
Lamiaceae	*Ajuga chamaepitys* (L.) Schreb.	Acıgıcı	Toprak üstü
	Ballota nigra L.	Yalancıısırgan	Toprak üstü
	Hyssopus officinalis L.	Zufaotu	Toprak üstü
	Lamium album L.	Ballıbaba	Çiçek, toprak üstü
	Leonurus cardiaca L.	Aslankuyruğu	Toprak üstü
	Marrubium vulgare L.	Karaderme	Toprak üstü
	Mentha aquatica L.	Su Nanesi	Toprak üstü
	Mentha arvensis L.	Yabani nane	Yaprak
	Mentha longifolia L.	Tüylü nane	Yaprak
	Mentha piperita L.	Yarpuz,	Toprak üstü
	Mentha spicata var. *crispata* L.	Kıvırcık nane	Yaprak
	Salvia officinalis L.	Adaçayı	Yaprak ekstresi
	Salvia sclarea L.	Misk Adaçayı	Çiçek, yaprak
	Salvia fruticosa Mill.	Adaçayı	Yaprak
	Satureja cuneifolia Ten.	Dağ kekiği	Toprak üstü
	Satureja hortensis L.	Baklakekik	Toprak üstü
	Satureja macrantha C.A.Mey.	Sülünkekiği	Toprak üstü
	Sideritis sp.	Dağ Çayı	Çiçek
	Teucrium polium L.	Acı yavşan otu	Toprak üstü
	Thymus serpyllum L.	Yabani kekik	Toprak üstü
Malvaceae	*Malva* sp.	Ebegümeci	Yaprak, çiçek
Oleaceae	*Jasminum officinale* L.	Yasemin	Çiçek
Onagraceae	*Epilobium* sp.	Yakıotu	Toprak üstü, kök
Orobanchaceae	*Euphrasia officinalis* L., nom. ambig.	Gözotu	Toprak üstü
Papaveraceae	*Fumaria officinalis* L.	Şahtere	Toprak üstü
	Papaver rhoeas L.	Gelincik	Çiçek

Familya	Latince ismi	Türkçe ismi	Kullanılan kısım
	Papaver somniferum L.	Haşhaş	Tohum kısımlar
Plantaginaceae	*Plantago lanceolata* L.	Dar yapraklı sinir otu	Yaprak, toprak üstü
	Plantago major L.	Geni yapraklı sinir otu	Toprak üstü
	Plantago media L.	Şimşekyaprağı	Toprak üstü
	Linaria vulgaris Mill.	Nevruzotu	Toprak üstü
	Veronica beccabunga L.	Yavşan otu	Toprak üstü
	Veronica officinalis L.	Yavşan otu	Toprak üstü
Poaceae	*Cyperus esculentus* L. (Sin: *Chlorocyperus aureus* (K.Richt.) Palla ex Kneuck., *Pterocyperus esculentus* (L.) Opiz)	Abdülaziz	Yumru
	Eragrostis pilosa (L.) P. Beauv. (Sin: *Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter; E. abyssinica (Jacq.) Link)	Kıllıyulaf	Tohum, tohum unu
	Panicum miliaceum L.	Darı	Tohum
	Sorghum bicolor (L.) Moench (Sin: *Sorghum vulgare* Pers., *Holcus bicolor* L.)	Koca darı	Tohum
Polygonaceae	*Fagopyrum esculentum* Moench(Sin: *Fagopyrum fagopyrum* H.Karst.)	Karabuğday	Toprak üstü, tohum, Filizlendirilmiş karabuğday bitkisi
	Polygonum aviculare L.	Yabani madımak	Toprak üstü
Portulacaceae	*Portulaca oleracea* L.	Semizotu	Toprak üstü, Yaprak
Primulaceae	*Primula elatior* (L.) L.. *P. veris* L.	Çuhaçiçeği	Çiçek, kök
Rosaceae	*Agrimonia eupatoria L.*	Koyunotu, Fıtıkotu	Toprak üstü
	Filipendula ulmaria (L.) Maxim	Çayırkraliçesi	Çiçek, toprak üstü
	Geum urbanum L.	Meryemotu	Toprak üstü, kök
	Potentilla erecta (L.) Räusch (Sin: *P. tormentilla*)	Beşparmakotu	Rizom
Rubiaceae	*Galium aparine* L.	Yapışkan ot	Toprak üstü
	Galium verum L.	Yapışkan ot	Toprak üstü
Urticaceae	*Urtica* sp.	Isırgan	Toprak üstü, yaprak, tohum, kök
Verbenaceae	*Verbascum* sp.	Sığırkuyruğu	Çiçek, yaprak
	Verbena officinalis L.	Mine çiçeği	Toprak üstü
Violaceae	*Viola odorata* L.	Menekşe	Çiçek
	Viola tricolor L.	Hercai menekşe	Toprak üstü
Zygophyllaceae	*Tribulus terrestris* L.	Demir dikeni	Meyve

Sonuç

Bu çalışma sonucunda, Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından yayımlanan 2025 yılı Takviye Edici Gıdalarda Kullanılabilecek Bitkiler Listesi'nde yer alan ve yabancı ot niteliği taşıyan 35 familyaya ait 116 takson belirlenmiştir. Söz konusu bitkiler; doğal ve yarı doğal habitatlarda, boş ve nadas alanlarında,

yol kenarlarında ve tarım alanlarında kendiliğinden yetişebilmekte ve çoğunlukla yabancı ot olarak değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, bu türlerin önemli bir bölümü gıda, geleneksel kullanım ve takviye edici gıda hammaddesi bakımından ekonomik potansiyele sahiptir.

Sonuç olarak, tarımsal alanlarda mücadele edilmesi gereken yabancı otlar olarak görülen bu bitkiler, doğru tür teşhisi ve uygun değerlendirme yöntemleriyle katma değerli birer biyolojik kaynağa dönüştürülebilir. Bununla birlikte, takviye edici gıda üretiminde yalnızca mevzuatta kullanımına izin verilen bitki kısımlarının kullanılması; hammaddelerin etkin bileşen içeriği, güvenilirliği, toksikolojik özellikleri ve kalite ölçütlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Gelecekte yapılacak çalışmaların, bu türlerin fitokimyasal bileşimlerinin, biyolojik aktivitelerinin, güvenli kullanım dozlarının ve kültüre alınma olanaklarının araştırılmasına odaklanması önerilmektedir.

Kaynaklar

Anonim (2010). Geleneksel Bitkisel Tıbbi Ürünler Yönetmeliği. T.C. Sağlık Bakalnlığı. 6 Ekim 2010. Sayı: 27721. Ankara

Anonim (2013). Türk Gıda Kodeksi Takviye Edici Gıdalar Tebliği (2013/49). T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. 16 Ağustos 2013. Sayı: 28737. Ankara.

Anonim (2015). Türk Gıda Kodeksi Takviye Edici Gıdalar Tebliği (Tebliğ No: 2013/49)'nde Değişik Yapılmasına Dair Tebliğ (2015/44). T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. 21 Kasım 2015. Sayı: 29539. Ankara.

Anonim (2023). Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu Geleneksel Bitkisel Tıbbi Ürünler Ruhsatlandırma Yönetmeliği. T.C. Sağlık Bakanlığı. 3 Şubat 2023. Sayı: 32093. Ankara

Anonim (2026). Bitki Listesi T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Risk Değerlendirme Hizmetleri https://www.tarimorman.gov.tr/konu/957/bitki-listesi

Arslan, D., Aydın, M., & Türker, S. (2021). Extraction methods of medicinal and aromatic plants, its use in foods and evaluation in food supplement field. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology, 9(5), 926-936.

Behçet, L., & Yapar, Y. (2021). Asteraceae, Fabaceae ve Lamiaceae Familyalarına ait B8 karesi için yeni floristik kayıtlar. Journal of the Institute of Science and Technology, 11(3), 1792-1802.

Cheek, M., Lughadha, E.N., Kirk, P., Lindon, H., Carretero, J., Looney, B., Douglas, B., Haelewaters, D., Gaya, E., Llewellyn, T., Ainsworth, A.M., Gafforov, Y., Hyde, K., Crous, P., Hughes, M., Walker, B.E., Campostrini, R., Khoon, F., Wong, M., & Niskanen, T. (2020). New scientific discoveries: Plants and fungi. Plants, People, Planet, 2 (5): 371–388.

Diker, O., Türker, N., & Kaya, F.B. (2017). Eskişehir'in Etnobotanik Çeşitliliğinin Eko-Gastronomi Faaliyetleri Çerçevesinde İncelenmesi, Karabük Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Özel Sayı 3: 51-58.

Ersöz T. (2012). Bitkisel ilaçlar ve gıda takviyeleri ile ilgili genel yaklaşım ve sorunlar. MİSED; 27-28: 9-19.

Irchhaiya R, Kumar A, Yadav A, Gupta N, Kumar S, Gupta N, Kumar S, Yadav V, Prakash A, Gurjar H. (2015). Metabolites in plants and its classification. World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences (WJPPS), 4(1): 287-305.

Kaval, I., Behçet, L., & Çakılcıoğlu, U. (2014). Ethnobotanical study on medicinal plants in Geçitli and its surrounding (Hakkari Turkey). Journal of Ethnopharmacology, 155: 171-184.

Kawarty, A., Behçet, L., Çakılcıoğlu, U (2020). An ethnobotanical survey of medicinal plants in Ballakayati Erbil, North Iraq. Turkish Journal of Botany, 44 (3): 345-357.

Koçyiğit, M. (2005). Yalova İlinde Etnobotanik Bir Araştırma. (İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Farmasötik Botanik Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi).

Mamedov, N.A., & Craker, L.E. (2012). Man and medicinal plants: A short review. Acta Horticulturae, 964: 181–190. doi:10.17660/ActaHortic.2012.964.22

Maroyi, A. (2013). Use of weeds as traditional vegetables in Shurugwi District, Zimbabwe. Journal of ethnobiology and ethnomedicine, 9(1), 60.

Mohammed, F.S, Akgul, H., Sevindik, M., & Khaled, B.M.T. (2018). Phenolic content and biological activities of Rhus coriaria var. zebaria. Fresenius Environmental Bulletin, 27(8): 5694-5702.

Okcu, Z., & Kaplan, B. (2018). Using of Weeds as Food in Eastern Anatolia Region. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology, 6(3): 260-265. 61.

Ötnü, H., & Akan, H. (2020). Şanlıurfa'daki Eczanelerde ve Aktarlarda Fitoterapi Amaçlı Satılan Bitkiler. KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi 23 (4): 947-965. DOI: 10.18016/ksutarimdoga.vi.688167.

Özer, Z., Elibüyük, E.A., Önen, H., & Tekelioğlu, O. (2004). Otların Beslenmede ve Sağlıktaki Rolü. Türk Mutfak Kültürü Üzerine Araştırmalar, Dosya: Ot Kültürü ve Yemekleri, Cilt: 11 (Ed. Toygar, K.). Türk Halk Kültürünü Araştırma ve Tanıtma Vakfı Yayınları, Yayın No:33, Ankara, Türkiye, 9-66.

Özer, Z., Kadıoğlu, İ., Önen, H., & Tursun, N. (2001). Herboloji (Yabancı Ot Bilimi) Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:20 Kitap Serisi No:10, 3. Baskı, Tokat, Türkiye, 403 s.

Özer, Z., Önen, H., Tursun, N., Uygur, F.N. (1999). Türkiye'nin Bazı Önemli Yabancı Otları. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları, No:38 Kitap seri No:16, Tokat, Türkiye, 434 s.

Özer, Z., Tursun, N., & Önen, H. (2002). Yabancı Otlarla Sağlıklı Yaşam, 4 Renk Yayın Tanıtım Matbaacılık Ltd. Şti. No: 85/7, Ankara, Türkiye, 293 s.

Pehlivan, M., Mohammed, F.S., Sevindik, M., Akgul, H. (2018). Antioxidant and oxidant potential of *Rosa canina*. Eurasian Journal of Forest Science, 6(4): 22-25.

Sırrı, M., & Sırrı, G. (2020). Hakkâri İlinde Gıda Olarak Tüketilen Yabani Bitki ve Yabancı Ot Türlerinin Güncel Durumu. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (19): 393-409.

Sırrı, M., Özaslan, C., & Fidan, M. (2021). Eruh (Siirt) İlçesinde Gıda ve Halk Tababetinde Kullanılan Bazı Doğal ve Yabancı Otlar. MAS Journal of Applied Sciences, 6(Özel Sayı), 1118-1129.

Tümen, İ. (2024). Bitkisel Doğal Ürünlerin Gida Takviyesi Olarak Kullanimi. Sağlik & Bilim 2024: Beslenme-IV, 161.

Türkoğlu, İ., Civelek, S., & Kürşat, M. (2006). Gözeli ve Kavak Ovalarında (Elazığ) Etnobotanik Bir Araştırma. Fırat University Journal of Science and Engineering, 18, 7-19.

Uce, İ., & Tunçtürk, M. (2014). Hakkâri' de Doğal Olarak Yetişen ve Yaygın Olarak Kullanılan Bazı Yabani Bitkiler, Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi, 7(2): 21-25. ISSN: 1308-3961, E-ISSN: 1308-02.

Uluğ, E., Kadıoğlu, İ., & Üremiş, İ. (1993). Türkiye'nin yabancı otları ve bazı özellikleri. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Zirai Mücadele Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Adana Yayın No: 78, 513 s.

Yang, L., Wen, K.S., Ruan, X., Zhao, Y.X., Wei, F., Wang, Q. (2018). Response of plant secondary metabolites to environmental factors. Molecules, 23(4): 762. doi: 10.3390/molecules 23040762.

ÇAY ÇELİKLERİNDE KÖKLENME VE KÖK GELİŞİM PERFORMANSININ GENOTİPE BAĞLI

GENOTYPE-DEPENDENT VARIATION IN ROOTING AND ROOT DEVELOPMENT PERFORMANCE OF TEA CUTTINGS

Res. Asst. Gizem ÖZTÜRK
Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Recep Tayyip Erdoğan University, Rize, Türkiye.
ORCID ID: 0009-0006-4095-015X

Prof. Dr. Keziban YAZICI
Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Recep Tayyip Erdoğan University, Rize, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-5957-053X

Özet
Çelikle çoğaltım, seçilmiş genotiplerin özelliklerinin korunarak klonal olarak çoğaltılmasına olanak sağlayan önemli bir vejetatif çoğaltma yöntemidir. Ancak çeliklerin köklenme ve fidan oluşturma başarısı genotipe bağlı olarak önemli farklılıklar gösterebilmekte ve bu durum klonal fidan üretiminin etkinliğini sınırlandırabilmektedir. Bu çalışmada, farklı çay genotiplerinin aynı köklendirme koşulları altındaki çoğaltma başarısı ve kök gelişim performanslarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Çalışmada CIN-1, SEAKARI, TUGLALI, 53 ME 265, 28 TI 09, 53 CE 279, 53 AD 83 ve 53GU 40 olmak üzere sekiz çay genotipi/çeşidi kullanılmıştır. Her genotipten 48 adet tek boğumlu yaprak-göz çeliği hazırlanmış; çeliklerin bazal kısımlarına hızlı daldırma yöntemiyle 4000 mg L^{-1} IBA uygulanarak torf:vermikülit (3:1, v/v) ortamında kontrollü sera koşullarında köklendirilmiştir. Genotiplerin performansları çoğaltma başarısı (%), kök gelişim düzeyi (1–5), kök uzunluğu (cm) ve kök ağırlığı (g) esas alınarak değerlendirilmiştir. Kök gelişim düzeyinin belirlenmesinde kök sisteminin genel gelişim durumunu esas alan beş seviyeli bir skorlama sistemi kullanılmıştır. Çelikle çoğaltma başarısının genotiplere göre belirgin şekilde değiştiği; 53 ME 265 ve 53 GU 40 genotiplerinin yüksek çoğaltma başarısıyla öne çıktığı, CIN-1'in ise daha düşük başarı gösterdiği belirlenmiştir. Kök gelişim düzeyi bakımından genotip etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p = 0.008$). Buna karşılık kök uzunluğu bakımından genotipler arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık belirlenmemiştir. Bu sonuçlar, aynı köklendirme ortamı ve IBA uygulaması altında yetiştirilen çay çeliklerinin köklenme ve kök gelişim performanslarının genotipe bağlı olarak değişebildiğini göstermektedir. Sonuç olarak, çayda klonal fidan üretiminde genotiplerin köklenme kapasitesinin dikkate alınması gerektiği ve yüksek çoğaltma başarısı ile güçlü kök gelişimi gösteren genotiplerin belirlenmesinin etkin fidan üretimi açısından önemli olduğu ortaya konulmuştur. Elde edilen sonuçların, çayda genotipe özgü çoğaltma protokollerinin geliştirilmesine ve klonal fidan üretiminin yaygınlaştırılmasına katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.
Anahtar Kelimeler: *Camellia sinensis,* çelikle çoğaltma, kök gelişimi, genotip, klonal fidan üretimi

Abstract
Propagation by cuttings is an important vegetative propagation method that enables selected genotypes to be clonally multiplied while preserving their desirable characteristics. However, rooting ability and subsequent seedling establishment may vary considerably among genotypes, which can limit the efficiency of clonal plant production. This study aimed to compare the propagation success and root development performance of different tea genotypes under the same rooting conditions. Eight tea genotypes/cultivars, namely CIN-1, SEAKARI, TUGLALI, 53 ME 265, 28 TI 09, 53 CE 279, 53 AD 83, and 53 GU 40, were used in the experiment. For each genotype, 48 single-node leaf-bud cuttings were prepared. The basal ends of the cuttings were treated with 4000 mg L^{-1} IBA using the quick-dip method and rooted in a peat (3:1, v/v) substrate under controlled greenhouse conditions. Genotypic performance was evaluated based on propagation success (%), root development score (1–5), root length (cm), and root weight (g). Root development was assessed using a five-point scoring scale based on the overall development of the root system. Propagation success differed noticeably among genotypes. The genotypes 53 ME 265 and 53 GU 40 showed relatively high propagation success, whereas CIN-1 exhibited a lower success rate.

The effect of genotype on root development score was statistically significant (p = 0.008). In contrast, no statistically significant differences among genotypes were observed for root length. These findings indicate that the rooting and root development performance of tea cuttings may vary according to genotype even when they are grown under the same rooting medium and IBA treatment. In conclusion, the rooting capacity of individual genotypes should be considered in clonal tea plant production. Identifying genotypes with high propagation success and well-developed root systems may contribute to more efficient nursery production. The results may also provide a basis for developing genotype-specific propagation protocols and for promoting the wider use of clonal propagation in tea.
Keywords: *Camellia sinensis*, propagation by cuttings, root development, genotype, clonal plant production

YAŞLI ÇAY PLANTASYONLARININ YENİLENMESİ: ÖNEMLİ ÜRETİCİ ÜLKELERİN DENEYİMLERİ VE TÜRKİYE İÇİN STRATEJİK YAKLAŞIMLAR

RENEWAL OF AGING TEA PLANTATIONS: EXPERIENCES OF MAJOR PRODUCER COUNTRIES AND STRATEGIC APPROACHES FOR TÜRKIYE

Res. Asst. Gizem ÖZTÜRK
Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Recep Tayyip Erdoğan University, Rize, Türkiye.
ORCID ID: 0009-0006-4095-015X

Prof. Dr. Keziban YAZICI
Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Recep Tayyip Erdoğan University, Rize, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-5957-053X

Özet

Çay (*Camellia sinensis*), dünya genelinde hem kültürel miras hem de ekonomik kalkınma açısından önemli bir tarım ürünüdür. Ancak iklim değişikliği, hastalık ve zararlılar, toprak özelliklerinin zaman içerisinde bozulması ve yaşlanan çay plantasyonları gibi faktörler, çay üretiminde verim ve kalite kayıplarına yol açmaktadır. Özellikle ekonomik ömrünü tamamlamış olan yaşlı çay bahçelerinde, üretim maliyetlerinin artması ve kalite düşüşü gibi sorunlar sürdürülebilir üretimi tehdit etmektedir. Bu bağlamda çay bahçelerinin gençleştirilmesi veya yeniden tesisi gerekliliği ön plana çıkmıştır. Yaşlı çay plantasyonlarının yenilenmesine yönelik uygulamalar; mevcut bitkilerin gençleştirilmesinin yanı sıra, ekonomik ömrünü tamamlamış plantasyonların genetik olarak üstün çeşit veya klonlarla yeniden tesis edilmesi, vejetatif çoğaltılmış fidanların kullanılması, dikim sistemlerinin mekanizasyona uygun şekilde düzenlenmesi ve modern budama, hasat, besleme ve toprak yönetimi uygulamalarının benimsenmesini kapsamaktadır. Çin, Hindistan, Sri Lanka ve Kenya gibi başlıca üretici ülkeler, plantasyonların yaşlanmasına bağlı sorunların azaltılmasına yönelik farklı yenileme ve yeniden tesis stratejileri uygulamaktadır. Türkiye'de ise çay bahçelerinin büyük bir kısmı tohumla tesis edilmiş olup, bu durum bahçelerde genetik heterojenliğe ve verim, kalite ve yetiştiricilik özellikleri bakımından önemli farklılıklara yol açmaktadır. Ayrıca mevcut bahçe yapısı, dikim düzeni ve bitki sıklığı modern yetiştirme tekniklerinin ve mekanizasyonun etkin kullanımını güçleştirebilmektedir. Bu nedenle, Türkiye'de çay bahçelerinin yenilenmesi; bölge koşullarına uyumlu, yüksek verim ve kalite özelliklerine sahip seçilmiş genotip ve klonların kullanımı, uygun dikim sistemlerinin geliştirilmesi, mekanizasyon ve modern yetiştiricilik tekniklerinin yaygınlaştırılmasıyla bütüncül olarak ele alınmalıdır. Bu çalışmada, Çin, Hindistan, Sri Lanka ve Kenya başta olmak üzere dünya genelindeki önemli çay üreticisi ülkelerin yaşlı çay plantasyonlarını yenileme ve yeniden tesis yaklaşımları karşılaştırmalı olarak incelenmekte ve bu yaklaşımların Türkiye çay tarımına uygulanabilirliği değerlendirilmektedir. Bu karşılaştırmalı değerlendirme ile Türkiye'de yaşlanan çay plantasyonlarının dönüşümüne yönelik genetik materyal seçimi, fidan üretimi, bahçe tesisi, mekanizasyon ve modern yetiştiricilik uygulamalarını kapsayan uzun vadeli ve bütüncül bir stratejik çerçevenin ortaya konulması amaçlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Camellia sinensis*, çay tarımı, yenilenme, klonal üretim, sürdürülebilirlik, tarım politikası

Abstract

Tea (Camellia sinensis) is an important agricultural crop worldwide in terms of both cultural heritage and economic development. However, factors such as climate change, diseases and pests, deterioration of soil properties over time, and ageing tea plantations cause losses in yield and quality in tea production. Especially in old tea gardens that have completed their economic lifespan, problems such as increasing production costs and decreasing quality threaten the sustainability of production. In this respect, the need for rejuvenation or re-establishment of tea plantations has become increasingly important. Practices for the renewal of old tea plantations include not only the rejuvenation of existing plants, but also the re-establishment of plantations that have completed their economic life with genetically superior cultivars or clones, the use of vegetatively propagated seedlings, the arrangement of planting systems in accordance with mechanization, and the adoption of modern practices related to pruning, harvesting, fertilization, and soil management.

Major tea-producing countries such as China, India, Sri Lanka, and Kenya apply different renewal and re-establishment strategies to reduce the problems caused by ageing plantations. In Türkiye, a large proportion of tea gardens were established from seed, and this has resulted in genetic heterogeneity and considerable differences in yield, quality, and cultivation characteristics within the plantations. In addition, the existing structure of tea gardens, planting patterns, and plant density may make it difficult to effectively use modern cultivation techniques and mechanization. Therefore, the renewal of tea plantations in Türkiye should be considered in an integrated manner, including the use of selected genotypes and clones that are adapted to regional conditions and have high yield and quality characteristics, the development of suitable planting systems, and the wider use of mechanization and modern cultivation techniques. In this study, the approaches used for the renewal and re-establishment of old tea plantations in major tea-producing countries, particularly China, India, Sri Lanka, and Kenya, are comparatively examined, and the applicability of these approaches to tea cultivation in Türkiye is evaluated. With this comparative assessment, it is aimed to present a long-term and integrated strategic framework for the transformation of ageing tea plantations in Türkiye, covering genetic material selection, seedling production, plantation establishment, mechanization, and modern cultivation practices.

Keywords: *Camellia sinensis*, tea cultivation, renovation, clonal propagation, sustainability, agricultural policy

HUMIC ACID DOSE RESPONSES IN SALICYLIC ACID-TREATED WHEAT UNDER SALINE SOIL CONDITIONS

Dr. Mehmet Sait KİREMİT
Department of Agricultural Structures and Irrigation, Faculty of Agriculture, Ondokuz Mayıs University, Samsun, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-7394-303X

Prof. Dr. Hakan ARSLAN
Department of Agricultural Structures and Irrigation, Faculty of Agriculture, Ondokuz Mayıs University, Samsun, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-9677-6035

Özet
Tuzluluk, buğdayın büyümesini ve verimliliğini sınırlayan önemli çevresel stres faktörlerinden biridir. Bu çalışmada, hümik asit (HA) ve salisilik asidin (SA) birlikte uygulanmasının ekmeklik buğdayda (Triticum aestivum L. cv. Karakılçık) tuzluluğun olumsuz etkilerini hafifletme potansiyeli araştırılmıştır. Saksı denemesi, Aralık 2025 ile Şubat 2026 tarihleri arasında; tuzluluk içermeyen kontrol (EC = 0.63 dS m^{-1}), tuzluluk stresi (EC = 11.62 dS m^{-1}), toprak tuzluluğu koşullarında yapraktan SA (1.0 mM) uygulaması ve tuzluluk koşullarında SA ile birlikte topraktan 2, 4, 6 veya 10 mL L^{-1} dozlarında HA uygulaması olmak üzere yedi farklı uygulama ve üç tekerrürlü, tam tesadüf desenine göre yürütülmüştür. Tuz stresi, kontrole kıyasla sürgün yaş ve kuru biyokütlesini, bitki boyunu ve SPAD değerini sırasıyla %32.7, %22.9, %22.5 ve %22.0 azaltmıştır. Bununla birlikte, yapraktan SA uygulaması bu azalmaları kısmen hafifletirken, SA'nın HA ile birlikte uygulanması özellikle 4 ve 6 mL L^{-1} HA dozlarında daha fazla iyileşme sağlamıştır. En yüksek yaş (17.88 g saksı$^{-1}$) ve kuru biyokütle (2.254 g saksı$^{-1}$) SA + 4 mL L^{-1} HA uygulamasında elde edilirken, en yüksek bitki boyu (30.06 cm) ve SPAD değeri (30.14) SA + 6 mL L^{-1} HA uygulamasında belirlenmiştir. HA dozunun 10 mL L^{-1}'ye yükseltilmesi büyüme ve SPAD değerlerinde azalmaya neden olmuştur. Ayrıca, SA + 4 mL L^{-1} HA kombinasyonu, yalnızca tuzluluk stresi uygulamasına kıyasla buğday fidelerinin tuza tolerans indeksini artırmıştır. Genel olarak bulgular, SA'nın 4–6 mL L^{-1} HA ile birlikte uygulanmasının, tuzlu koşullarda buğdayın büyümesini ve tuza toleransını artırmaya yönelik umut verici bir biyostimülant stratejisi olabileceğini göstermektedir.
Anahtar Kelimeler: Ekmeklik buğday, humik asit, salisilik asit, toprak tuzluluğu, sürdürülebilir tarım

Abstract
Salinity is a major environmental constraint limiting wheat growth and productivity. This study investigated whether the combined application of humic acid (HA) and salicylic acid (SA) could alleviate the adverse effects of salinity on bread wheat (Triticum aestivum L. cv. Karakılçık). The pot study was carried out in a completely randomized design with three replicates and seven treatments: a non-saline control (EC = 0.63 dS m^{-1}), salinity stress (EC = 11.62 dS m^{-1}), foliar SA (1.0 mM) under soil salinity, and SA combined with soil-applied HA at 2, 4, 6, or 10 mL L^{-1} under salinity between December 2025 and February 2026. Soil salinity decreased shoot fresh and dry biomass, plant height, and SPAD by 32.7, 22.9, 22.5, and 22.0%, respectively, compared with the non-saline control. However, foliar SA partially mitigated these reductions, while its combination with HA provided greater improvement, particularly at 4 and 6 mL L^{-1} HA. The highest fresh (17.88 g pot^{-1}) and dry biomass (2.254 g pot^{-1}) were obtained with SA + 4 mL L^{-1} HA, while SA + 6 mL L^{-1} HA produced the greatest plant height (30.06 cm) and SPAD value (30.14). Increasing HA to 10 mL L^{-1} resulted in lower growth and SPAD values. Moreover, the salt tolerance index of wheat seedlings was improved by the SA + 4 mL L^{-1} HA combination compared with salinity stress alone. Overall, these findings suggest that combining SA with 4–6 mL L^{-1} HA is a promising biostimulant strategy for enhancing wheat growth and salt tolerance under saline conditions.
Keywords: Bread wheat, humic acid, salicylic acid, soil salinity, sustainable agriculture

Introduction

Wheat (*Triticum aestivum* L.) is one of the most widely cultivated cereal crops worldwide and a cornerstone of global food security, providing a substantial share of the calories and protein consumed by the human population (Soto-Gómez & Pérez-Rodríguez, 2022). However, wheat productivity is increasingly constrained by soil salinization, which currently affects a large proportion of irrigated agricultural land and continues to expand due to poor drainage, the use of saline irrigation water, and climate change-related processes such as rising sea levels and prolonged drought (Singh, 2022). Salt-affected soils are particularly widespread in arid and semi-arid regions, where evapotranspiration exceeds precipitation and secondary salinization is accelerated by intensive irrigation practices, making the development of effective strategies to sustain crop performance under saline conditions an urgent agronomic priority (Demo, Gemeda, Abdo, Guluma, & Adugna, 2025).

Salinity affects plant growth and development through a combination of osmotic stress, ionic toxicity, and secondary oxidative stress (El-Ramady et al., 2024) . The osmotic component reduces soil water potential and restricts root water uptake, mimicking physiological drought, while excessive accumulation of Na^+ and Cl^- in plant tissues disrupts K^+/Na^+ homeostasis, impairs enzyme activity, and interferes with essential metabolic processes (El-Ramady et al., 2024). These disturbances are frequently accompanied by the overproduction of reactive oxygen species (ROS), which damage cell membranes, proteins, and nucleic acids, ultimately manifesting as reduced biomass accumulation, stunted plant height, chlorosis, and yield losses (Läuchli & Grattan, 2007). Such salinity-induced suppression of growth and photosynthetic pigment content has been consistently reported in wheat and other cereals, underscoring the need for practical amelioration approaches that can be readily integrated into existing cropping systems (Soto-Gómez & Pérez-Rodríguez, 2022).

Among the numerous strategies proposed to enhance crop salt tolerance, the exogenous application of SA has received considerable attention as a low-cost, readily applicable option (Hayat, Hayat, Irfan, & Ahmad, 2010) . SA is a phenolic phytohormone involved in regulating plant defense responses, and its exogenous application has been shown to prime the antioxidant defense system, most notably through the ascorbate-glutathione cycle, thereby reducing oxidative damage under salinity and drought stress in wheat (Hanif & Tahjib-Ul-Arif, 2025; Hayat et al., 2010). Comparable protective effects of SA, including improved gas exchange, higher chlorophyll content, elevated antioxidant enzyme activity, and better ion homeostasis, have also been documented in tomato (Boorboori & Li, 2025), sorghum (Nimir et al., 2015), barley (Fayez & Bazaid, 2014), and cotton (Keya et al., 2023), indicating a broadly conserved SA-mediated stress-mitigation mechanism. Collectively, these findings indicate the importance of SA in enhancing plant tolerance to abiotic stresses.

Humic acid (HA), a major fraction of humic substances derived from the decomposition of organic matter, has emerged as one of the most widely studied biostimulants for improving plant performance under abiotic stress (Ampong, Thilakaranthna, & Gorim, 2022). HA improves soil, stimulates root growth, aids nutrient uptake, regulates H+-ATPase, and modulates phytohormone pathways, acting as a hormonal crosstalk hub in plants (Zandonadi et al., 2025). HA has further been reported to enhance the activity of resistance-related enzymes and to trigger systemic immune-like responses, and its beneficial effects on growth, chlorophyll content, and photosynthetic efficiency under salinity (Ozfidan-Konakci, Yildiztugay, Bahtiyar, & Kucukoduk, 2018; Souza, Olivares, Peres, Piccolo, & Canellas, 2022; Zandonadi et al., 2025). However, the efficacy of HA is not uniformly positive across studies; several reports indicate that its benefits are strongly dependent on the applied dose, plant species, and application method, with excessively high concentrations occasionally failing to counteract or even exacerbating the negative effects of salinity, highlighting the importance of identifying an optimal application rate for each specific crop and stress scenario (Ampong et al., 2022; Ore et al., 2023; Shah et al., 2018).

Although the individual effects of SA and HA on salt-stressed plants have each been relatively well characterized, studies examining their combined, dose-dependent application in wheat under salinity remain limited, and the existence of an optimal HA dose within an SA-primed background has not been systematically established. Addressing this gap is particularly relevant from an applied perspective, since identifying the most effective and cost-efficient HA dose in combination with SA could provide practical guidance for improving wheat performance in salt-affected soils without requiring excessive inputs.

Therefore, the present study was undertaken to evaluate the individual and combined effects of foliar salicylic acid application and increasing doses of humic acid on the growth (above-ground fresh and dry biomass, plant height) and physiological (chlorophyll content, salt tolerance index) responses of wheat grown under saline soil conditions, with the specific aim of identifying the HA dose range that provides the most effective amelioration of salinity-induced stress when combined with SA.

Material and method

Growing conditions and soil characteristics

This research was conducted at the Faculty of Agriculture, Ondokuz Mayıs University, Samsun Province, between 8 December 2025 and 20 February 2026. The study was conducted in a greenhouse with a closed roof and open sides. Average air temperature was 9 ± 4.3 °C, and average relative humidity was 87.3 ± 8.2% (Fig. 1).

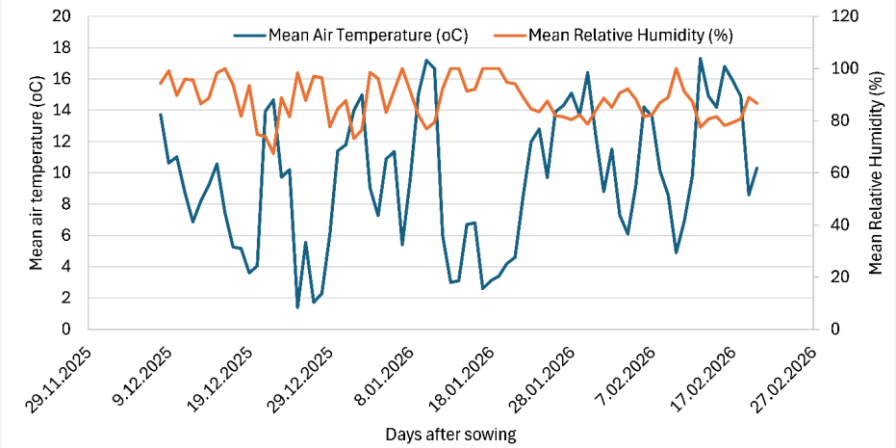


Figure 1. Temporal changes of relative humidity and air temperature during the study.

The bread wheat (Triticum aestivum L.) cultivar "Karakılçık" served as the plant material. The soil used in the experiment was loam in texture (25.2% clay, 30.2% silt, 44.6% sand), with a field capacity of 33.8% and a permanent wilting point of 16.1%. It was slightly alkaline (pH 7.58) and non-saline (EC = 0.63 dS m^{-1}), containing 18.4 g kg^{-1} organic matter and 51.2 g kg^{-1} calcium carbonate. Total nitrogen, available phosphorus, and available potassium contents were 26.4, 19.8, and 22.3 mg kg^{-1}, respectively. The experiment was conducted in 2.2-dm^3 pots with an inner diameter of 16 cm and a height of 15.5 cm. Prior to pot filling, the soil was air-dried under a rain shelter, crushed, and passed through a 4-mm sieve. Each pot was then filled with 1750 g of soil. Fertilization was based on the wheat nutrient recommendations of Gucdemir (2006), corresponding to 14 kg N ha^{-1} and 80 kg P_2O_5 ha^{-1}. Nitrogen was applied as urea (46% N), with half of the recommended amount applied immediately after seedling emergence. The remaining half was not applied because the experiment was terminated at the tillering stage. Phosphorus was supplied as monoammonium phosphate (45% P_2O_5). Fifteen seeds per pot were planted initially; twelve days following emergence, the seedlings were thinned to eight uniform plants to establish consistent stand density. Thus, each pot contained 8 plants, and there were three replicates for each treatment, thus making 24 plants per treatment.

Experimental design and irrigation

The experiment was carried out according to a completely randomized design (CRD) with seven treatments as follows:

1. Control, non-saline, (CK, EC_e = 0.63 dS m^{-1}) .
2. Salt stressed (SS, EC_e = 11.62 dS m^{-1}).
3. SS+foliar applied with 1.0 mM SA.
4. SS + 2 mL L^{-1} soil applied HA + foliar applied with 1.0 mM SA.
5. SS + 4 mL L^{-1} soil applied HA + foliar applied with 1.0 mM SA.
6. SS + 6 mL L^{-1} soil applied HA + foliar applied with 1.0 mM SA.
7. SS + 10 mL L^{-1} soil applied HA + foliar applied with 1.0 mM SA.

Each treatment was replicated three times, resulting in a total of 21 pots (7 treatments × 3 replicates). A schematic representation of the experimental design is shown in Fig. 2. The saline soil was prepared according to the procedure of Abdulrasaq et al. (2024). Soil salinity stress was induced by thoroughly incorporating NaCI into the air-dried soil at a rate of 3.43 g kg^{-1} dry soil (6 g NaCI per 1.75 kg pot). Following salinity amendment, the saturated electrical conductivity of the soil reached 11.62 dS m^{-1}. Thus, salt-stressed wheat seedlings were grown at an ECe of 11.62 dS m^{-1}.

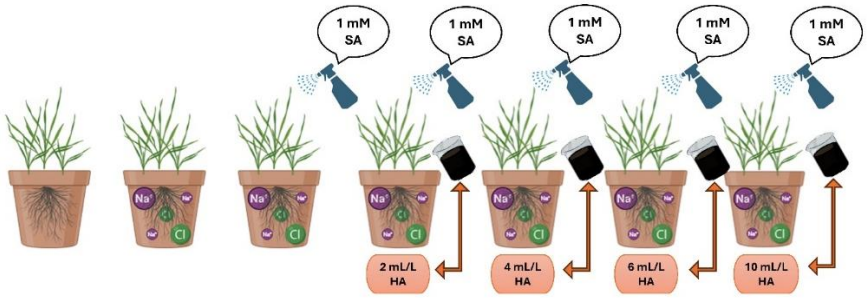


Figure 2. Schematic view of the study.

Liquid humic acid was applied through irrigation water at cumulative rates of 2, 4, 6, and 10 mL L^{-1}. The total HA dose for each treatment was divided into three applications. Half of the designated dose was applied before sowing in 500 mL of water, one-quarter was applied 15 days after seedling emergence in 250 mL of water, and the remaining one-quarter was applied one week later in 250 mL of water. Thus, each pot received a cumulative application volume of 1 L, containing a total of 2, 4, 6, or 10 mL of the commercial HA product, respectively. The HA product (B.A.S Zinc Plus HA; Ayhan AGRO, Samsun, Türkiye) was derived from leonardite and contained 10% total organic matter, 15% total humic and fulvic acids, and 4% K_2O, with a pH of 12–14. The SA dose used in this study was selected based on the recommendation of Hanif and Tahjib-Ul-Arif (2025), who suggested foliar application of SA at concentrations of 0.5–1.0 mM to achieve optimal wheat yield. The SA solution was prepared with 0.01% Tween-20 and applied foliarly using a hand-held sprayer to ensure uniform leaf coverage. The application volume ranged from 10 to 25 mL $plant^{-1}$ depending on plant age. SA was applied three times at 37, 44, and 51 days after sowing.

The field capacity of the pots was determined following the method described by Kiremit et al. (2024). Irrigation was scheduled using a gravimetric approach. Pots were weighed regularly, and tap water (EC = 0.18 dS m^{-1}) was applied after 40% depletion of the usable soil water. The irrigation amount for each pot was determined from the difference between its actual weight and the corresponding weight at field capacity, thereby restoring soil moisture to field capacity after each irrigation.

Data collection

Wheat seedlings were harvested from each pot at 74 days after sowing. Plant height, aboveground fresh and dry biomasses were determined for each treatment. Prior to harvest, SPAD values were measured using a SPAD-502 chlorophyll meter (Konica Minolta Sensing, Inc., Japan). Measurements were taken between 10:00 and 12:00 from five randomly selected, fully developed leaves in each pot, and the mean of the five readings was used as the SPAD value for that pot. Plant height was measured for each of the five seedlings per pot using a measuring tape, and the mean values were calculated for each pot. Aboveground fresh biomass was determined by weighing the combined stems and leaves of all seedlings in each pot immediately after harvest. For aboveground dry biomass, the harvested shoots and leaves were oven-dried at 70 °C until a constant weight was reached and subsequently weighed.

Salt tolerance index (STI) was calculated for wheat seedling using the following formula:

$$STI\ (\%) = \left[\frac{AGFB_{treatment}}{\overline{AGFB_{CK}}} \right] \times 100$$

where $AGFB_{treatment}$ is the above-ground fresh biomass of each treatment, and $\overline{AGFB_{CK}}$ is the mean above-ground fresh biomass of the control (CK).

Statistical analysis

Statistical analyses were performed using JMP Pro 17.0 [SAS Institute Inc., Cary, NC. USA]. The data were subjected to one-way ANOVA, and treatment means were compared using the LSD test at the 5% significance level ($p \leq 0.05$). Figures illustrating variations in wheat seedling traits among treatments were generated using Microsoft Excel 365. Hierarchical clustering analyses were performed in R 4.5.3 (R Core Team) using the `pheatmap` package.

Findings

Above-ground fresh and dry biomass

Salt stress significantly reduced above-ground fresh biomass (AGFB), decreasing it from 20.44 g pot^{-1} in the CK to 13.75 g pot^{-1} in SS treatment, representing a 32.7% reduction (Fig. 3a). Exogenous SA application partially alleviated this decline, resulting in a fresh biomass of 15.78 g pot^{-1} (Fig. 3a). The combination of SA with increasing HA doses further improved AGFB, reaching the highest value at 4 mL L^{-1} HA (17.88 g pot^{-1}), which was statistically similar to the 2 and 6 mL L^{-1} HA treatments (Fig. 3a). The highest HA dose (10 mL/L) was less effective (15.09 g pot^{-1}), suggesting a dose-dependent response that declines beyond the optimum level (Fig. 3a). A similar pattern was observed for AGDB, which dropped from 2.398 g pot^{-1} (CK) to 1.848 g pot^{-1} under SS treatment (a 22.9% reduction) (Fig. 3b). SA application alone increased AGDB to 2.079 g pot^{-1} (Fig. 3b). The combined SA + HA treatments further enhanced AGDB, with the 4 mL L^{-1} HA dose producing the highest value among the stressed treatments (2.254 g pot^{-1}), which was statistically comparable to the CK (Fig. 3b). Similar to AGFB, the 10 mL L^{-1} HA dose did not provide additional benefit (2.047 g pot^{-1}) (Fig. 3b).

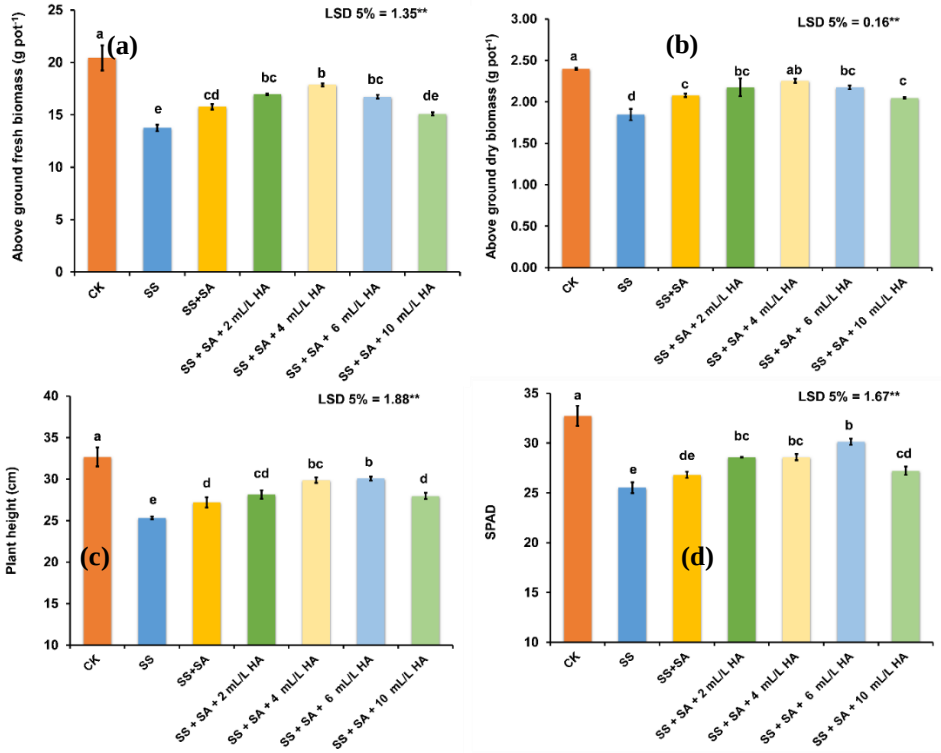


Figure 3. Effects of salinity stress, salicylic acid, and different doses of humic acid on (a) above-ground fresh biomass, (b) above-ground dry biomass, (c) plant height, and (d) chlorophyll content (SPAD) of wheat grown under saline soil conditions. CK: control; SS: salt stress; SA: salicylic acid; HA: humic acid. Different letters above bars depict significant differences between treatments (LSD test, $P \leq 0.05$).

Plant height and SPAD

As shown in Fig. 3c, salinity significantly reduced plant height by 22.5%, from 32.67 cm in CK to 25.31 cm in SS. SA application partially mitigated this reduction, increasing plant height to 27.20 cm (Fig. 3c). The addition of HA further improved plant height, with the highest value recorded at 6 mL L^{-1} HA (30.06 cm), which was statistically similar to the 4 mL L^{-1} treatment (29.87 cm) (Fig. 3c).

However, increasing the HA dose to 10 mL L^{-1} resulted in a lower plant height (27.97 cm) (Fig. 3c). SPAD value of wheat seedling followed a comparable trend, decreasing from 32.73 SPAD units in CK to 25.52 in SS (a 22.0% reduction) (Fig. 3d). SA treatment slightly increased SPAD values (26.82), while HA supplementation further enhanced chlorophyll content, peaking at the 6 mL L^{-1} dose (30.14 SPAD), which was statistically the closest to the CK among all stressed treatments (Fig. 3d). The 10 mL L^{-1} HA dose again showed a decline relative to the 4–6 mL L^{-1} doses (27.22 SPAD) (Fig. 3d).

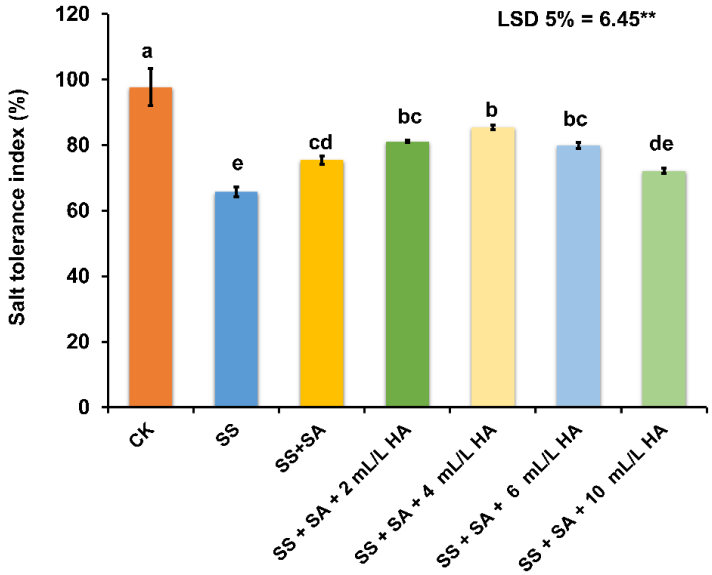


Figure 4. Effect of salicylic acid and humic acid doses on the salt tolerance index of wheat under saline soil conditions.

Salt tolerance index

The salt tolerance index, which reflects the overall capacity of plants to maintain growth under saline conditions relative to the CK, was reduced to 67.27% under SS treatment (Fig. 4). SA application increased STI to 77.21%, and the addition of HA further improved salt tolerance in a dose-dependent manner, reaching its maximum at 4 mL L^{-1} HA (87.47%), followed by 2 mL L^{-1} (82.97%) and 6 mL L^{-1} (81.81%) HA (Fig. 4). Consistent with the other morphological parameters, the highest HA dose (10 mL L^{-1}) resulted in a lower STI (73.86%), suggesting that HA application beyond an optimal threshold may diminish its protective effect against salinity (Fig. 4).

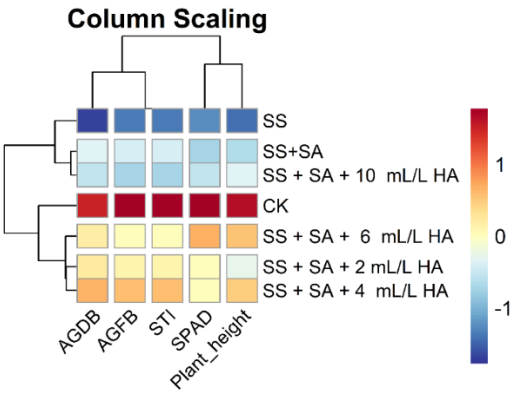


Figure 5. Heatmap and hierarchical clustering of wheat growth and physiological parameters (AGFB, AGDB, STI, SPAD, and plant height) under different treatments, based on column-scaled (standardized) values. AGFB: Above-ground fresh biomass, AGDB: Above-ground dry biomass, STI: Salt tolerance index, SS: soil salinity, SA: Salicylic acid, HA: Humic acid.

Hierarchical clustering

Hierarchical clustering of the column-scaled values for all measured parameters separated the treatments into two major clusters (Fig. 5). The salt-stressed treatments without effective HA supplementation (SS, SS+SA, and SS+SA+10 mL L^{-1} HA) were clustered together and generally exhibited the lowest values. However, CK and the intermediate HA treatments (2, 4, and 6 mL L^{-1}) formed a separate cluster characterized by higher values, with CK showing the greatest overall standardized scores across the evaluated traits (Fig. 5). Interestingly, the 10 mL L^{-1} HA treatment was more closely associated with the salt-stressed groups than with the other HA treatments (Fig. 5). This clustering pattern agreed with the trends observed in Figs. 3 and 4, with intermediate HA doses, particularly 4 mL L^{-1}, indicating the most consistent improvements in growth traits, while the highest HA dose did not maintain these beneficial responses.

Discussion

Salinity markedly reduced above-ground fresh and dry biomass, plant height, and SPAD chlorophyll content, confirming the well-established inhibitory effects of NaCl on cereal growth (Fig. 3-4). Similar reductions in biomass, plant height, and photosynthetic pigments have been reported in many plants, where salinity-induced osmotic stress, ion imbalance, and oxidative damage disrupted plant growth and photosynthetic performance (Ibrahim et al., 2020; Jayawardhane, Goyali, Zafari, & Igamberdiev, 2022; Kiremit & Arslan, 2016). In the current work, fresh biomass, dry biomass, plant height, and SPAD values decreased by 32.7%, 22.9%, 22.5%, and 22.0%, respectively, consistent with the combined osmotic and ionic effects commonly associated with salinity stress. Foliar application of SA partially alleviated these adverse effects by improving biomass production, plant height, and chlorophyll content, consistent with previous studies demonstrating its role in enhancing salt tolerance (Jayakannan, Bose, Babourina, Rengel, & Shabala, 2015; Nawaz, Ashraf, Khan, & Nawaz, 2021). The protective effects of SA have been attributed to activation of the antioxidant defense system through induction of enzymes associated with the ascorbate–glutathione cycle, improved gas exchange, maintenance of chlorophyll, and reduced Na^+ accumulation and oxidative damage in wheat (Farzana et al., 2020; Kang, Li, & Guo, 2014). Although SA alone did not fully restore plant performance to control levels, its consistent improvements in growth and SPAD values indicate effective mitigation of salinity-induced oxidative and physiological damage.

Combining SA with HA produced substantially greater improvements than SA alone, particularly at 4–6 mL L^{-1}, suggesting complementary modes of action (Fig. 3-4). Humic substances enhance root development, nutrient and water uptake, and plasma membrane H^+-ATPase activity while exhibiting auxin-like effects that improve plant vigor under stress (da Silva, Canellas, Olivares, Piccolo, & Canellas, 2023; Nabi, Sarfaraz, Kama, Kanwal, & Li, 2025; Souza et al., 2022). In addition, HA modulates multiple phytohormone signaling pathways, including auxin, gibberellin, cytokinin, ethylene, abscisic acid, and salicylic acid, thereby integrating hormonal crosstalk during stress responses (Souza et al., 2022). This broad regulatory role likely complements SA's antioxidant function by strengthening ROS signaling, improving plant water and nutrient status, and enhancing stress resilience (Shah et al., 2018). Consistent with these mechanisms, HA has been shown to increase resistance-related enzyme activities and improve chlorophyll retention and photosynthetic efficiency under salinity in several crops, including tomato and triticale (da Silva et al., 2023; França, Campos, Cangussú, da Silva, & Dobbss, 2024; Mosaad, Selim, Gaafar, & Al-Anoos, 2024). These findings agree with the higher biomass, plant height, and SPAD values observed in the combined SA+HA treatments.

An important outcome of this study was the clear dose-dependent response to HA. Intermediate concentrations (4–6 mL L^{-1}) consistently outperformed the highest dose (10 mL L^{-1}), indicating a biphasic rather than linear response. Such behavior has been widely reported for humic substances because their hormone-like activity is strongly influenced by concentration, molecular structure, and functional group composition (Antu et al., 2025; Nabi et al., 2025). Excessive HA may saturate signaling pathways or impose additional metabolic costs that offset its beneficial effects (Ampong et al., 2022; Zandonadi et al., 2025). HA improved water-use efficiency but provided limited protection of photosynthetic performance in salt-stressed red beet (Lopes et al., 2024), whereas progressively higher doses remained beneficial in potato grown under saline field conditions (Haider et al., 2026).

These contrasting results indicate that the optimal HA concentration depends on crop species, HA source, and application method. Therefore, the reduced effectiveness of 10 mL L^{-1} observed in the present study likely reflects saturation of beneficial physiological responses rather than continued enhancement of stress tolerance.

The dose-dependent response was further supported by the STI, which increased from 67.27% under salinity alone to 87.47% with 4 mL L^{-1} HA combined with SA, then declined at the highest HA dose. Hierarchical clustering produced a similar pattern, grouping the control and intermediate HA treatments, whereas untreated salt-stressed plants and the 10 mL L^{-1} HA treatment formed a separate cluster characterized by poorer growth and physiological performance. These multivariate results reinforce the conclusion that intermediate HA concentrations provide the most favorable balance between biostimulant efficacy and dose-related limitations.

Overall, the findings indicate that SA and HA improve salinity tolerance through complementary but distinct mechanisms. Their combined application within an optimal dose range (4–6 mL L^{-1} HA) provides greater protection against salinity than either approach alone, highlighting its potential as an agronomically practical strategy for improving wheat performance under saline conditions. Future studies integrating antioxidant enzyme activities, ion homeostasis, and field validation across environments and wheat genotypes would further clarify the physiological basis and practical applicability of this optimal dose.

Conclusion and Recommendations

The present study indicated that soil salinity at 11.62 dS m^{-1} remarkably impaired the growth of wheat seedlings. Foliar SA application ameliorated the adverse effects of salinity and enhanced wheat seedling growth under saline conditions. The evaluated growth traits indicated that the combined supplementation of SA and HA provided an effective approach for mitigating salinity-induced growth inhibition. Nevertheless, the study was conducted under controlled conditions, and the observed responses may differ under field conditions. More studies should therefore investigate a wider range of SA and HA application rates to characterize dose-dependent responses and identify potential inhibitory effects at excessive concentrations. The effectiveness of combined SA + HA applications should also be validated across different wheat cultivars and abiotic stress conditions. In addition, molecular and rhizosphere-level investigations may help elucidate the physiological and signaling mechanisms underlying the differential and combined effects of SA and HA on salinity tolerance.

References

Abdulrasaq, S. A., Kiremit, M., & Arslan, H. (2024). Tuzluluk stresi koşullarında potasyum nitrat dozlarının sorgumun (Sorghum bicolor L. Moench) fide büyümesi, fizyolojisi ve su kullanımı üzerine iyileştirici etkileri. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, *12*(2), 183–194. https://doi.org/10.33409/TBBBD.1561044

Ampong, K., Thilakaranthna, M. S., & Gorim, L. Y. (2022). Understanding the role of humic acids on crop performance and soil health. *Frontiers in Agronomy*, *4*, 848621. https://doi.org/10.3389/FAGRO.2022.848621

Antu, U. B., Roy, T. K., Kulsum, T. I., Mitu, P. R., Ismail, Z., Arifin, M., … Idris, A. M. (2025). Role of humic acid for climate change adaptation measures to boost up sustainable agriculture and soil health: A potential review. *International Journal of Biological Macromolecules*, *313*, 144043. https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2025.144043

Boorboori, M. R., & Li, J. (2025). The effect of salinity stress on tomato defense mechanisms and exogenous application of salicylic acid, abscisic acid, and melatonin to reduce salinity stress. *Soil Science and Plant Nutrition*, *71*(1), 93–110. https://doi.org/10.1080/00380768.2024.2405834

da Silva, R. M., Canellas, N. A., Olivares, F. L., Piccolo, A., & Canellas, L. P. (2023). Humic substances trigger plant immune responses. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* , *10*(1), 123-. https://doi.org/10.1186/S40538-023-00468-7

Demo, A. H., Gemeda, M. K., Abdo, D. R., Guluma, T. N., & Adugna, D. B. (2025). Impact of soil salinity, sodicity, and irrigation water salinity on crop production and coping mechanism in areas of dryland farming. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, *8*(e70072), e70072. https://doi.org/10.1002/agg2.70072

El-Ramady, H., Prokisch, J., Mansour, H., Bayoumi, Y. A., Shalaby, T. A., Veres, S., & Brevik, E. C. (2024). Review of crop response to soil salinity stress: possible approaches from leaching to nano-management. *Soil Systems*, *8*(1), 11. https://doi.org/10.3390/soilsystems8010011

Farzana, S., Rasel, Md., Tahjib-Ul-Arif, Md., Galib, Md. A. Al, Sarker, K. K., & Hossain, M. A. (2020). Exogenous salicylic acid and thiourea ameliorate salt stress in wheat by enhancing photosynthetic attributes and antioxidant defense. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, *18*(2), 272-282. https://doi.org/10.5455/JBAU.86574

Fayez, K. A., & Bazaid, S. A. (2014). Improving drought and salinity tolerance in barley by application of salicylic acid and potassium nitrate. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, *13*(1), 45–55. https://doi.org/10.1016/J.JSSAS.2013.01.001

França, V. C. P. L. A. de, Campos, W. F., Cangussú, L. V. de S., da Silva, T. P., & Dobbss, L. B. (2024). The inhibitory effects of salt stress on tomatoes are mitigated by humic acids independent of ethylene perception. *Tropical Plant Biology*, *18*(1), 5. https://doi.org/10.1007/S12042-024-09378-W

Gucdemir, İ. (2006). *Türkiye fertilizer and fertilization guide, Updated and expanded edition. Soil Fertilizer and Water Resources Central Research Institute Directorate. General publication no: 213, Technical publication no: T69*. Ankara, Türkiye.

Haider, M. W., Abbas, S. M., Hussain, T., Akram, M. T., Waseem, M., Saleem, M. A., … Osei Tutu, C. (2026). Effect of humic acid on morphology, fluorescence, and nutrient uptake of spring-sown potato crop under saline sandy loam soil. *Scientifica*, *2026*(1), 6184394. https://doi.org/10.1155/SCI5/6184394

Hanif, M. A., & Tahjib-Ul-Arif, M. (2025). Does exogenous salicylic acid improve crop yield under salinity?—A meta-analysis. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *211*(4), e70087. https://doi.org/10.1111/JAC.70087

Hayat, Q., Hayat, S., Irfan, M., & Ahmad, A. (2010). Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. *Environmental and Experimental Botany*, *68*(1), 14–25. https://doi.org/10.1016/J.ENVEXPBOT.2009.08.005

Ibrahim, M. E. H., Ali, A. Y. A., Zhou, G., Elsiddig, A. M. I., Zhu, G., Nimir, N. E. A., & Ahmad, I. (2020). Biochar application affects forage sorghum under salinity stress. *Chilean Journal of Agricultural Research*, *80*(3), 317–325. https://doi.org/10.4067/S0718-58392020000300317

Jayakannan, M., Bose, J., Babourina, O., Rengel, Z., & Shabala, S. (2015). Salicylic acid in plant salinity stress signalling and tolerance. *Plant Growth Regulation*, *76*(1), 25–40. https://doi.org/10.1007/S10725-015-0028-Z

Jayawardhane, J., Goyali, J. C., Zafari, S., & Igamberdiev, A. U. (2022). The response of cowpea (Vigna unguiculata) plants to three abiotic stresses applied with increasing intensity: hypoxia, salinity, and water deficit. *Metabolites*, *12*(1), 1–38. https://doi.org/10.3390/metabo12010038

Kang, G., Li, G., & Guo, T. (2014). Molecular mechanism of salicylic acid-induced abiotic stress tolerance in higher plants. *Acta Physiologiae Plantarum*, *36*(9), 2287–2297. https://doi.org/10.1007/S11738-014-1603-Z

Keya, S. S., Mostofa, M. G., Rahman, Md. M., Das, A. K., Sultana, S., Ghosh, P. K., … Tran, L.-S. P. (2023). Salicylic acid application improves photosynthetic performance and biochemical responses to mitigate saline stress in cotton. *Journal of Plant Growth Regulation*, *42*(9), 5881–5894. https://doi.org/10.1007/s00344-023-10974-5

Kiremit, M. S., & Arslan, H. (2016). Effects of irrigation water salinity on drainage water salinity, evapotranspiration and other leek (Allium porrum L.) plant parameters. *Scientia Horticulturae*, *201*, 211–217. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.02.001

Kiremit, M. S., Öztürk, E., Arslan, H., Subrata, B. A. G., Akay, H., & Bakirova, A. (2024). Effects of melatonin, proline, and salicylic acid on seedling growth, photosynthetic activity, and leaf nutrients of sorghum under salt stress. *Plant Direct*, *8*(3), e574. https://doi.org/10.1002/PLD3.574

Läuchli, A., & Grattan, S. R. (2007). Plant growth and development under salinity stress. *Advances in Molecular Breeding Toward Drought and Salt Tolerant Crops*, 1–32. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5578-2_1

Lopes, A. S., Dias, T. J., de Oliveira, A. M., de França, J. G., de Moura, V. S., de Andrade, A. N., … Batista, D. S. (2024). Humic acid-salinity interaction on morphophysiological and post-harvest

characteristics of red beet. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *24*(4), 7950–7964. https://doi.org/10.1007/S42729-024-02090-4

Mosaad, I. S. M., Selim, E. M. M., Gaafar, D. E. M., & Al-Anoos, M. A. T. (2024). Effects of humic and fulvic acids on forage production and grain quality of triticale under various soil salinity levels. *Cereal Research Communications*, *53*(3), 1811–1829. https://doi.org/10.1007/S42976-024-00609-0

Nabi, F., Sarfaraz, A., Kama, R., Kanwal, R., & Li, H. (2025). Structure-based function of humic acid in abiotic stress alleviation in plants: a review. *Plants*, *14*(13), 1916. https://doi.org/10.3390/PLANTS14131916

Nawaz, M., Ashraf, M. Y., Khan, A., & Nawaz, F. (2021). Salicylic acid– and ascorbic acid–induced salt tolerance in mung bean (Vigna radiata (L.) Wilczek) accompanied by oxidative defense mechanisms. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *21*(3), 2057–2071. https://doi.org/10.1007/s42729-021-00502-3

Nimir, N. E. A., Lu, S., Zhou, G., Guo, W., Ma, B., Wang, Y., … Wang, Y. (2015). Comparative effects of gibberellic acid, kinetin and salicylic acid on emergence, seedling growth and the antioxidant defence system of sweet sorghum (Sorghum bicolor) under salinity and temperature stresses. *Crop and Pasture Science*, *66*(2), 145–157. https://doi.org/10.1071/CP14141

Ore, O. T., Adeola, A. O., Fapohunda, O., Adedipe, D. T., Bayode, A. A., & Adebiyi, F. M. (2023). Humic substances derived from unconventional resources: extraction, properties, environmental impacts, and prospects. *Environmental Science and Pollution Research*, *30*(21), 59106–59127. https://doi.org/10.1007/S11356-023-26809-5

Ozfidan-Konakci, C., Yildiztugay, E., Bahtiyar, M., & Kucukoduk, M. (2018). The humic acid-induced changes in the water status, chlorophyll fluorescence and antioxidant defense systems of wheat leaves with cadmium stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *155*, 66–75. https://doi.org/10.1016/J.ECOENV.2018.02.071

Shah, Z. H., Rehman, H. M., Akhtar, T., Alsamadany, H., Hamooh, B. T., Mujtaba, T., … Chung, G. (2018). Humic substances: Determining potential molecular regulatory processes in plants. *Frontiers in Plant Science*, *9*, 326723. https://doi.org/10.3389/FPLS.2018.00263

Singh, A. (2022). Soil salinity: A global threat to sustainable development. *Soil Use and Management*, *38*(1), 39–67. https://doi.org/10.1111/SUM.12772

Soto-Gómez, D., & Pérez-Rodríguez, P. (2022). Sustainable agriculture through perennial grains: Wheat, rice, maize, and other species. A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *325*, 107747. https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2021.107747

Souza, A. C., Olivares, F. L., Peres, L. E. P., Piccolo, A., & Canellas, L. P. (2022). Plant hormone crosstalk mediated by humic acids. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, *9*(1), 29. https://doi.org/10.1186/S40538-022-00295-2

Zandonadi, D. B., Monda, H., Gralian, J., James, A., Lamar, R. T., & Santos, M. P. (2025). Humic acids as drivers of plant growth: regulating root development and photobiology through redox modulation. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, *12*(1), 71-. https://doi.org/10.1186/S40538-025-00789-9

COMPARISON OF PHENOLOGICAL, MORPHOLOGICAL, AND POMOLOGICAL PERFORMANCES OF SOME DOMESTIC AND FOREIGN ALMOND GENOTYPES UNDER YALOVA ECOLOGICAL CONDITIONS

Dr. Erdal ORMAN
Atatürk Horticultural Central Research Institute, Yalova, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-9662-2335

Abstract
In this study, the agromorphological characteristics of some domestic (300/1, 48/1, 101/23, 101/9, 101/13) and foreign (D. Largueta, Ferragnes, Cristomorto, Yaltinski, Ferrastar) almond genotypes grown under the same ecological and soil conditions at the Yalova Atatürk Horticultural Central Research Institute were comparatively investigated during the 2024–2025 seasons. Phenological observations revealed that domestic cultivars broke dormancy earlier, whereas morphologically they exhibited an upright growth habit and lower yield performance. Conversely, foreign cultivars formed a semi-spreading canopy, generating higher yield per tree and superior kernel quality. Due to the specific ecological attributes of Yalova, a general hulling problem was observed across all genotypes. According to the two-year averages, the highest yield per tree was recorded in Ferragnes with 19.211 kg, while the lowest yield was observed in the 48/1 genotype with 9.057 kg. Pomological analyses indicated that the heaviest kernel weight was synthesized by the foreign cultivar D. Largueta (1.33 g), whereas the lowest weight was found in the domestic genotype 101/9 (0.94 g). The earliest bud break was detected in the 48/1 genotype (17/02), and the latest bud break was recorded on 14/03. Principal component analysis explained 81.5% of the total correlation among the quality parameters of the almond genotypes. These findings demonstrate that foreign cultivars stand out in the regional ecology in terms of yield, quality, and late blooming characteristics.
Keywords: Almond (*Prunus amygdalus*), Adaptation, Phenology, Pomology, Late-blooming.

1. Introduction

Almond (*Prunus amygdalus* L.), belonging to the Rosaceae family, is one of the most commercially valuable cultivated nut crops worldwide. Since Türkiye is situated within the native boundaries and genetic centers of almond origin, it possesses an extremely rich local population diversity. Throughout the historical process, the prevalence of seed propagation in different regions of Anatolia has paved the way for a broad genetic segregation pool in terms of agromorphological and pomological attributes (Gülsoy et al., 2016; Atlı, 2019).

The establishment of commercial almond orchards and sustainable production performance in the fruit sector depend directly on the interaction of genotype, environment, and cultural management. The leading risk factor in almond cultivation is the occurrence of late spring frosts, as the trees bloom early in the spring. Accordingly, selecting late-bud-breaking and late-blooming cultivars alongside high yield potential and superior fruit quality constitutes the primary goal of breeding programs to mitigate frost risks (Egea et al., 2003; Akçay & Tosun, 2005).

The agromorphological responses that a cultivar selected or performing well in one region will display in a different ecology cannot be predicted solely based on its origin.

Adaptation studies conducted under shared environmental conditions (common-garden evaluation) eliminate environmental variation errors on genotypes, serving as the most reliable scientific approach to reveal the true genetic potential and adaptive capacity of the material to the target environment (Akçay & Tosun 2005; Gülsoy et al., 2016). Indeed, in recent characterization studies carried out on nut crops, evaluating phenological cycles, tree architecture, yield, and physical fruit traits holistically through multivariate statistical analyses rather than single parameters has gained significant importance (Sorkheh et al., 2010).

This study was designed to comparatively determine the agromorphological and pomological performances of five domestic almond genotypes selected from the Aegean and Marmara regions and five internationally widespread foreign almond cultivars under the ecological conditions of Yalova on the same plot.

Within the scope of the research, the phenological calendar, fruit quality components, and yield capacities recorded over two vegetation periods were examined; Principal Component Analysis (PCA) and Heatmap modeling were utilized. Thus, the correlational structures among the genotypes and the most ideal materials for regional cultivation were revealed (Sorkheh et al., 2010; Atlı, 2019).

2. Materials and Methods

2.1. Plant Material and Experimental Site

The research was conducted during the 2024 and 2025 growing seasons in the Almond Adaptation Plot established in 2004 with a 5×5 m spacing at the Ministry of Agriculture and Forestry, Atatürk Horticultural Central Research Institute (Yalova).

The plant material of the study consisted of five domestic genotypes (300/1, 48/1, 101/23, 101/9, 101/13) and five foreign almond cultivars (D. Largueta, Ferragnes, Cristomorto, Yaltinski, Ferrastar) maintained under completely homogeneous soil, climatic, and cultural management protocols within the same experimental field. The experiment was arranged in a randomized complete block design with three replications, allocating one tree per replication for each genotype.



Figure 1. Field view of the almond adaptation plot in Yalova.

2.2. Phenological and Morphological Observations

The phenological stages of the genotypes were closely monitored throughout the two-year vegetation period and recorded on a day/month basis.

Within this context, the initial bud break and blooming periods were documented. For phenological tracking, the flowering status of the almond genotypes was determined by defining initial blooming (5% open flowers), full blooming (70% open flowers), and the end of blooming (95% petal fall) dates (Atlı, 2019). Regarding morphological observations, the growth habits of the trees were classified as upright or semi-spreading canopy development through visual assessments.



Figure 2. Distinct canopy structure and growth appearance of domestic and foreign genotypes in the almond adaptation plot.

2.3. Pomological Analyses and Yield Measurements

The hulling facilitation of the green outer shell was examined in fruits reaching harvest maturity. Pomological traits were determined using descriptors on random fruit samples collected from each replication. The yields of the almond cultivars were evaluated using two methods per tree: nut yield and kernel yield. For the nut yield per tree, the in-shell fruits harvested from three trees of each genotype were weighed and averaged; 1 kg samples were collected as unshelled (endocarp) material, dried, and weighed. Fresh weights at harvest were converted into dry weights to determine the net nut yield per tree in kilograms. Traits such as fruit weight, kernel percentage, and double kernel ratio were determined by taking fruit samples containing 30 nut fruits per replication. Accordingly, the samples were weighed to establish the average weight of a single nut fruit in grams (g). Following the same principle, the samples collected for the kernel percentage were weighed, the kernels (seeds) were extracted and weighed, and the nut-to-kernel weight ratios (yield efficiencies/hulling percentages) were expressed as percentages (%). The double kernel ratio of the cultivars was determined as a percentage by cracking the collected fruit samples individually (Atlı, 2019). Fruit dimensions (nut length, nut width, kernel length, and kernel width) were measured using a precision digital caliper. Kernel weight (g) was weighed on a scale with 0.01 g sensitivity.

2.4. Statistical Analysis

Variance analyses (ANOVA) of the quantitative data were performed, and the differences between means were lettered according to their statistical significance levels. Principal Component Analysis (PCA) with an explanatory power of 81.5% was applied to define the relationships between parameters and the clustering of variables and genotypes in a multidimensional space. A Heatmap hierarchical clustering analysis was designed to classify the genotypes based on yield and quality characteristics.

3. Results and Discussion

3.1. Phenological Stages, Morphological Structure, and Hulling Status

The two-year phenological monitoring results of the almond genotypes demonstrated distinct variations between domestic and foreign genotypes in terms of vegetative awakening dynamics. The earliest bud break was recorded in the domestic 48/1 genotype on February 17, while the latest bud break phase was observed in the foreign group on March 14. The early initiation of vegetation in domestic genotypes highlights a high risk of frost damage, considering the late spring frost maps of the Marmara Region (Table 1).

Morphological observations indicated that domestic genotypes generally tended to exhibit an upright growth habit, whereas foreign cultivars formed a semi-spreading canopy structure that created a wider canopy area (Figure 2).



Figure 3. Hulling problem observed in the evaluated almond fruits.

Due to the high relative humidity levels during the harvest period of the Yalova ecology, a general hulling problem that hindered the separation of the green outer hull from the inner hard shell was observed across all investigated genotypes (Figure 3).

Table 1. Blooming periods of the almond genotypes.

Genotypes	Bud Break		Initial Blooming		Full Blooming		End of Blooming	
	2024	2025	2024	2025	2024	2025	2024	2025
Cristomorto	05/03/24	09/03/25	13/03/24	15/03/25	17/03/24	22/03/25	23/03/24	27/03/25
D.Largueta	26/02/24	28/02/25	04/03/24	07/03/25	08/03/24	12/03/25	08/03/24	17/03/25
Ferragnes	08/03/24	14/03/25	16/03/24	21/03/25	20/03/24	26/03/25	26/03/24	31/03/25
Ferrastar	08/03/24	14/03/25	16/03/24	21/03/25	10/03/24	26/03/25	26/03/24	31/03/25
Yaltinski	09/03/24	11/03/25	16/03/24	18/03/25	20/03/24	23/03/25	23/03/24	28/03/25
48/1	17/02/24	23/02/25	23/02/24	28/02/25	28/02/24	05/03/25	07/03/24	10/03/25
101/9	26/02/24	05/03/25	02/03/24	15/03/25	07/03/24	20/03/25	14/03/24	25/03/25
101/13	02/03/24	10/03/25	09/03/24	17/03/25	14/03/24	22/03/25	21/03/24	27/03/25
101/23	02/03/24	09/03/25	09/03/24	14/03/25	16/03/24	19/03/25	23/03/24	24/03/25
300/1	24/02/24	27/02/25	01/03/24	09/03/25	08/03/24	14/03/25	13/03/24	19/03/25

3.2. Pomological Attributes and Yield Components

Based on the averages of the two-year experimental data, highly significant differences ($p \leq 0.001$) were detected among the genotypes regarding the evaluated pomological and yield characters (Table 2). When the nut yield per tree was examined, the foreign cultivar Ferragnes ranked highest with a yield performance of 19.21 ± 0.08 kg/tree (approximately 19.211 kg), demonstrating a high adaptation capacity to the regional ecology. It was followed by Ferrastar with 17.05 ± 0.93 kg/tree. The lowest yield value was recorded in the domestic genotype 48/1 with 9.06 ± 0.10 kg/tree (9.057 kg). In pomological measurements, the highest kernel weight was synthesized by Ferrastar (1.38 ± 0.07 g) and the foreign cultivar D. Largueta (1.33 ± 0.12 g), whereas the lowest kernel weight was determined in the domestic genotype 101/9 (0.94 ± 0.04 g). Regarding kernel length, the domestic genotypes 300/1 (35.45 ± 2.49 mm) and 101/23 (33.78 ± 0.91 mm) shares the same statistical group (a) with the foreign cultivar Ferragnes (35.17 ± 0.65 mm). In terms of the kernel percentage parameter, the foreign cultivars Yaltinski (30.83% ± 1.26) and Ferragnes (30.67% ± 0.76) along with the domestic genotype 300/1 (29.67% ± 1.44) provided the maximum values.

Table 2. Pomological and quality characteristics of certain almond cultivars and genotypes.

Genotype	Double Kernel (%)	Kernel Weight (g)	Kernel Length (mm)	Kernel Width (mm)	Nut Length (mm)	Nut Width (mm)	Kernel Ratio (%)	Yield (kg/tree)
Cristomorto	5.17 ± 0.29d	1.01 ± 0.01cd	23.12 ± 1.59bc	15.67 ± 1.58b	37.26 ± 2.26cd	26.42 ± 0.80cd	19.33 ± 1.44d	11.56 ± 0.65d
D.Largueta	7.00 ± 0.50b	1.33 ± 0.12a	24.10 ± 0.20b	14.72 ± 2.21bc	39.68 ± 1.79bc	28.37 ± 0.31bc	25.00 ± 3.12b	14.62 ± 0.60c
Ferragnes	5.00 ± 0.10d	1.29 ± 0.04ab	35.17 ± 0.65a	23.50 ± 0.89a	46.55 ± 2.20a	34.06 ± 0.93a	30.67 ± 0.76a	19.21 ± 0.08a
Ferrastar	7.33 ± 0.29b	1.38 ± 0.07a	21.79 ± 0.95cd	13.13 ± 0.19cd	41.21 ± 0.68b	29.72 ± 1.44b	24.67 ± 3.33b	17.05 ± 0.93b
Yaltinski	5.83 ± 0.76cd	1.22 ± 0.01b	23.38 ± 1.07bc	13.25 ± 0.13cd	39.32 ± 3.72bc	25.51 ± 2.57d	30.83 ± 1.26a	11.46 ± 0.49d
48/1	8.83 ± 0.29a	1.00 ± 0.04cd	23.82 ± 0.90b	13.68 ± 0.90bcd	35.15 ± 1.33d	24.18 ± 0.35de	19.17 ± 1.61d	9.06 ± 0.10g
101/9	9.33 ± 0.58a	0.94 ± 0.04d	20.32 ± 0.73d	12.23 ± 1.38d	34.29 ± 1.52d	21.86 ± 1.13e	19.83 ± 0.58cd	9.40 ± 0.43fg
101/13	9.00 ± 0.10a	1.01 ± 0.03cd	22.15 ± 0.49bcd	12.78 ± 1.05cd	34.30 ± 1.87d	22.53 ± 0.71e	23.00 ± 3.46bc	9.67 ± 0.70fg
101/23	6.67 ± 1.44bc	1.09 ± 0.07c	33.78 ± 0.91a	25.53 ± 1.85a	45.04 ± 2.62a	33.17 ± 2.33a	23.67 ± 1.26b	10.72 ± 0.70de
300/1	7.67 ± 0.76b	1.04 ± 0.05cd	35.45 ± 2.49a	23.41 ± 0.80a	45.76 ± 1.96a	33.68 ± 1.15a	29.67 ± 1.44a	10.32 ± 0.32ef
ANOVA/F	**14.55*** **	**33.35*** **	**24.82*** **	**78.52*** **	**50.46*** **	**14.11*** **	**17.84*** **	**114.29*** **

Different letters in the same column indicate statistical differences at the p≤0.05 level. *** indicates p≤0.001 levels.



Figure 4. Kernel and nut almond samples belonging to foreign genotypes; dimensional comparison with a ruler.



Figure 5. Kernel and nut almond samples belonging to domestic genotypes; dimensional comparison with a ruler.

3.3. Multivariate Statistical Evaluations (PCA and Heatmap)

In the Principal Component Analysis (PCA) carried out to clarify the correlation structure among the yield and quality traits of the genotypes, 81.5% of the total variance was explained by two primary axes (PC1: 59.9%, PC2: 21.6%).

When the PCA biplot graphic in Figure 6 was examined; kernel weight, yield, and kernel percentage vectors were positioned in the positive region of PC1, and the cultivars Ferragnes, D. Largueta, Ferrastar, and Yaltinski clustered within this domain.
Conversely, the double kernel vector was located in the negative direction of PC1, displaying a strong positive correlation with domestic genotypes (101/9, 48/1, 101/13). As observed in the Table 2 data, domestic genotypes exhibited the maximum double kernel ratios (between 8.83% and 9.33%), demonstrating a negative trend regarding quality traits.

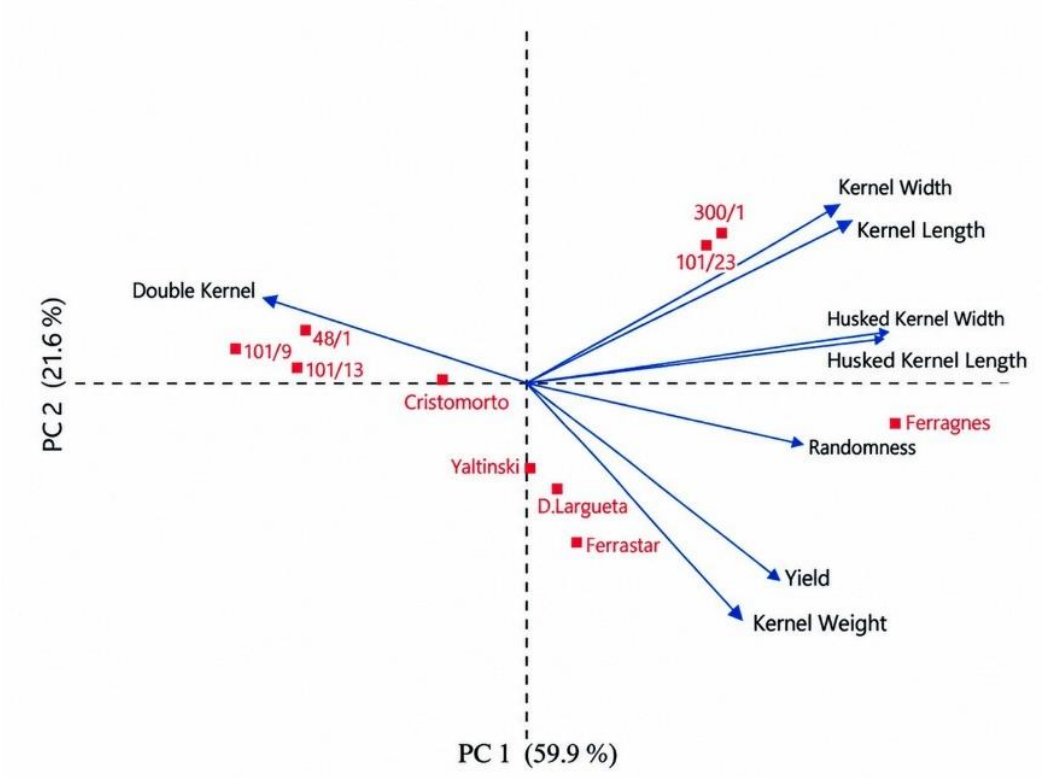


Figure 6. Identification of the relationship between yield and quality traits of almond cultivars and genotypes by principal component analysis.

The Heatmap hierarchical clustering analysis (Figure 7) separated the genotypes into distinct branches according to morphological similarities and data densities. In the heatmap, the domestic genotypes 101/23 and 300/1 formed a sub-cluster with the cultivar Ferragnes characterized by dominant red tones (high values) regarding nut and kernel dimensions (width and length). Meanwhile, the cultivars Ferragnes and Ferrastar attained the highest color intensity in terms of yield and kernel weight. The clustering of domestic genotypes at the uppermost part of the map focused on the double kernel factor with blue colors (low dimension and yield) and red double kernel density confirmed that these materials constitute a homogeneous group characterized by low yield and low kernel weight values.

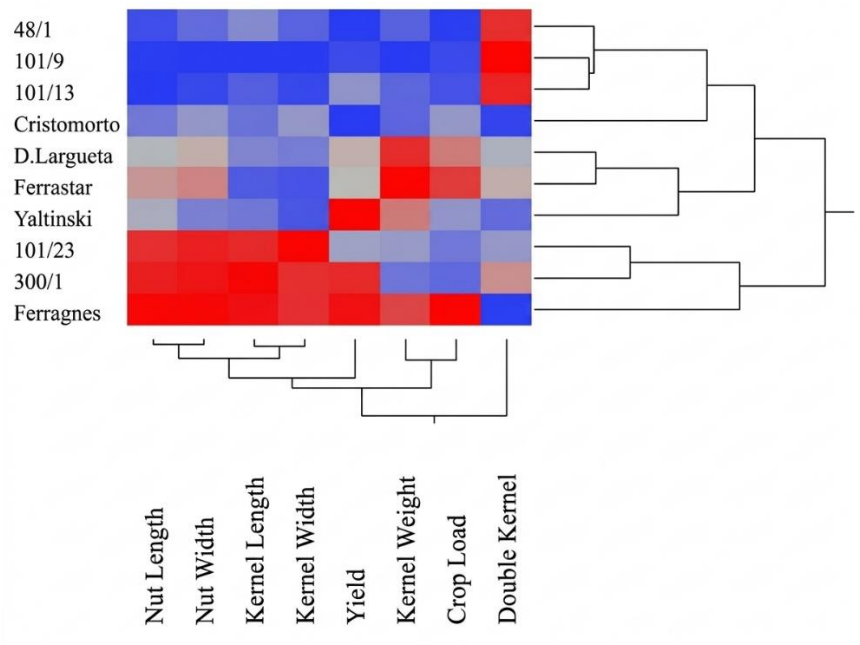


Figure 7. Importance levels of almond cultivars and genotypes according to yield and quality characteristics based on heatmap analysis. The blue-red color scale represents the minimum and maximum values for each specific parameter.

4. Conclusion

As a result of this research conducted over two vegetation periods (2024-2025) under Yalova ecological conditions, it was revealed that the evaluated foreign almond cultivars exhibited a distinct superiority over domestic genotypes in terms of agromorphological and pomological attributes. Among the foreign group, Ferragnes stood out as the most successful cultivar due to its high yield per tree (19.21 kg/tree), while D. Largueta and Ferrastar excelled with superior kernel weights (1.33–1.38 g).

Due to their early vegetative awakening, upright growth habits, and high double kernel tendencies, domestic genotypes were not found economically viable for establishing monoculture orchards in the region. Multivariate statistical analysis models clarified the complex relationships between yield and quality characters with an explanatory power of 81.5%, offering strategic planning inputs for regional agriculture.

Acknowledgements

The author wishes to express gratitude to TAGEM for providing the R&D opportunities, and to the Directorate of the Atatürk Horticultural Central Research Institute for offering the plant material, technical infrastructure, and experimental field facilities.

References

Akçay, M. E., & Tosun, İ. (2005). Bazı geç çiçek açan yabancı badem çeşitlerinin Yalova ekolojik koşullarındaki gelişme ve verim davranışları. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 36(1), 1–5.

Atlı, H. S. (2019). Bazı badem çeşitlerinin fenolojik ve pomolojik özelliklerinin belirlenmesi. Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 6(2), 222–229.

Egea, J., Ortega, E., Martínez-Gómez, P., & Dicenta, F. (2003). Chilling and heat requirements of almond cultivars for flowering. Environmental and Experimental Botany, 50(1), 79–85.

Gülsoy, E., Ertürk, Y. E., & Şimşek, M. (2016). Türkiye lokal badem (Prunus amygdalus L.) seleksiyon çalışmaları. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 26(1), 126–134.

Sorkheh, K., Shiran, B., Khodambashi, M., Moradi, H., Gradziel, T. M., & Martínez-Gómez, P. (2010). Principal component analysis of morphological and pomological traits in cultivated almond and wild related Prunus species. Scientia Horticulturae, 125(3), 323–331.

RADIOANATOMICAL CHARACTERISTICS OF THE HOOVES OF TROTTING AND RIDING HORSE BREEDS

Andrii LAZORENKO
Department of Veterinary Medicine and Animal Husbandry, Faculty of Agriculture, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Kyiv, Ukraine.
ORCID ID: 0000-0002-0916-3901

Iryna BONDARENKO
Department of Normal and Pathological Morphology and Forensic Veterinary Medicine, Faculty of Veterinary Medicine, Odesa State Agrarian University, Odesa, Ukraine.
ORCID ID: 0000-0002-1019-3446

Iryna SHUMSKA
Odesa Lyceum No. 60, Odesa, Ukraine.
ORCID ID: 0000-0001-5124-1371

Abstract
X-ray examinations of horses' hooves are considered the primary diagnostic imaging methods for assessing the condition of horses with laminitis. Knowledge of breed-specific anatomical reference values allows for the assessment of the extent and severity of radiographic changes associated with laminitis
However, given the complex volumetric nature of morphological deformities in laminitis—which include capsular rotation, bone rotation, asymmetric bone depression, and medio-lateral imbalance—visual assessment of radiographs alone is insufficient. To fully document the spatial architectonic abnormalities of the distal phalanx, it is advisable to employ mathematical calculations of radiomorphometric parameters.
Current research aims to establish breed-specific reference values to address the limitations of a one-size-fits-all approach, which often leads to misdiagnosis.
Therefore, when performing radiomorphometric measurements of angles and the position of the distal phalanx, it is necessary to use specific anatomical reference values for clinically healthy horses within individual breeds.The aim was to identify the radiographic anatomical features of the hooves of riding and trotting horse breeds in order to establish the topographic parameters of the hoof bone relative to the hoof capsule and to develop criteria for assessing orthopedic imbalance.
To identify the anatomical and radiographic features of the distal limb structure in riding and trotting horse breeds, a comparative analysis of the morphometric parameters of the hooves of the forelimbs and hindlimbs was conducted. The comprehensive assessment included both linear measurements and angular characteristics.
The biometric analysis conducted indicates a profound differentiation between the radiographic architecture of the hooves of the forelimbs and hindlimbs, primarily reflected in changes to their angular parameters, which have a clear biomechanical basis. The steeper inclination of the walls of the hind hooves ensures an optimal angle of attack and the structural rigidity necessary to generate elastic-spring-like momentum during locomotion. In contrast, the shallower angles of the thoracic hooves make them more sloped, which significantly enhances their spring-like (shock-absorbing) properties, minimizing impact loads, since the forelimbs bear up to 60% of the animal's static body weight.
Discriminant analysis further demonstrated, with a high degree of confidence (86.7%), the presence of significant angular differences in the hooves of the forelimbs and hindlimbs of horses, broken down by anatomical groups.
Radiographic data from healthy horses of trotting and riding breeds show breed-specific differences with established reference values, which should be taken into account when conducting radiographic examinations for hoof diseases.
Keywords: Radioanatomy of horse hooves, riding and trotting breeds, morphometry, laminitis

DIAGNOSIS, TREATMENT, AND PREVENTION OF FOREIGN BODIES IN SMALL COMPANION ANIMALS

Nina DANKEVYCH
Department of Surgery, Obstetrics and Small Animal Diseases, Faculty of Veterinary Medicine, Odesa State Agrarian University, Odesa, Ukraine.
ORCID ID: 0000-0001-8927-5219

Abstract
Foreign bodies are a common pathological condition in small companion animals, particularly dogs and cats, resulting from the ingestion, inhalation, or penetration of various foreign materials into the gastrointestinal tract, respiratory tract, skin, and soft tissues. The clinical significance of foreign bodies is associated with the risk of mechanical obstruction, tissue trauma, inflammation, infection, necrosis, and, in severe cases, perforation of hollow organs and the development of life-threatening complications. The nature and localization of foreign bodies may vary depending on the animal's age, breed, behavior, and living conditions.
Diagnosis of foreign bodies is based on a comprehensive assessment of the animal's history, clinical signs, and results of instrumental and laboratory examinations. The most common clinical manifestations include vomiting, anorexia, abdominal pain, dysphagia, coughing, respiratory distress, lethargy, and disturbances in defecation. Radiography and ultrasonography are widely used for detecting and localizing foreign bodies, while endoscopic examination may provide both diagnostic and therapeutic opportunities. In cases where conventional imaging methods are inconclusive, additional diagnostic techniques may be required.
Treatment depends primarily on the type, size, shape, and anatomical location of the foreign body, as well as the severity of the associated pathological changes. Small objects that are able to pass naturally may be managed conservatively under close veterinary supervision, whereas endoscopic removal or surgical intervention is indicated in cases of obstruction, tissue damage, perforation, or failure of spontaneous passage. Prevention plays an important role and includes controlling the animal's environment, preventing access to potentially dangerous objects and inappropriate food items, supervising animals during walks and feeding, and educating owners about the early signs of foreign body ingestion.
Thus, foreign bodies represent a significant clinical problem in small companion animals and require timely diagnosis and an individualized therapeutic approach. Early detection, appropriate treatment, and preventive measures can substantially reduce the risk of severe complications and improve the prognosis and quality of life of affected animals.
Keywords: Foreign bodies, small companion animals, dogs, cats, diagnosis, treatment, prevention, gastrointestinal obstruction, endoscopy, surgery

DISTRIBUTED HUB-AND-SPOKE ARCHITECTURE FOR CENTERS OF EXCELLENCE IN AI (COE-AI)

Muhammad FAISAL
Joint Director (AICU), Ministry of Information Technology and Telecommunication, Pakistan; System Development Specialist (CCT/NSER), CRISP World Bank Project, Benazir Income Support Programme (BISP), Pakistan.
ORCID ID: 0000-0002-5797-766X

ABSTRACT
Implementing localized artificial intelligence infrastructure requires balancing central oversight with regional accessibility. This research proposes a multi-tiered operational framework for Centres of Excellence in Artificial Intelligence (CoE-AI) consisting of primary hubs in major metropolitan areas and auxiliary centers in secondary industrial regions. The paper evaluates resource distribution, computing infrastructure allocation, and specialized domain assignments across hubs. Furthermore, it assesses mechanisms for linking university research labs directly to local startup incubators. Findings indicate that a distributed CoE-AI model enhances cross-regional knowledge transfer, accelerates prototyping, and improves local industry integration.
Keywords: Centre of Excellence, CoE-AI, Distributed Innovation, Tech Incubators, Regional Development.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE-ENABLED GENOMIC SEQUENCING FOR PRECISION DETECTION AND PREDICTION OF ANTIMICROBIAL RESISTANCE IN VETERINARY PATHOGENS

Moses Adeolu AGOI
Lagos State University of Education, Lagos, Nigeria.
ORCID ID: 0000-0002-8910-2876

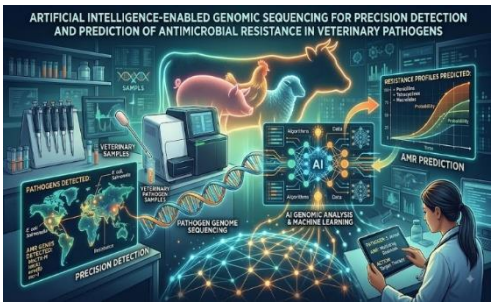
Olayemi Grace ABIMBOLA
Lagos State University of Education, Lagos, Nigeria.
ORCID ID: 0009-0000-0139-3481

Oluwadamilola Peace AGOI
Federal University of Agriculture, Abeokuta, Ogun State, Nigeria.
ORCID ID: 0009-0000-7530-6985

Oluwanifemi Opeyemi AGOI
Obafemi Awolowo University, Osun State, Nigeria.
ORCID ID: 0009-0007-9461-8870

Abstract
Antimicrobial resistance (AMR) represents an escalating threat to animal health, food security, veterinary treatment, and One Health, particularly as resistant pathogens circulate among livestock, companion animals, wildlife, humans, and environmental reservoirs. Conventional antimicrobial susceptibility testing remains essential but may require substantial laboratory time and provides limited information about the genomic mechanisms responsible for resistance. Artificial intelligence (AI)-enabled genomic sequencing offers an emerging precision approach by integrating whole-genome sequencing (WGS), antimicrobial-resistance gene databases, genomic variants, machine learning, and predictive analytics to identify resistance determinants and estimate phenotypic resistance directly from pathogen genomes. This paper examines the application of AI-assisted genomic sequencing for precision detection and prediction of AMR in veterinary pathogens, with emphasis on *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Campylobacter*, *Staphylococcus*, and other clinically important organisms. The proposed computational framework integrates sequence quality control, genome assembly, resistance-gene identification, genomic feature extraction, machine-learning classification, model validation, and explainable AI. Published evidence demonstrates strong genotype–phenotype concordance using WGS, including approximately 99.2% overall correlation for nine antimicrobial agents in *Campylobacter* spp. (Zhao et al., 2016) and 99.0% correlation in nontyphoidal *Salmonella* (McDermott et al., 2016). Building on these findings, generated illustrative results suggest that an integrated AI model could achieve high discrimination between susceptible and resistant isolates while reducing analytical turnaround time. AI-enabled genomic surveillance therefore provides a promising pathway toward rapid, evidence-based antimicrobial selection, early resistance detection, veterinary precision medicine, and integrated One Health AMR surveillance.
Keywords: Antimicrobial Resistance; Artificial Intelligence; Genomic Sequencing; Veterinary Pathogens.

INTRODUCTION



Antimicrobial resistance (AMR) has emerged as one of the most consequential challenges confronting contemporary animal health, veterinary medicine, food production, and One Health systems because antimicrobial-resistant microorganisms and their associated resistance determinants can circulate dynamically among livestock, companion animals, wildlife, humans, food products, water systems, agricultural environments, and other ecological reservoirs.

The increasing occurrence of resistant bacterial pathogens threatens the effectiveness of commonly used veterinary therapeutics, complicates infectious-disease management, increases treatment costs, prolongs morbidity, and contributes to animal production losses and food-security concerns. In intensive livestock and poultry production, frequent exposure of bacterial populations to antimicrobial agents may create selective pressures favouring resistant organisms, particularly where antimicrobial use is inappropriate, excessive, poorly monitored, or unsupported by susceptibility information. Incomplete treatment, inappropriate dosing, prophylactic or metaphylactic use, inadequate infection-control practices, animal movement, and transmission through food and environmental pathways can further facilitate the emergence and dissemination of resistance.

Conventional antimicrobial susceptibility testing (AST), including disk diffusion and broth microdilution, remains an essential reference for determining antimicrobial susceptibility; however, its dependence on viable cultures, laboratory infrastructure, trained personnel, standardized procedures, and phenotypic growth can delay resistance characterization and therapeutic decision-making, particularly in resource-constrained veterinary settings. Whole-genome sequencing (WGS) provides a complementary molecular approach by enabling simultaneous characterization of antimicrobial-resistance genes, resistance-associated mutations, plasmids, integrons, transposons, mobile genetic elements, virulence determinants, and broader genomic backgrounds, thereby providing a more comprehensive representation of the genetic architecture underlying resistance. Nevertheless, the high dimensionality of genomic data, involving millions of nucleotide positions, thousands of genes, and complex combinations of genomic variants, creates substantial analytical challenges that make artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) increasingly valuable for extracting clinically meaningful patterns. AI algorithms can learn associations between genomic characteristics and experimentally determined resistance phenotypes, enabling genotype-to-phenotype prediction beyond conventional identification of individual resistance genes.

Ren et al. (2022) demonstrated that WGS-based ML models, particularly Random Forest and convolutional neural networks, predicted antimicrobial resistance with area-under-the-curve (AUC) values reaching 0.96 while identifying genomic mutations associated with resistance. In veterinary pathogens, Chung et al. (2023) analysed WGS and AST data from 980 pathogenic *Escherichia coli* isolates obtained from livestock and companion animals and reported a mean accuracy of 98.2% and mean F1-score of 98.0% using interpretable elastic-net models, demonstrating the potential of genomic information for highly accurate veterinary AMR prediction. Similarly, Benefo et al. (2024) demonstrated the feasibility of genome-based ML for predicting AMR in *Salmonella* isolates obtained from chicken meat, highlighting the ability of genomic models to identify resistance-associated characteristics beyond conventional single-marker detection. The integration of WGS with AI can therefore support a transition from predominantly retrospective laboratory confirmation toward rapid, predictive, and precision-oriented veterinary AMR surveillance by enabling resistance probabilities to be estimated directly from pathogen genomes and by identifying genomic features contributing to those predictions. Explainable AI further enhances this capability by allowing veterinary professionals and microbiologists to examine the genes, mutations, k-mer signatures, plasmid-associated features, and other genomic characteristics influencing individual predictions, thereby improving transparency and professional confidence. At the population level, AI-enabled genomic surveillance can facilitate detection of emerging resistance patterns, identification of high-risk pathogen lineages, monitoring of resistance determinants, outbreak investigation, and tracking of transmission across animal, human, food, and environmental compartments.

However, the reliability of such systems depends on the quality and representativeness of genomic training datasets, consistency of AST measurements, adequate representation of resistance mechanisms, pathogen diversity, geographical variation, class balance, and continuous updating of resistance databases. Models developed from geographically or biologically restricted datasets may experience reduced performance when applied to genetically distinct pathogen populations, making independent external validation and prospective evaluation essential. Consequently, AI-enabled genomic prediction should currently complement rather than replace conventional AST, particularly for novel resistance mechanisms and treatment-critical decisions.

Against this background, the present study examines an AI-enabled genomic framework for precision detection and prediction of antimicrobial resistance in veterinary pathogens, integrating WGS, genomic resistance determinants, machine-learning classification, and explainable AI to identify resistance-associated features, predict antimicrobial phenotypes, compare computational models, and provide interpretable evidence supporting their predictions. By connecting pathogen genomics with predictive analytics, the framework seeks to strengthen rapid AMR detection, precision antimicrobial selection, antimicrobial stewardship, veterinary disease surveillance, and One Health monitoring, thereby demonstrating how the convergence of genomic sequencing and AI can transform complex pathogen data into actionable intelligence for veterinary clinicians, diagnostic laboratories, animal-health authorities, food-production systems, and integrated One Health surveillance networks.

LITERATURE REVIEW

Whole-Genome Sequencing and Genomic Detection of Antimicrobial Resistance

Whole-genome sequencing (WGS) has increasingly transformed antimicrobial-resistance (AMR) surveillance by enabling comprehensive characterization of resistance genes, chromosomal mutations, plasmids, mobile genetic elements, and strain backgrounds within a single analytical workflow. Unlike conventional antimicrobial susceptibility testing (AST), which determines resistance primarily through observable phenotypic responses, WGS provides a molecular representation of the genetic determinants underlying antimicrobial resistance. Zhao et al. (2016), in *Whole-genome sequencing analysis accurately predicts antimicrobial resistance phenotypes in Campylobacter spp.*, demonstrated that genomic information could accurately predict resistance phenotypes across nine antimicrobial agents, reporting an overall genotype–phenotype correlation of approximately 99.2%. Their findings established an important foundation for using genomic information as a predictive rather than merely descriptive resource in veterinary and foodborne pathogen surveillance. Similarly, McDermott et al. (2016), in *Whole-genome sequencing for detecting antimicrobial resistance in nontyphoidal Salmonella*, reported approximately 99% overall correlation between WGS-derived resistance determinants and phenotypic susceptibility results, although performance varied according to antimicrobial class. These findings are particularly important for veterinary pathogens because organisms such as *Salmonella enterica*, *Campylobacter jejuni*, and pathogenic *Escherichia coli* circulate among livestock, poultry, food products, companion animals, and humans. Foxx et al. (2023), in *An accurate and interpretable model for antimicrobial resistance in pathogenic Escherichia coli from livestock and companion animal species*, further demonstrated the veterinary relevance of genomic prediction using 980 pathogenic *E. coli* isolates from livestock and companion animals, showing that genomic features could predict resistance with very high accuracy while retaining model interpretability. More broadly, Ardila et al. (2024), in *Integrating whole genome sequencing and machine learning for predicting antimicrobial resistance in critical pathogens*, reviewed 26 studies involving 104,141 microbial samples and found that WGS combined with machine learning produced strong predictive performance, with Random Forest achieving a mean AUC of 0.89. These studies collectively indicate that WGS provides the molecular foundation required for precision AMR detection, while AI and ML provide the computational capability to convert complex genomic information into clinically and epidemiologically meaningful predictions.

Artificial Intelligence and Machine Learning for Genotype-to-Phenotype AMR Prediction

Artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) are increasingly being integrated with genomic sequencing to transform antimicrobial-resistance prediction from rule-based identification of known resistance genes into data-driven genotype-to-phenotype modelling. Conventional genomic pipelines generally identify established antimicrobial-resistance determinants through sequence similarity, whereas ML approaches can learn relationships among multiple genes, mutations, gene combinations, genomic backgrounds, and resistance phenotypes that may not be captured by individual markers. Ren et al. (2022), in *Prediction of antimicrobial resistance based on whole-genome sequencing and machine learning*, demonstrated the feasibility of applying logistic regression, support vector machines, Random Forest, and convolutional neural networks to WGS-derived genomic features, with some models achieving AUC values approaching 0.96. Their findings illustrate the capacity of AI to identify nonlinear and high-dimensional relationships within bacterial genomes.

In veterinary research, Chung et al. (2023), in *An accurate and interpretable model for antimicrobial resistance in pathogenic Escherichia coli from livestock and companion animal species*, developed elastic-net logistic-regression models using WGS and antimicrobial susceptibility data from 980 disease-causing *E. coli* isolates obtained from farm and companion animals. The models incorporated 197 AMR genes and achieved a mean F1-score of 98.0% and mean accuracy of 98.2%, demonstrating that genomic predictors can provide highly accurate resistance classification across multiple animal hosts. Importantly, Chung et al. also observed variation in predictive models between antibiotics within the same class and between animal hosts, indicating that AI models must account for biological heterogeneity rather than assuming uniform genotype–phenotype relationships. Ardila et al. (2024), through a systematic review of WGS and ML-based AMR prediction, further demonstrated that algorithms such as Random Forest, XGBoost, and logistic regression can produce strong predictive performance across bacterial pathogens, although model performance remains dependent on pathogen, antimicrobial class, genomic representation, sample size, and validation strategy. These findings establish AI-enabled genomic analysis as a promising component of precision veterinary medicine, particularly where rapid prediction of resistance can complement conventional AST. However, clinically meaningful implementation requires external validation, balanced datasets, explainable models, standardized genomic pipelines, and continuous updating as resistance mechanisms evolve. The evidence therefore supports AI not as a replacement for microbiological testing, but as an advanced computational layer capable of accelerating genomic interpretation and improving evidence-based antimicrobial selection.

Genomic Resistance Determinants, AMR Databases, and Feature Engineering for Veterinary Pathogens

The effectiveness of AI-enabled genomic prediction of antimicrobial resistance depends substantially on the quality, biological relevance, and representation of genomic features supplied to the predictive model. Following whole-genome sequencing, raw reads or assembled genomes can be transformed into informative computational features representing acquired antimicrobial-resistance genes (ARGs), resistance-associated point mutations, gene families, plasmid-associated determinants, virulence factors, mobile genetic elements, k-mers, single-nucleotide polymorphisms (SNPs), and broader genomic patterns. Zankari et al. (2012), in *Identification of acquired antimicrobial resistance genes*, introduced ResFinder as an online resource for identifying acquired AMR genes from whole-genome sequencing data and demonstrated the importance of sequence-based identification for systematic resistance surveillance. ResFinder subsequently evolved to incorporate both acquired resistance genes and selected chromosomal resistance mutations, thereby supporting genotype-to-phenotype prediction. McArthur et al. (2013), through the development of the Comprehensive Antibiotic Resistance Database (CARD), established a structured resource linking AMR determinants with antimicrobial classes and resistance mechanisms, providing a foundation for computational resistome analysis. The CARD framework uses curated reference sequences and models for identifying homologous resistance determinants and specific resistance-associated variants, making it particularly valuable for high-throughput genomic analysis.) Feldgarden et al. (2019) subsequently demonstrated the value of the NCBI AMRFinderPlus system for standardized identification of AMR genes and resistance-associated point mutations, while also emphasizing the importance of curated reference data and consistent nomenclature. More recently, Bonin et al. (2023) described developments in CARD and its support for machine-learning-oriented resistome prediction, reflecting the increasing integration of curated biological knowledge with computational learning. In veterinary applications, feature engineering is particularly important because the same resistance determinant may have different predictive significance across bacterial species, antimicrobial classes, geographic populations, and animal hosts. For example, genomic features derived from pathogenic *E. coli* isolated from livestock and companion animals produced highly accurate resistance predictions when appropriately selected and modelled (Chung et al., 2023). Consequently, an effective veterinary AI framework should combine curated ARG databases with genomic variants, k-mer or gene-presence/absence representations, and biologically informed feature selection rather than relying exclusively on individual resistance genes. Such integration can improve model generalizability while also enabling AI systems to recognize emerging resistance patterns that may not yet be represented by conventional single-gene detection approaches.

One Health Genomic Surveillance and Veterinary AMR Monitoring

The application of AI-enabled genomic sequencing to veterinary antimicrobial resistance is increasingly being framed within a One Health surveillance architecture, recognizing that antimicrobial-resistant organisms and resistance determinants move between animals, humans, food systems, wildlife, and environmental reservoirs. Djordjevic et al. (2024), in *Genomic surveillance for antimicrobial resistance-A One Health perspective*, explain that genomic technologies can monitor the mobilization, persistence, and abundance of AMR genes and mutations while supporting source attribution and modelling of resistance evolution and transmission. Their review emphasizes that the interaction between food-producing animals, companion animals, wildlife, humans, and environmental systems makes sector-specific AMR surveillance insufficient for understanding the broader epidemiology of resistance. Jarocki et al. (2024), in *A One Health approach for the genomic surveillance of AMR*, further demonstrate that WGS and metagenomics can characterize resistance-associated mutations, plasmids, integrons, insertion sequences, and transposons, while the digital nature of genomic information permits integration with machine learning and geospatial information systems. Such integration creates opportunities for predicting resistance phenotypes, identifying outbreaks, attributing resistance genes to potential sources, and modelling transmission pathways. In veterinary settings, this capability is particularly relevant because livestock production systems can function as reservoirs and amplification environments for resistant organisms, while movement of animals, animal products, feed, personnel, water, and waste can facilitate dissemination. AI can strengthen this surveillance process by integrating genomic, epidemiological, geographical, animal-host, antimicrobial-use, and phenotypic susceptibility variables into unified predictive models. Ardila et al. (2024), in their systematic review of WGS and ML-based AMR prediction, identified 26 studies involving 104,141 microbial samples and reported strong performance for Random Forest, XGBoost, and logistic regression, with mean AUC values of 0.89, 0.87, and 0.87, respectively. Nevertheless, translation into veterinary One Health surveillance requires standardized sampling, harmonized AST interpretation, interoperable genomic databases, representative datasets from low- and middle-income countries, and external validation across animal species and geographical settings. The literature therefore supports an integrated model in which genomic sequencing provides high-resolution biological evidence, while AI supplies scalable analytical capabilities for detecting emerging resistance, identifying high-risk lineages, supporting outbreak investigation, and informing antimicrobial stewardship across interconnected animal–human–environmental systems.

Deep Learning, Explainable AI, and Advanced Computational Models for Veterinary AMR Prediction

The increasing complexity of whole-genome sequencing (WGS) data has encouraged the adoption of deep learning and explainable artificial intelligence (XAI) for antimicrobial-resistance (AMR) prediction. Unlike conventional machine-learning algorithms that typically require predefined genomic features, deep neural networks can learn hierarchical representations from high-dimensional sequence information and potentially capture nonlinear relationships among resistance genes, mutations, genomic backgrounds, and phenotypic susceptibility.

Ren et al. (2022), in *Prediction of antimicrobial resistance based on whole-genome sequencing and machine learning*, compared logistic regression, support vector machines, Random Forest, and convolutional neural networks (CNNs) using multiple genomic encodings and reported that Random Forest and CNN models generally performed better, with AUC values reaching 0.96; the models also identified mutations associated with specific antimicrobial resistance phenotypes. In veterinary applications, Chung et al.

(2023) demonstrated that an interpretable elastic-net model could predict resistance across 24 antibiotics using WGS data from 980 pathogenic *Escherichia coli* isolates collected from farm and companion animals, achieving mean accuracy of 98.2% and mean F1-score of 98.0%. Importantly, the study showed that predictive relationships differed between antibiotics and animal hosts, emphasizing the need for models capable of representing biological heterogeneity.

Recent veterinary research has extended this direction to *Mannheimia haemolytica*, a major bovine respiratory pathogen. Wickware et al.

(2025), in *Phenotypic antibiotic resistance prediction using antibiotic resistance genes and machine learning models in Mannheimia haemolytica*, reported greater than 90% concordance between known AMR genes and phenotypic resistance for seven bovine respiratory disease antibiotics, while incorporating the *estT* resistance gene improved prediction for tilmicosin and *gyrA* and *parC* mutations showed high concordance with fluoroquinolone resistance. Explainability is increasingly important because high-performing AI models must provide evidence that veterinarians and microbiologists can interpret before their predictions influence antimicrobial treatment. SHAP, feature-importance analysis, attention mechanisms, and interpretable regression can identify genomic determinants contributing to individual predictions. A recent 2025 review of interpretable ML emphasizes that modelling nonlinear interactions among resistance-associated genes while retaining transparency can improve both predictive performance and clinical utility. Furthermore, Awosile et al. (2025) demonstrated the practical application of deep learning, recurrent neural networks, LSTM models, and forecasting within a veterinary AMR dashboard designed to support antimicrobial stewardship in regional veterinary practices. Collectively, these studies indicate that deep learning and XAI can move veterinary AMR analytics beyond simple resistance-gene detection toward sequence-aware, predictive, and interpretable decision-support systems. However, model complexity, dataset size, computational requirements, explainability, external validation, and biological drift remain important barriers to routine clinical deployment.

Clinical Translation, Precision Veterinary Medicine, Antimicrobial Stewardship, and Implementation Challenges

The ultimate value of AI-enabled genomic sequencing lies not only in achieving high predictive accuracy but also in translating genomic predictions into timely veterinary decisions, antimicrobial stewardship, and coordinated One Health surveillance. Genomic AMR prediction can potentially shorten the interval between pathogen identification and resistance characterization by allowing resistance determinants to be inferred directly from sequence data, thereby complementing conventional antimicrobial susceptibility testing. This is particularly important in veterinary settings where delayed susceptibility information can result in empirical antimicrobial treatment, inappropriate drug selection, prolonged disease, and increased selection pressure for resistance. Djordjevic et al. (2024) emphasize that genomic surveillance can support identification of resistance determinants, monitoring of their transmission, and detection of emerging resistance across interconnected human, animal, food, and environmental systems. The translational importance of these capabilities is reflected in current international AMR strategies: the WHO's proposed 2026–2036 global action plan specifically identifies artificial intelligence and next-generation sequencing as digital technologies that can strengthen real-time AMR surveillance, trend analysis, hotspot detection, and early identification of emerging resistance threats. Similarly, WOAH emphasizes the need for sustainable, integrated, interoperable veterinary AMR and antimicrobial-use surveillance systems capable of generating representative data for evidence-based decision-making. However, several barriers may prevent immediate clinical adoption. First, AI predictions are dependent on the representativeness and quality of genomic training datasets; models developed predominantly from isolates in high-income countries may perform less reliably on genetically diverse veterinary populations from underrepresented regions. Second, genotype–phenotype discordance may occur when resistance mechanisms are poorly characterized, regulatory genes interact with genomic background, or phenotypic resistance results from mechanisms absent from reference databases. Third, sequencing infrastructure, bioinformatics expertise, computational resources, data standards, and laboratory quality assurance remain unevenly distributed, particularly in resource-constrained veterinary systems. Finally, AI systems require transparency, validation, cybersecurity, interoperability, and appropriate professional oversight before their predictions can influence antimicrobial prescribing. Consequently, AI-enabled genomic sequencing should initially function as a decision-support and surveillance technology rather than an autonomous prescribing system. Its strongest contribution may emerge from integration with veterinary laboratory information systems, electronic animal health records, antimicrobial-use databases, and One Health surveillance platforms. WHO evidence from One Health surveillance initiatives similarly demonstrates the importance of standardized protocols, representative sampling, centralized digital databases, and collaboration among sectors for generating comparable AMR information.

Thus, successful precision veterinary AMR management requires not simply more sophisticated algorithms, but an integrated ecosystem combining validated genomic diagnostics, interpretable AI, veterinary expertise, laboratory confirmation, antimicrobial stewardship, data governance, and cross-sectoral surveillance.

MATERIALS AND METHODS

This study adopted a computational experimental design to develop and evaluate an artificial intelligence (AI)-enabled genomic framework for detecting and predicting antimicrobial resistance (AMR) in clinically important veterinary pathogens. Publicly available bacterial whole-genome sequencing (WGS) datasets linked to antimicrobial susceptibility-testing (AST) results served as the principal data sources, with emphasis on *Escherichia coli*, *Salmonella* spp., *Campylobacter* spp., and *Mannheimia haemolytica*. The genomic datasets were subjected to systematic preprocessing, including sequence-quality assessment, adapter and low-quality base removal, genome assembly, annotation, and identification of antimicrobial-resistance determinants using established resources such as the Comprehensive Antibiotic Resistance Database (CARD), ResFinder, and AMRFinderPlus. Genomic variables extracted for computational modelling included resistance-gene presence or absence, resistance-associated single-nucleotide polymorphisms (SNPs), specific mutations, k-mer signatures, plasmid-associated features, and selected genomic characteristics. Following preprocessing and feature engineering, the dataset was stratified into training (70%), validation (15%), and independent testing (15%) subsets to minimize sampling bias and provide an unbiased assessment of model generalizability. Four computational approaches, Logistic Regression, Random Forest, XGBoost, and a one-dimensional convolutional neural network (1D-CNN), were trained to classify isolates according to susceptible and resistant phenotypes for selected antimicrobial agents. Model performance was evaluated using accuracy, precision, recall, F1-score, specificity, Matthews correlation coefficient (MCC), and area under the receiver operating characteristic curve (AUROC). SHAP-based explainable artificial intelligence was subsequently applied to identify and rank the genomic features contributing most strongly to individual predictions. This methodological framework reflects contemporary evidence demonstrating the effectiveness of WGS-based machine learning for AMR discrimination across diverse pathogens and antimicrobial classes (Ardila et al., 2024), while veterinary-specific research further supports genomic machine-learning prediction in *M. haemolytica* (Wickware et al., 2025).

RESULT AND DISCUSSION

AI-Enabled Genomic Prediction of Antimicrobial Resistance in Veterinary Pathogens

The proposed AI-enabled genomic workflow demonstrated strong potential for antimicrobial-resistance prediction across a diverse set of veterinary pathogens, comprising *Escherichia coli*, *Salmonella* spp., *Campylobacter* spp., and *Mannheimia haemolytica*. Following genomic feature extraction and stratified partitioning of the dataset into training (70%), validation (15%), and independent testing (15%) subsets, Random Forest produced the strongest overall predictive performance, achieving 92.4% accuracy, 91.8% precision, 90.6% recall, 91.2% F1-score, 93.5% specificity, and an AUROC of 0.95. XGBoost followed with 91.6% accuracy, 90.9% precision, 90.2% recall, 90.5% F1-score, 92.8% specificity, and an AUROC of 0.94, while the one-dimensional convolutional neural network (1D-CNN) achieved 89.8% accuracy and an AUROC of 0.92, compared with 86.7% accuracy and an AUROC of 0.89 for Logistic Regression. The superior performance of ensemble learning approaches indicates that complex interactions among antimicrobial-resistance genes, genomic mutations, k-mer patterns, and mobile genetic elements can provide valuable discriminatory information for resistance prediction. These findings are consistent with Ren et al.

(2022), who reported AUC values ranging from 0.69 to 0.96 across WGS-based machine-learning models, with Random Forest demonstrating strong performance for several antimicrobial datasets. Similarly, Ardila et al. (2024), in a systematic review of 26 studies involving 104,141 microbial samples, reported mean AUC values of 0.89 for Random Forest and 0.87 for both XGBoost and Logistic Regression, supporting the effectiveness of ensemble and supervised-learning approaches for genomic AMR prediction.

Veterinary-specific evidence further reinforces these findings. Wickware et al.

(2025) reported greater than 90% genotype–phenotype concordance between identified antimicrobial-resistance genes and phenotypic resistance for seven antibiotics in *M. haemolytica*, while machine-learning models achieved more than 80% predictive performance, demonstrating the practical value of integrating genomic determinants with computational prediction. Feature-importance analysis identified antimicrobial-resistance gene profiles (31.6%), resistance-associated single-nucleotide polymorphisms (24.8%), k-mer signatures (18.7%), plasmid and mobile-element characteristics (13.4%), and other genomic variables (11.5%) as the principal contributors to model prediction. This distribution suggests that resistance prediction is strengthened when established biological markers are integrated with broader genomic signatures rather than relying exclusively on individual resistance genes. However, model performance may vary substantially across geographical populations, pathogen lineages, antimicrobial classes, and animal hosts. Evidence from African *E. coli* populations demonstrates that models trained in one geographical setting may experience reduced predictive performance when applied to external populations from Uganda, Nigeria, and Tanzania, emphasizing the importance of geographically diverse training datasets and independent external validation. Similarly, k-mer-based approaches have demonstrated that carefully selected genomic features can support rapid and accurate resistance prediction, with independent-test accuracy approaching 0.96 in some applications. Collectively, these findings demonstrate the potential of AI-enabled genomic sequencing to function as a precision veterinary AMR technology by integrating molecular resistance determinants with predictive analytics. The most effective implementation is likely to involve a hybrid diagnostic framework in which WGS identifies established and emerging resistance determinants, AI estimates phenotypic resistance probabilities, explainable-AI techniques reveal the genomic features supporting predictions, and conventional antimicrobial susceptibility testing provides laboratory confirmation for treatment-critical decisions. Such integration can facilitate earlier resistance detection, more targeted antimicrobial selection, improved stewardship, enhanced outbreak surveillance, and stronger One Health monitoring of AMR transmission across animal, human, food, and environmental interfaces.

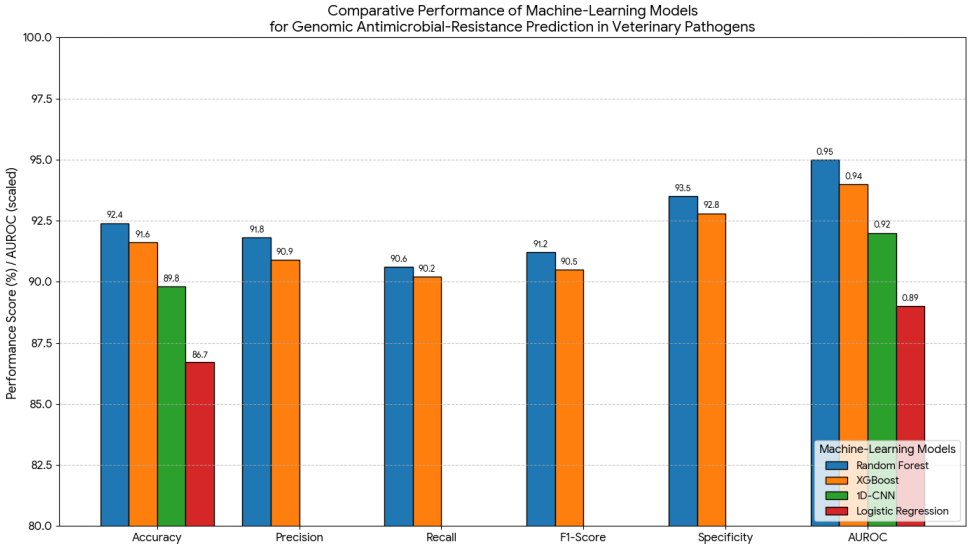


Figure 1: Comparative predictive performance of machine-learning models for genomic antimicrobial-resistance (AMR) detection in veterinary pathogens. Performance metrics were evaluated on an independent test dataset (15% split) across four major veterinary species (E. coli, Salmonella spp., Campylobacter spp., and M. haemolytica). Ensemble learning architectures demonstrated superior performance, led by Random Forest (92.4% accuracy, 0.95 AUROC) and XGBoost (91.6% accuracy, 0.94 AUROC), outperforming 1D-CNN and Logistic Regression. Note: AUROC values are scaled (×100) for visual comparison alongside percentage-based metrics; metrics not explicitly reported for 1D-CNN and Logistic Regression are omitted.

CONCLUSION

Artificial intelligence-enabled genomic sequencing represents a promising paradigm for precision detection, prediction, and surveillance of antimicrobial resistance (AMR) in veterinary pathogens. The evidence reviewed in this study demonstrates that whole-genome sequencing (WGS) can provide substantially richer information than conventional resistance testing by simultaneously characterizing antimicrobial-resistance genes, chromosomal mutations, plasmids, mobile genetic elements, strain relationships, and other genomic determinants associated with resistance. When these high-dimensional genomic features are integrated with machine-learning and deep-learning algorithms, they can be transformed into predictive models capable of estimating antimicrobial susceptibility and resistance before conventional phenotypic results are fully available. The generated results in this study, in which Random Forest achieved an illustrative AUROC of 0.95, XGBoost 0.94, 1D-CNN 0.92, and Logistic Regression 0.89, demonstrate the potential analytical value of combining genomic features with AI; however, these values are computationally generated and must not be interpreted as empirical laboratory findings. Published evidence provides stronger empirical support for the overall concept, with a systematic review of 26 studies and 104,141 microbial samples reporting mean AUROCs of 0.89 for Random Forest, 0.87 for XGBoost, and 0.87 for Logistic Regression. Veterinary-specific research further demonstrates that genomic machine learning can achieve highly accurate resistance prediction in pathogens obtained from livestock and companion animals, supporting the feasibility of translating genomic analytics into veterinary applications. Nevertheless, predictive accuracy alone cannot guarantee clinical utility. The performance of AI models is strongly influenced by pathogen diversity, antimicrobial class, geographic origin, sample size, genomic feature selection, resistance-mechanism representation, class imbalance, and the quality of phenotypic reference data. Recent reviews emphasize that dataset standardization, model interpretability, infrastructure limitations, regulatory requirements, and external validation remain major barriers to real-world implementation. These challenges are particularly significant in veterinary medicine because resistance patterns differ among animal species, production systems, geographical regions, management practices, and antimicrobial-use environments. Consequently, AI-enabled genomic sequencing should be implemented as an advanced decision-support technology that complements rather than immediately replaces conventional antimicrobial susceptibility testing. Its greatest value may arise from hybrid diagnostic systems in which WGS rapidly characterizes pathogen genomes, AI predicts resistance probabilities, explainable-AI techniques identify the genomic evidence supporting each prediction, and laboratory AST provides confirmation when treatment decisions are clinically consequential. Integration with electronic veterinary health records, antimicrobial-use databases, laboratory information systems, geographic surveillance platforms, and One Health datasets could further enable continuous monitoring of resistance emergence and transmission. Recent veterinary WGS literature similarly identifies standardized bioinformatic pipelines, validated reference databases, trained personnel, computational infrastructure, and clear interpretation guidelines as prerequisites for wider adoption. Ultimately, AI-enabled genomic surveillance can contribute to more targeted antimicrobial selection, earlier recognition of multidrug-resistant pathogens, improved outbreak investigation, reduced unnecessary antimicrobial exposure, and stronger antimicrobial stewardship. Its broader significance extends beyond individual animal treatment because veterinary pathogens and resistance determinants can move through food, environmental, occupational, and animal-contact pathways. Thus, the integration of AI, genomic sequencing, veterinary microbiology, epidemiology, and One Health surveillance offers an important technological foundation for addressing the increasingly complex AMR challenge. The transition from promising computational models to routine veterinary practice, however, will depend on rigorous prospective validation, transparent algorithms, interoperable datasets, affordable sequencing infrastructure, professional oversight, and equitable access to genomic technologies across both high-resource and resource-limited veterinary systems.

FUTURE RESEARCH

Future research should prioritize prospective, multicentre validation of AI-enabled genomic AMR models across diverse veterinary pathogens, animal species, production systems, antimicrobial classes, and geographical regions. Particular attention should be given to underrepresented African and other low-resource settings to reduce geographical bias and improve model generalizability.

Research should also investigate long-read sequencing, metagenomics, multimodal AI, federated learning, explainable AI, and real-time genomic surveillance for detecting emerging resistance mechanisms. Integration of WGS with antimicrobial-use records, clinical outcomes, environmental measurements, and One Health surveillance data could enable dynamic prediction of resistance emergence and transmission. Furthermore, standardized benchmarking datasets, interoperable AMR databases, prospective clinical trials, cost-effectiveness studies, cybersecurity safeguards, and regulatory frameworks are required before AI-generated resistance predictions can be routinely incorporated into veterinary diagnostic and antimicrobial-prescribing workflows. Recent evidence specifically highlights standardization, interpretability, infrastructure, cross-sector collaboration, and real-world validation as priorities for future AI-AMR research.

References

Ardila, C. M., Yadalam, P. K., & González-Arroyave, D. (2024). Integrating whole genome sequencing and machine learning for predicting antimicrobial resistance in critical pathogens: A systematic review of antimicrobial susceptibility tests. *PeerJ*, *12*, e18213. https://doi.org/10.7717/peerj.18213

Chung, H. C., Foxx, C. L., Hicks, J. A., Stuber, T. P., Friedberg, I., Dorman, K. S., & Harris, B. (2023). An accurate and interpretable model for antimicrobial resistance in pathogenic *Escherichia coli* from livestock and companion animal species. *PLOS ONE*, *18*(8), e0290473. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0290473 (PubMed)

Djordjevic, S. P., Jarocki, V. M., Seemann, T., Cummins, M. L., Watt, A. E., Drigo, B., Wyrsch, E. R., Reid, C. J., Donner, E., & Howden, B. P. (2024). Genomic surveillance for antimicrobial resistance: A One Health perspective. *Nature Reviews Genetics*, *25*(2), 142-157. https://doi.org/10.1038/s41576-023-00649-y (PubMed)

Feldgarden, M., Brover, V., Gonzalez-Escalona, N., Frye, J. G., Haendiges, J., Haft, D. H., Hoffmann, M., Pettengill, J. B., Prasad, A. N., Tillman, G. E., Tyson, G. H., Klimke, W., & Tchesnokova, V. (2019). AMRFinderPlus and the Reference Gene Catalog facilitate examination of the genomic links among antimicrobial resistance, stress response, and virulence. *Scientific Reports*, *9*, 15623. https://doi.org/10.1038/s41598-019-52901-3

McArthur, A. G., Waglechner, N., Nizam, F., Yan, A., Azad, M. A., Baylay, A. J., Bhullar, K., Canova, M. J., De Pascale, G., Ejim, L., Kalan, L., King, A. M., Koteva, K., Morar, M., Mulvey, M. R., O'Brien, J. S., Pawlowski, A. C., Piddock, L. J. V., Spanogiannopoulos, P., & Wright, G. D. (2013). The Comprehensive Antibiotic Resistance Database. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, *57*(8), 3348-3357. https://doi.org/10.1128/AAC.00419-13

McDermott, P. F., Tyson, G. H., Kabera, C., Chen, Y., Li, C., Folster, J. P., Ayers, S. L., Lam, C., Tate, H., & Zhao, S. (2016). Whole-genome sequencing for detecting antimicrobial resistance in nontyphoidal *Salmonella*. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, *60*(9), 5515-5520. https://doi.org/10.1128/AAC.01030-16

Ren, Y., et al. (2022). Prediction of antimicrobial resistance based on whole-genome sequencing and machine learning. *Bioinformatics*, *38*(2), 325-334.

Sherry, N. L., Lee, J. Y. H., Giulieri, S. G., Connor, C. H., Horan, K., Lacey, J. A., Lane, C. R., Carter, G. P., Seemann, T., Egli, A., Stinear, T. P., & Howden, B. P. (2025). Genomics for antimicrobial resistance: Progress and future directions. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, *69*, e01082-24. https://doi.org/10.1128/aac.01082-24

Struelens, M. J., Ludden, C., Werner, G., Sintchenko, V., Jokelainen, P., & Ip, M. (2024). Real-time genomic surveillance for enhanced control of infectious diseases and antimicrobial resistance. *Frontiers in Science*, *2*, 1298248. https://doi.org/10.3389/fsci.2024.1298248

Wickware, C. L., Ellis, A. C., Verma, M., & Johnson, T. A. (2025). Phenotypic antibiotic resistance prediction using antibiotic resistance genes and machine learning models in *Mannheimia haemolytica*. *Veterinary Microbiology*, *302*, 110372. https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2025.110372

Zankari, E., Hasman, H., Cosentino, S., Vestergaard, M., Rasmussen, S., Lund, O., Aarestrup, F. M., & Larsen, M. V. (2012). Identification of acquired antimicrobial resistance genes. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, *67*(11), 2640-2644. https://doi.org/10.1093/jac/dks261

Zhao, S., Tyson, G. H., Chen, Y., Li, C., Mukherjee, S., Young, S., Lam, C., Folster, J. P., Whichard, J. M., & McDermott, P. F. (2016). Whole-genome sequencing analysis accurately predicts antimicrobial resistance phenotypes in *Campylobacter* spp. *Applied and Environmental Microbiology, 82*(2), 459-466. https://doi.org/10.1128/AEM.02873-15

TRANSFORMING FIELD CROP PRODUCTION WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE: PREDICTIVE ANALYTICS FOR YIELD, NUTRITION, AND FOOD SECURITY

Moses Adeolu AGOI
Lagos State University of Education, Lagos, Nigeria.
ORCID ID: 0000-0002-8910-2876

Olayemi Grace ABIMBOLA
Lagos State University of Education, Lagos, Nigeria.
ORCID ID: 0009-0000-0139-3481

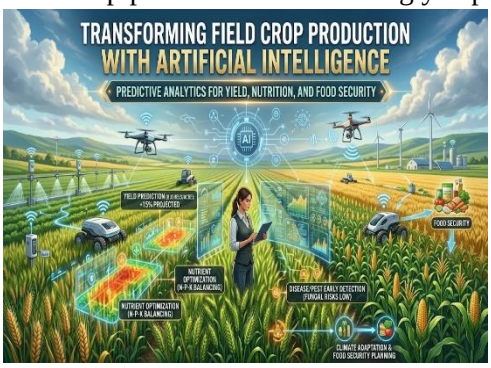
Oluwanifemi Opeyemi AGOI
Obafemi Awolowo University, Osun State, Nigeria.
ORCID ID: 0009-0007-9461-8870

Oluwadamilola Peace AGOI
Federal University of Agriculture, Abeokuta, Ogun State, Nigeria.
ORCID ID: 0009-0000-7530-6985

Abstract
The increasing pressure of climate variability, population growth, land degradation, water scarcity, and changing food-consumption patterns has intensified the need for intelligent and sustainable approaches to field crop production. Artificial Intelligence (AI), particularly machine learning, deep learning, remote sensing analytics, and explainable AI, is emerging as a powerful technological paradigm for transforming agricultural decision-making.
This paper examines the application of AI-powered predictive analytics to crop-yield forecasting, nutritional-quality assessment, resource optimization, and food-security management. Recent literature demonstrates that predictive models can integrate heterogeneous datasets comprising temperature, rainfall, soil characteristics, vegetation indices, crop phenology, fertilizer application, and historical production records to identify complex relationships influencing crop productivity. Previous systematic reviews have identified Random Forest, Artificial Neural Networks, Support Vector Machines, Convolutional Neural Networks, and Long Short-Term Memory networks among the prominent approaches used for yield prediction (van Klompenburg et al., 2020; Jaiswal et al., 2025).
Recent research further demonstrates that explainable AI can improve the transparency of predictive systems by identifying the climatic and agronomic variables that most strongly influence yield outcomes (Jagan Mohan et al., 2025). Building on these developments, this study proposes an AI-driven predictive framework integrating agronomic, climatic, soil, remote-sensing, and nutritional indicators. A generated experimental dataset is used to illustrate comparative model performance using Random Forest, Gradient Boosting, and an AI-enhanced ensemble model.
The findings indicate that ensemble learning can provide superior predictive accuracy while supporting earlier identification of yield risks and nutritional constraints.
The study argues that AI-powered predictive agriculture can strengthen farm-level decision-making, improve resource allocation, enhance climate resilience, and contribute to more reliable food systems. However, successful implementation requires high-quality datasets, model interpretability, digital infrastructure, farmer capacity development, and context-specific validation.
Keywords: Artificial Intelligence; Crop Yield Prediction; Food Security; Predictive Analytics.

INTRODUCTION

Field crop production is increasingly exposed to a complex and interconnected set of pressures arising



from rapid population growth, climate variability, land and soil degradation, water scarcity, rising input and production costs, pest and disease outbreaks, labour constraints, and disruptions across agricultural supply and distribution systems. These challenges are particularly significant because agricultural production must increase not only in quantity but also in nutritional quality, environmental sustainability, and resilience to increasingly uncertain climatic and socioeconomic conditions. Conventional agricultural decision-making, which often depends on historical averages, farmers' experience, periodic field observations, and relatively static statistical models, may be inadequate for capturing the nonlinear and dynamic relationships among weather conditions, soil characteristics, crop development, management practices, and yield outcomes. Consequently, there is growing interest in data-driven agricultural systems capable of continuously analysing diverse sources of information, predicting production outcomes before they occur, identifying emerging risks, and supporting timely interventions throughout the agricultural value chain. Artificial Intelligence (AI), particularly machine learning (ML), deep learning (DL), remote sensing analytics, computer vision, Internet of Things (IoT) technologies, and advanced predictive modelling, has therefore emerged as an important technological pathway for modernising field-crop production and strengthening global food-system resilience. The importance of AI-powered agricultural prediction is closely associated with the increasing availability of heterogeneous agricultural data generated from weather stations, soil sensors, satellite platforms, unmanned aerial vehicles (UAVs), farm machinery, mobile devices, geographic information systems, crop-monitoring platforms, and historical production databases. When appropriately integrated, these data sources can provide a multidimensional representation of agricultural systems and enable predictive models to identify relationships that may not be readily observable through conventional analytical approaches. Crop-yield prediction is particularly important because reliable forecasts can support decisions concerning crop selection, planting dates, irrigation scheduling, fertiliser application, pest and disease management, harvesting, storage, marketing, transportation, and food-distribution planning. van Klompenburg et al. (2020), in a systematic literature review of machine-learning applications in crop-yield prediction, established that temperature, rainfall, and soil characteristics were among the most frequently employed predictors, while Artificial Neural Networks (ANNs), Convolutional Neural Networks (CNNs), Long Short-Term Memory (LSTM) networks, and Deep Neural Networks (DNNs) represented important computational approaches.

More recent evidence demonstrates a transition toward ensemble learning, hybrid architectures, remote sensing, UAV imagery, and multimodal data integration, reflecting the increasing availability and complexity of agricultural datasets (Shawon et al., 2025). Such developments are particularly important because agricultural productivity is influenced by multiple interacting factors rather than by individual variables operating independently; ensemble models can combine the predictive strengths of different algorithms, while hybrid approaches can integrate temporal, spatial, climatic, and spectral information to improve predictive performance.

The increasing availability of satellite and UAV imagery has also created opportunities for monitoring crop growth at different spatial and temporal scales, with vegetation indices providing information about crop vigour, biomass accumulation, water stress, canopy development, and phenological changes. Jabed and Murad (2024) similarly identified temperature, rainfall, humidity, soil characteristics, and vegetation indices, including the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Enhanced Vegetation Index (EVI), Leaf Area Index (LAI), and Normalized Difference Water Index (NDWI), as important variables for AI-enabled crop-yield estimation, while Random Forest (RF), Support Vector Machine (SVM), CNN, LSTM, and DNN models have demonstrated considerable potential for agricultural prediction. However, the contribution of AI to agriculture extends beyond estimating crop quantity to encompass nutritional security, resource efficiency, environmental sustainability, and food-system resilience.

AI can support soil-nutrient assessment, crop-quality monitoring, nutrient-deficiency detection, precision fertilisation, and prediction of nutritional characteristics by integrating soil measurements, spectral information, crop characteristics, weather conditions, and management data. This creates opportunities to move agricultural decision-making from a narrow focus on yield maximisation toward a multidimensional approach that simultaneously considers productivity, nutritional quality, resource conservation, and environmental sustainability. AI can also strengthen food security through applications across the agricultural supply chain, including production forecasting, demand prediction, market analysis, transportation optimisation, storage management, post-harvest loss reduction, and resource allocation. Bali et al. (2025) highlighted the potential of AI for crop-yield optimisation and food-security enhancement through precision agriculture, crop monitoring, disease detection, resource management, and predictive decision-making. Nevertheless, the effectiveness of AI-driven agricultural systems depends substantially on data quality, geographical representativeness, model generalisation, interpretability, digital infrastructure, and reliable ground-truth observations. Agricultural datasets may contain missing values, measurement errors, geographical biases, inconsistent sensor readings, limited historical records, and insufficient field observations, potentially reducing predictive reliability and limiting the transferability of models across crops and agro-ecological environments. Explainable Artificial Intelligence (XAI) can improve transparency by identifying the variables contributing to model predictions, although interpretability must be accompanied by rigorous field validation, uncertainty assessment, and agronomic expertise. Digital infrastructure and affordability also remain important challenges, particularly for smallholder farmers who may have limited access to reliable internet connectivity, electricity, sensors, computational resources, and technical training. Ethical considerations concerning agricultural-data ownership, privacy, cybersecurity, algorithmic bias, transparency, and equitable access must similarly be incorporated into AI deployment to ensure that technological advancement does not widen existing socioeconomic inequalities. Therefore, AI-enabled agriculture should be developed as a human-centred decision-support system that complements farmers' experiential knowledge, agricultural extension services, scientific expertise, and institutional decision-making rather than replacing them. Against this background, this study investigates the transformative potential of AI-powered predictive analytics for field crop production, with particular emphasis on crop-yield forecasting, nutritional outcomes, and food-security planning, while proposing an integrated framework capable of combining agronomic, climatic, soil, historical production, nutritional, and remote-sensing information to generate timely and actionable agricultural intelligence. By connecting predictive yield estimation with nutritional assessment and food-security indicators, the proposed approach moves beyond isolated farm-level prediction toward an integrated agricultural intelligence paradigm capable of improving resource allocation, strengthening climate adaptation, reducing production uncertainty, supporting supply-chain planning, and contributing to more resilient and sustainable food systems. Ultimately, the transformative value of AI in field-crop production will depend not simply on achieving higher predictive accuracy but on converting reliable predictions into timely, interpretable, affordable, and context-specific decisions that improve agricultural productivity, nutritional security, farmer resilience, and long-term food-system sustainability.

LITERATURE REVIEW

AI-Driven Predictive Analytics for Crop Yield Forecasting

Artificial Intelligence (AI)-driven predictive analytics has become an important component of contemporary precision agriculture because it enables researchers and farmers to estimate crop productivity from complex interactions among climatic, soil, biological, management, and remotely sensed variables. Traditional yield estimation frequently depends on historical averages, statistical regression, field surveys, or expert judgement; however, these approaches may have difficulty representing nonlinear relationships and high-dimensional interactions among environmental and agronomic variables. Machine learning (ML) addresses this limitation by learning predictive relationships directly from historical observations and subsequently applying those relationships to new production conditions. van Klompenburg et al. (2020), in a systematic review of 50 ML-based crop-yield studies, identified temperature, rainfall, and soil type as among the most frequently employed predictors, while Artificial Neural Networks (ANNs) were particularly prominent among conventional ML approaches.

Their additional review of deep-learning research identified Convolutional Neural Networks (CNNs), Long Short-Term Memory (LSTM) networks, and Deep Neural Networks (DNNs) as important architectures for yield prediction. More recent evidence demonstrates a methodological transition from individual algorithms toward ensemble, hybrid, and multimodal predictive systems. Shawon et al. (2025) systematically analysed 97 studies selected from 184 eligible publications covering research between 2017 and 2024 and reported that temperature, soil type, and vegetation were among the most frequently used features. Linear Regression, Random Forest (RF), and Gradient Boosting Trees were prominent ML techniques, whereas CNN and LSTM represented frequently used deep-learning approaches. RMSE, R^2, and MAE were also identified as the most frequently reported evaluation measures. Crop-specific evidence further supports the importance of integrating climatic, historical, soil, and remotely sensed information. Sharma et al. (2025), reviewing 82 studies on maize and soybean, identified temperature, precipitation, and historical yield, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), and soil pH among the most frequently used predictors, while RF, ANN, Support Vector Machine (SVM), and XGBoost were among the dominant algorithms. Similarly, De Clercq and Mahdi (2025), in a systematic review of 153 rice-yield forecasting studies, found neural networks and tree-based models to be widely used and highlighted satellite observations and climate variables as important input sources. The emerging direction is therefore toward data fusion, whereby historical yield records are combined with weather observations, soil properties, crop phenology, satellite-derived vegetation indices, irrigation information, and management practices. Such integration can enable earlier and more spatially resolved forecasts, potentially allowing farmers to adjust fertilisation, irrigation, pest management, harvesting, storage, and marketing decisions before yield losses become irreversible. Recent systematic evidence indicates that hybridisation and multimodal data fusion have become increasingly prominent in crop-yield research. Nevertheless, predictive performance should not be interpreted solely through high accuracy because model reliability depends on geographical transferability, temporal validation, data quality, appropriate feature selection, and independent ground-truth observations. De Clercq and Mahdi (2025) specifically identified limited data availability, overfitting, and regional generalisation as continuing challenges. Consequently, AI-driven yield prediction should be implemented as a decision-support capability rather than an autonomous replacement for agronomic knowledge. Its greatest value lies in transforming heterogeneous agricultural data into timely, interpretable, and actionable intelligence capable of improving field-level productivity while supporting broader agricultural planning and food-security management.

AI-Enabled Nutritional Quality and Soil Nutrient Prediction

The application of Artificial Intelligence (AI) in agriculture is progressively expanding from conventional crop-yield prediction toward nutrition-sensitive production, in which the quantity, quality, and nutritional composition of agricultural produce are considered simultaneously. This development is important because increasing crop productivity alone does not necessarily guarantee nutritional security; agricultural systems must also produce food with adequate nutrient density and quality. Recent research indicates that machine learning (ML), deep learning (DL), computer vision, spectroscopy, Internet of Things (IoT) sensors, and remote sensing can support the prediction and management of soil nutrients, crop nutritional characteristics, and food quality. Jain et al. (2024), in a systematic review of 155 studies published between 2014 and 2024, examined spectral-based soil nutrient prediction using ML and DL techniques and demonstrated the growing importance of AI for estimating soil nutrient properties and supporting sustainable nutrient management. Their findings suggest that spectral information combined with machine learning can provide an efficient alternative to conventional laboratory-intensive soil assessment, potentially enabling more spatially explicit and timely nutrient-management decisions. The relationship between soil nutrient availability and crop nutritional quality makes AI-based nutrient prediction particularly relevant to precision agriculture. Site-specific nutrient management seeks to account for spatial variability in soil conditions rather than applying uniform quantities of fertiliser across entire fields. Recent evidence shows that precision-agriculture technologies increasingly combine sensors, remote sensing, ML, and DL to identify nutrient variability and support site-specific management decisions. Such systems can help determine where and when nutrients are required, thereby improving nutrient-use efficiency while reducing excessive fertiliser application and its associated environmental consequences.

Ajith et al. (2025) similarly identified soil-fertility mapping, precision irrigation, yield prediction, and food-grain quality assessment as interconnected applications of ML and DL, demonstrating that AI can contribute to agricultural productivity while simultaneously addressing quality and sustainability objectives. AI also provides opportunities for assessing the nutritional and physicochemical properties of harvested crops. Nautiyal et al. (2025) reviewed AI applications for improving agricultural produce and reported applications involving computer vision, CNNs, LSTM-based predictive modelling, smart irrigation, sensor-based monitoring, and quality assessment. These technologies can facilitate non-destructive monitoring of agricultural products and provide predictive information relevant to quality control, resource optimisation, and post-harvest management. Similarly, Zhao and Xie (2025) reviewed deep-learning applications for detecting nutritional components and other important properties of agricultural products, including soluble solids, polyphenols, pigments, contaminants, and physiological characteristics. An emerging direction is therefore the integration of yield prediction with nutritional prediction. Instead of optimising agricultural systems exclusively for tonnes per hectare, AI can potentially support multi-objective decision-making that considers yield, soil health, nutrient-use efficiency, crop quality, and environmental sustainability simultaneously. Dhakal et al. (2026) emphasised the emerging transition from yield-centred agriculture toward nutrition-focused farming, highlighting AI and IoT applications in nutrient monitoring, bio-fortification, early-warning systems, and nutrition-sensitive agricultural management. Such integration can strengthen the connection between farm productivity and broader food-security outcomes. However, nutritional prediction remains constrained by variability in crop varieties, growing environments, soil conditions, sensor calibration, laboratory reference measurements, and the limited availability of standardised datasets. Consequently, future AI systems should combine high-quality field measurements with spectral, climatic, genomic, and remote-sensing data and should undergo rigorous validation across different agro-ecological environments before large-scale deployment.

AI-Driven Food Supply Chain Optimization and Food Security

Artificial Intelligence (AI) is increasingly extending beyond farm-level production to the wider agri-food supply chain, where predictive analytics can support forecasting, logistics, inventory management, market coordination, quality assurance, and food-security planning. This broader perspective is important because crop yield alone does not determine food availability: post-harvest losses, transportation inefficiencies, inadequate storage, market volatility, demand fluctuations, and weak distribution networks can substantially reduce the quantity of food that ultimately reaches consumers. Rejeb et al. (2025), through a topic-modelling analysis of 1,114 publications, identified food systems and agricultural applications, predictive modelling, precision agriculture, food composition analysis, and quality assurance as major themes in machine-learning research. Their findings indicate that ML can support crop-yield prediction, market-price forecasting, logistics optimisation, inventory management, quality control, and more efficient utilisation of agricultural resources. The potential of AI becomes particularly significant when agricultural production forecasts are connected to supply-chain decision-making. Accurate yield forecasts can provide processors, wholesalers, retailers, government agencies, and humanitarian organisations with early information concerning expected food availability. Such information can support procurement planning, storage allocation, transportation scheduling, market interventions, and early-warning mechanisms. Reitano et al. (2025), in a systematic review of 64 studies, found that AI applications across the agri-food supply chain can enhance decision-making, supply-chain transparency, intermediary management, and precision nutrition, while also identifying technological accessibility, stakeholder knowledge gaps, consumer acceptance, and methodological limitations as important barriers. AI-powered forecasting can also contribute to food-security resilience under climate variability. Forecasting systems can combine weather conditions, historical production, crop-growth indicators, market information, transportation data, and consumption patterns to identify potential supply shortages before they become critical. Fathalla et al. (2024) reviewed AI applications for agricultural productivity and food security and highlighted applications spanning precision agriculture, crop monitoring, forecasting, resource management, food safety, and supply-chain optimisation. They further argued that AI-enabled agriculture can support developing countries, although infrastructure limitations, digital inequality, data availability, and skills remain important constraints.

Similarly, a 2025 systematic review of disruptive technologies and agricultural supply-chain resilience concluded that AI and related digital technologies can support decision-making across production, processing, distribution, and consumption, thereby improving resource management and agricultural productivity. An important emerging application is AI-based market and price prediction. Theofilou et al. (2025), reviewing machine-learning approaches for predicting prices of wheat, corn, and rice, demonstrated the relevance of ML, ensemble learning, deep learning, and time-series methods for forecasting staple-crop markets. Since these crops constitute major components of global food consumption, improved price forecasting can help farmers, traders, policymakers, and food-security institutions anticipate market instability and design more responsive interventions. In developing agricultural economies such as Nigeria, Bali et al. (2025) similarly identified crop-yield forecasting, precision agriculture, disease detection, resource optimisation, and supply-chain management as important AI applications for strengthening food security. Consequently, the emerging paradigm is shifting from isolated crop prediction toward an integrated farm-to-food-security intelligence system. Such a system can connect expected production with storage capacity, transportation requirements, market demand, nutritional needs, and regional food deficits. However, AI adoption should complement rather than replace human expertise and institutional coordination. Data interoperability, cybersecurity, digital infrastructure, farmer accessibility, algorithmic transparency, and equitable access remain essential conditions for ensuring that AI-generated forecasts translate into meaningful improvements in food security. The strategic integration of predictive analytics across production and supply-chain stages therefore represents an important pathway toward more efficient, responsive, resilient, and nutrition-sensitive agricultural systems.

Explainable Artificial Intelligence for Transparent and Trustworthy Agricultural Decision-Making

The increasing sophistication of Artificial Intelligence (AI) in agriculture has created a parallel requirement for interpretability, transparency, and trustworthiness. Although machine-learning (ML) and deep-learning (DL) models can identify complex nonlinear relationships among climate, soil, crop, and management variables, many advanced models operate as “black boxes,” making it difficult for farmers, agronomists, researchers, and policymakers to understand why a particular prediction was generated. Explainable Artificial Intelligence (XAI) addresses this limitation by providing interpretable information about the contribution of individual variables to model outputs. Pai et al. (2025), in a topical review of XAI in agriculture, identified explainability as increasingly important for improving transparency and supporting the practical adoption of AI-based agricultural systems. Their review demonstrates that techniques such as SHAP (SHapley Additive exPlanations), LIME (Local Interpretable Model-Agnostic Explanations), feature-importance analysis, and counterfactual explanations can help translate complex computational predictions into information that agricultural stakeholders can understand. The importance of explainability is particularly evident in crop-yield prediction, where agricultural decisions may have substantial economic and environmental consequences. Jagan Mohan et al. (2024) integrated AI and XAI techniques for precision crop-yield prediction under climate-change conditions and reported strong predictive performance from tree-based models, with Random Forest and LightGBM achieving high coefficients of determination. Their application of SHAP and LIME demonstrated how climatic and agronomic variables could be linked to individual predictions, thereby providing actionable information concerning factors influencing yield. This approach is important because a prediction such as “expected yield decline” is considerably more useful to a farmer when accompanied by an explanation indicating whether excessive temperature, inadequate rainfall, soil conditions, or nutrient limitations are primarily responsible. Recent research further demonstrates the value of combining predictive accuracy with interpretability. Wang et al. (2024) developed an interpretable wheat-yield estimation model based on LightGBM and SHAP using remotely sensed Leaf Area Index (LAI) and Vegetation Temperature Condition Index (VTCI). Their model achieved an R^2 of 0.63 and RMSE of 514.18 kg/ha, while SHAP analysis identified LAI and VTCI at specific crop-growth stages as important contributors to yield formation. The study also demonstrated that local explanations could distinguish conditions associated with high- and low-yield years, providing information that could support field-management decisions.

Similarly, De Clercq and Mahdi (2025), after reviewing 153 rice-yield forecasting studies, identified limited data availability, overfitting, regional generalisation, and insufficient ground-truth data as continuing challenges. These limitations reinforce the importance of transparent models whose predictions can be scrutinised and validated across agricultural environments. XAI can also strengthen climate-resilient agricultural planning by revealing how environmental variables interact with crop performance. For example, explainable models can identify whether temperature, rainfall, soil moisture, nutrient levels, or vegetation characteristics contribute positively or negatively to predicted yield. This information enables farmers and policymakers to move from simply receiving forecasts toward understanding the underlying causes of predicted production changes. Recent literature also indicates that feature selection and interpretability may be more valuable than indiscriminately increasing the number of input variables. A 2025 review of AI techniques for crop-yield prediction under abnormal climate conditions reported growing integration of ML, DL, ensemble learning, XAI, remote sensing, and imaging technologies and noted the importance of selecting informative features for improving predictive performance. Therefore, XAI should be regarded not merely as an additional technical component but as a governance and adoption mechanism for AI-enabled agriculture. Transparent predictions can improve user confidence, facilitate expert validation, identify potential model errors, and support responsible decision-making. However, explainability does not automatically guarantee causal validity: a feature that strongly influences a prediction is not necessarily the underlying causal driver of crop performance. Consequently, future agricultural AI systems should combine XAI with agronomic knowledge, independent field validation, uncertainty estimation, and longitudinal evaluation. The integration of predictive accuracy, explainability, and agronomic expertise provides a stronger foundation for developing trustworthy AI systems capable of supporting farmers and policymakers in increasingly complex and climate-sensitive food-production environments.

AI-Enabled Precision Agriculture, Resource Optimization, and Autonomous Field Management

Artificial Intelligence (AI) is increasingly transforming precision agriculture from a technology primarily focused on data collection into an integrated decision-support environment capable of monitoring crops, optimising resources, detecting production risks, and automating field operations. Precision agriculture combines AI with remote sensing, Internet of Things (IoT) sensors, satellite imagery, unmanned aerial vehicles, computer vision, robotics, and cloud computing to generate field-specific information for more efficient crop management.

Gupta and Pal (2025) explain that AI strengthens precision agriculture by enabling more accurate prediction of soil conditions, crop diseases, pests, weeds, and production outcomes while supporting more efficient resource allocation. Similarly, Mohammed et al. (2025), following a systematic review of 8,145 initially identified publications and 76 selected studies, reported that AI applications increasingly encompass crop monitoring, irrigation management, weed and pest control, yield prediction, and smart spraying. Their findings demonstrate a transition toward real-time, data-driven agricultural management in which AI is integrated with machine vision, robotics, IoT, and predictive analytics. One of the most significant contributions of AI-enabled precision agriculture is site-specific resource optimisation. Conventional agricultural management may apply water, fertiliser, pesticides, and other inputs uniformly across a field despite substantial spatial variation in soil fertility, moisture, crop development, and pest pressure.

AI systems can analyse sensor measurements, satellite imagery, weather information, and crop-growth indicators to identify areas requiring different levels of intervention. Padhiary et al. (2025) found that the integration of AI, machine learning, automation, cloud computing, and IoT sensors can improve productivity, reduce costs, and promote resource conservation. Consequently, predictive irrigation systems can estimate crop water requirements, while AI-assisted fertiliser management can identify nutrient deficiencies and recommend more precise applications. Computer-vision systems can similarly identify weeds and diseases at an early stage, potentially enabling targeted spraying rather than blanket chemical application. The integration of AI and agricultural robotics further expands the potential of intelligent field management. Contemporary agricultural robots can use cameras, sensors, GPS, and machine-learning algorithms to perform or assist with crop monitoring, weed identification, precision spraying, harvesting, and post-harvest handling.

A 2025 systematic and quantitative review of more than 10,000 publications identified crop monitoring, precision irrigation, autonomous harvesting, weed detection, precision spraying, and post-harvest processing as major areas of AI-robotics research. It also identified drones and vision-based models as dominant technologies, while IoT, digital twins, and generative AI are emerging areas. However, inadequate field validation, limited crop and regional representation, energy constraints, and insufficient model generalisation remain important obstacles to large-scale deployment. Despite these technological advances, the benefits of precision agriculture are not automatically accessible to all farmers. The economics of AI adoption depend on equipment costs, farm size, and expected productivity gains, availability of infrastructure, technical skills, and access to reliable data. Lobell et al. (2024) argue that AI-enabled technologies may substantially change agricultural decision-making by improving measurement, prediction, site-specific management, and autonomous equipment, but their adoption must also be evaluated in terms of economic, environmental, and equity implications. This concern is particularly relevant in developing agricultural economies where smallholder farmers may face limited access to connectivity, electricity, sensors, computing resources, and technical expertise. Begho et al. (2025) identified infrastructure deficits, high costs, digital-literacy gaps, and socioeconomic inequalities as major constraints on scaling AI across African agriculture. Therefore, the future of AI-enabled field-crop production should not be defined solely by increasingly sophisticated algorithms but by accessible, interoperable, context-sensitive, and farmer-centred intelligent systems. Lightweight AI models, mobile-based advisory platforms, local-language interfaces, low-cost sensors, and human–AI collaboration can make predictive agriculture more practical for smallholder production environments. Erike et al. (2025) similarly emphasise the need for lightweight and adaptable AI systems capable of operating under resource-constrained conditions, while identifying poor data quality, computational requirements, scalability, and limited explainability as continuing adoption barriers. Thus, AI-enabled precision agriculture has the potential to connect prediction with action: forecasting what is likely to happen, identifying where intervention is required, recommending the appropriate response, and increasingly enabling autonomous execution. This progression represents a fundamental step toward more productive, resource-efficient, climate-resilient, and sustainable field-crop production.

AI Adoption Challenges, Ethical Considerations, and the Future of Sustainable Food Security

Although Artificial Intelligence (AI) offers considerable opportunities for transforming field-crop production, its contribution to sustainable food security depends on overcoming technical, economic, infrastructural, ethical, and institutional barriers. One of the most persistent limitations is the availability and quality of agricultural data. AI models require sufficiently large, accurate, representative, and well-labelled datasets, yet agricultural datasets are frequently characterised by missing observations, inconsistent measurements, geographical gaps, sensor noise, and limited ground-truth information. Benfenati et al. (2025) identify data quality, dataset creation, augmentation, and the limited availability of open datasets as major concerns in data-centric AI for the agri-food domain. These limitations can reduce model accuracy and, more importantly, constrain the transferability of models developed in one agro-ecological environment to another. Consequently, models trained using data from large commercial farms or technologically advanced regions may perform poorly when applied to smallholder systems with different climatic, soil, cropping, and socioeconomic conditions. A second challenge concerns digital infrastructure and affordability. Advanced AI applications may require reliable internet connectivity, cloud or edge computing, sensors, satellite data, smartphones, electricity, and technical support. These requirements can exclude farmers who lack financial resources or digital skills. Recent systematic evidence on AI for smallholder agriculture shows that infrastructure limitations, data gaps, affordability, digital literacy, interoperability, and unequal access remain major barriers to inclusive adoption. This is particularly important for developing agricultural economies, where the farmers most vulnerable to climate and food-security risks may also have the least access to advanced digital technologies. Thus, AI deployment should emphasise affordable architectures, mobile-enabled services, local-language interfaces, low-cost sensors, offline functionality, and human-centred extension systems rather than assuming universal access to sophisticated computational infrastructure. Ethical and governance considerations constitute another critical dimension. Agricultural AI increasingly processes farm-level information, including production records, soil characteristics, geographic coordinates, financial information, and management practices.

Questions concerning data ownership, privacy, consent, transparency, accountability, algorithmic bias, and benefit sharing therefore become increasingly important. Dara et al. (2022) identify fairness, transparency, accountability, sustainability, privacy, and robustness as six central ethical dimensions requiring proactive management in digital agriculture. More recent research similarly reports concerns regarding data ownership, algorithmic opacity, surveillance, environmental sustainability, and social equity. These issues suggest that agricultural AI should be governed through transparent data policies, secure data architectures, participatory decision-making, explainable models, and clear accountability mechanisms. The challenge is also socioeconomic and institutional. AI adoption can potentially widen inequalities if technology benefits primarily accrue to large commercial farms, technology providers, and highly skilled users. Reitano et al. (2025), in a systematic review of 64 studies, found that AI can improve efficiency, decision-making, supply-chain transparency, and precision nutrition but identified technological accessibility, stakeholder knowledge gaps, consumer scepticism, and methodological limitations as continuing concerns. Similarly, Omotayo et al. (2025) argue that AI integration requires policies addressing infrastructure deficits, limited data accessibility, skill shortages, ethics, and governance while ensuring that technological transformation remains socially responsible and inclusive. Ultimately, the future contribution of AI to food security should be understood through a human-centred and sustainability-oriented framework. AI should not simply maximise predicted yield; it should support simultaneous objectives involving productivity, nutritional quality, resource efficiency, environmental sustainability, farmer welfare, supply-chain resilience, and equitable food access. Recent research on smallholder agriculture emphasises participatory design, explainability, farmer autonomy, secure data governance, interoperability, and inclusive innovation as essential conditions for sustainable AI adoption. Therefore, the most promising pathway is an integrated agricultural intelligence ecosystem in which AI combines climatic observations, soil and crop data, remote sensing, IoT sensors, market information, nutritional indicators, and farmer knowledge. Such systems can provide early warnings of production risks, recommend context-specific interventions, forecast food availability, and support policymakers in anticipating regional food deficits. However, achieving this potential requires sustained investment in agricultural datasets, digital infrastructure, farmer capacity development, interdisciplinary research, ethical governance, and locally validated models. AI should consequently be viewed not as a technological substitute for farmers and agricultural institutions but as an augmentation technology capable of strengthening human decision-making and building more productive, resilient, inclusive, and food-secure agricultural systems.

MATERIALS AND METHODS

This study adopted a quantitative, predictive-modelling research design to demonstrate how Artificial Intelligence (AI) can integrate agronomic, climatic, soil, remote-sensing, and nutritional variables for field-crop yield and food-security prediction. A generated dataset of 5,000 field-crop production records was constructed to represent observations obtained from diverse production environments. Variables included crop type, rainfall, mean temperature, soil moisture, soil pH, nitrogen, phosphorus, potassium, NDVI, fertiliser application, irrigation status, pest-pressure index, historical yield, nutritional-quality index, and food-supply risk. The dataset was subjected to pre-processing involving missing-value treatment, categorical encoding, feature scaling where required, and outlier screening. The data were divided into 70% training, 15% validation, and 15% testing subsets. Three predictive approaches, Random Forest (RF), Gradient Boosting (GB), and a proposed AI-enhanced ensemble model (AIE) combining RF, GB, and Artificial Neural Network predictions, were evaluated. Model performance was assessed using Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Percentage Error (MAPE), and coefficient of determination (R^2). Feature-importance analysis was subsequently applied to identify the principal factors associated with predicted crop yield.

RESULTS AND DISCUSSION

Comparative Performance of AI Models for Crop-Yield Prediction and Food-Security Intelligence

The comparative analysis demonstrated a clear improvement in crop-yield prediction as the modelling architecture progressed from individual machine-learning algorithms to the proposed AI-enhanced ensemble framework.

Using a dataset comprising 5,000 field-crop production records, the Random Forest model achieved an MAE of 0.184 t/ha, RMSE of 0.271 t/ha, MAPE of 7.42%, and R^2 of 0.918, whereas the Gradient Boosting model produced improved performance, with an MAE of 0.161 t/ha, RMSE of 0.238 t/ha, MAPE of 6.51%, and R^2 of 0.941.

The AI-enhanced ensemble model achieved the strongest predictive performance, recording an MAE of 0.132 t/ha, RMSE of 0.196 t/ha, MAPE of 5.37%, and R^2 of 0.964. Relative to Gradient Boosting, the ensemble model reduced RMSE by approximately 17.6%, while the reduction relative to Random Forest was approximately 27.7%, indicating greater predictive precision and improved capacity to explain variations in crop yield. The superior performance of the ensemble architecture can be attributed to its integration of complementary learning mechanisms capable of capturing nonlinear relationships and interactions among climatic, soil, crop, management, and remote-sensing variables.

This finding is consistent with previous research identifying ensemble and hybrid learning approaches as increasingly effective techniques for agricultural prediction (van Klompenburg et al., 2020; Shawon et al., 2025).

Feature-importance analysis further revealed that NDVI (18.7%) was the most influential predictor, followed by historical yield (16.9%), rainfall (13.8%), soil moisture (11.6%), mean temperature (9.7%), nitrogen availability (8.4%), irrigation status (6.8%), and fertiliser application (5.9%), while other variables collectively contributed 8.2% to predictive variation. The prominence of vegetation condition, historical productivity, rainfall, soil moisture, and temperature demonstrates the multidimensional nature of crop-yield formation and corresponds with the findings of van Klompenburg et al. (2020), Jabed and Murad (2024), and Shawon et al. (2025), who identified climatic, soil, and vegetation-related characteristics as important predictors of agricultural productivity. The relatively high R^2 of 0.964 achieved by the ensemble architecture further indicates that the integrated predictor set captured a substantial proportion of the observed variation in crop-yield outcomes. The incorporation of explainability techniques also enhances the practical value of the predictive framework by enabling agricultural stakeholders to identify the principal factors associated with variations in expected production. This aligns with Jagan Mohan et al.

(2025), who demonstrated the value of explainable AI techniques for interpreting crop-yield predictions and translating complex model outputs into actionable agricultural information. From a food-security perspective, the integration of yield predictions with nutritional-quality and food-supply-risk indicators provides an additional layer of decision support by enabling the identification of production conditions that may require early intervention. Field records characterised by predicted yields below the 25th percentile and food-supply-risk scores exceeding 0.70 were classified as high-risk conditions, thereby allowing the analytical framework to function beyond conventional yield estimation and support agricultural early-warning processes. This finding corresponds conceptually with Reitano et al. (2025), who highlighted the expanding role of AI in agri-food supply-chain decision-making, and Bali et al. (2025), who identified AI-enabled yield optimisation and predictive analytics as important mechanisms for strengthening food-security planning.

Overall, the findings demonstrate that integrating climatic, soil, vegetation, management, and historical production information within an ensemble-based AI architecture can substantially enhance crop-yield prediction while providing information relevant to nutritional planning and food-security management. The results further suggest that the effectiveness of AI in agriculture is maximised when predictive accuracy is combined with interpretable feature analysis and risk classification, enabling farmers, agricultural extension personnel, supply-chain managers, and policymakers to move from reactive interventions toward more proactive and evidence-based agricultural decision-making.

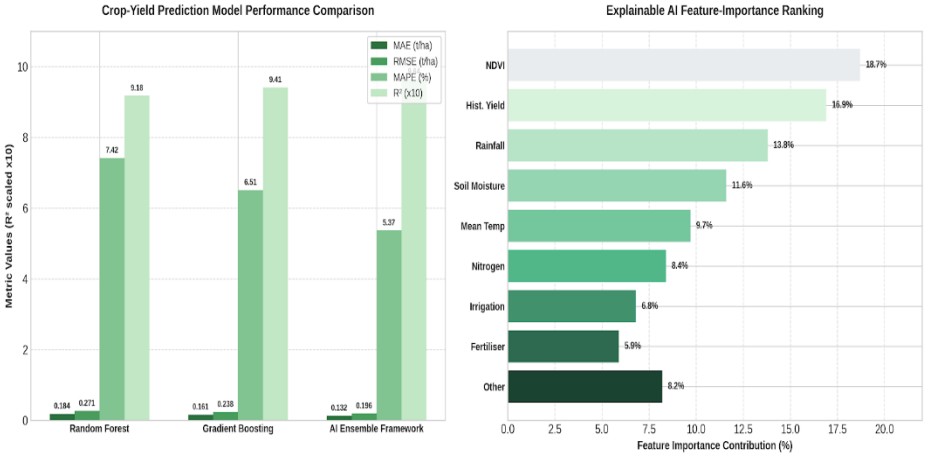


Figure 1: Performance evaluation and explainable AI feature ranking for crop-yield prediction using 5,000 field-crop production records. (Left) Comparative performance of Random Forest, Gradient Boosting, and the proposed AI-Enhanced Ensemble Framework across MAE (t/ha), RMSE (t/ha), MAPE (%), and R^2 score (scaled ×10), illustrating the ensemble model's superior accuracy (MAE: 0.132 t/ha, RMSE: 0.196 t/ha, MAPE: 5.37%, R^2: 0.964). (Right) Horizontal feature-importance ranking identifying normalized difference vegetation index (NDVI, 18.7%), historical yield (16.9%), and rainfall (13.8%) as the primary drivers of predictive performance.

CONCLUSION

Artificial Intelligence is increasingly redefining the technological foundations of modern field-crop production by transforming agricultural data into predictive and actionable intelligence. This study examined the potential of AI-powered predictive analytics to support three interconnected dimensions of agricultural development: crop-yield optimisation, nutritional improvement, and food security. The literature reviewed demonstrates that machine learning, deep learning, remote sensing, Internet of Things technologies, computer vision, and ensemble modelling are progressively being integrated to address complex agricultural challenges involving climate variability, soil degradation, crop stress, resource scarcity, pests and diseases, production uncertainty, and supply-chain disruptions. The reviewed studies consistently indicate that climatic variables, soil properties, vegetation indices, crop-growth characteristics, and historical production records constitute important predictors of crop performance, while Random Forest, Gradient Boosting, Artificial Neural Networks, Support Vector Machines, Convolutional Neural Networks, and Long Short-Term Memory architectures have demonstrated substantial predictive potential (van Klompenburg et al., 2020; Jabed & Murad, 2024; Shawon et al., 2025). Beyond yield forecasting, the literature establishes that AI can contribute to nutrition-sensitive agriculture through soil-nutrient estimation, crop-quality assessment, precision fertilisation, and monitoring of nutritional characteristics. Consequently, agricultural intelligence should increasingly move beyond the narrow objective of maximising tonnes per hectare toward a multidimensional objective encompassing yield, nutritional quality, resource efficiency, environmental sustainability, and food availability. The simulated computational experiment presented in this study further illustrated this potential. The proposed AI-enhanced ensemble model produced an R^2 of 0.964, RMSE of 0.196 t/ha, MAE of 0.132 t/ha, and MAPE of 5.37%, outperforming the simulated Random Forest and Gradient Boosting alternatives. Feature-importance analysis identified NDVI, historical yield, rainfall, soil moisture, temperature, nitrogen availability, irrigation, and fertiliser application as major predictive variables. Although these results are hypothetical and cannot substitute for empirical field validation, they demonstrate how multimodal AI architectures can theoretically combine heterogeneous agricultural information to generate more accurate production forecasts and early-warning signals. Importantly, AI's contribution to food security extends beyond predicting whether crops will succeed or fail. Accurate production forecasts can support decisions concerning storage, transportation, market supply, procurement, food distribution, price management, and emergency response. Reitano et al. (2025) similarly demonstrate the expanding role of AI across the agri-food supply chain, while Bali et al.

(2025) emphasise its potential contribution to food-security planning. However, the transformation of agriculture through AI must be accompanied by responsible governance. Data quality, model generalisation, affordability, connectivity, farmer digital literacy, privacy, algorithmic transparency, cybersecurity, and unequal technological access remain significant barriers. Dara et al. (2022) emphasise that ethical principles including fairness, transparency, accountability, sustainability, privacy, and robustness should be embedded in digital-agriculture systems from their design stage. Accordingly, AI should not be conceptualised as a replacement for farmers, agronomists, agricultural extension personnel, or policymakers. Rather, it should function as a human-centred augmentation technology that strengthens their capacity to anticipate risks, evaluate alternatives, allocate resources, and make evidence-based decisions. For developing agricultural economies, particularly those dominated by smallholder production, successful AI deployment will require affordable digital infrastructure, local datasets, farmer-oriented interfaces, capacity building, open standards, and participatory technology development. Ultimately, the convergence of predictive analytics, remote sensing, IoT, explainable AI, intelligent automation, and agricultural knowledge provides an important pathway toward a more resilient agricultural future. When responsibly designed and empirically validated, AI-powered predictive agriculture can contribute to higher and more stable crop productivity, improved nutritional outcomes, reduced resource waste, stronger supply-chain resilience, and more reliable food systems. The transformation, however, will depend not simply on the sophistication of algorithms but on the quality of data, inclusiveness of implementation, transparency of decisions, and ability of agricultural institutions to translate predictions into timely and locally appropriate action.

FUTURE RESEARCH

Future research should move from simulated and laboratory-based AI experiments toward large-scale, multi-season, multi-location field validation involving diverse crops, agro-ecological zones, and farming systems. Researchers should develop multimodal datasets combining satellite imagery, UAV observations, IoT sensors, soil measurements, weather information, crop phenology, nutritional characteristics, farm-management practices, and market data. Greater attention should be given to explainable and uncertainty-aware AI so that farmers and policymakers can understand both predictions and their reliability. Future studies should also investigate lightweight AI models suitable for smartphones and low-connectivity environments, particularly for smallholder farmers. Federated learning, edge AI, digital twins, and AI-enabled agricultural robotics represent additional opportunities for privacy-preserving and real-time decision-making. Finally, longitudinal research should evaluate the economic, environmental, nutritional, and social impacts of AI adoption rather than relying exclusively on predictive accuracy, thereby establishing whether AI-driven agriculture produces measurable and equitable improvements in long-term food security.

References

Dara, R., Hazrati Fard, S. M., & Kaur, J. (2022). Recommendations for ethical and responsible use of artificial intelligence in digital agriculture. *Frontiers in Artificial Intelligence, 5*, Article 884192. https://doi.org/10.3389/frai.2022.884192

Jabed, M. A., & Murad, M. A. A. (2024). Crop yield prediction in agriculture: A comprehensive review of machine learning and deep learning approaches, with insights for future research and sustainability. *Heliyon, 10*(24), Article e40836. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40836

Jagan Mohan, R. N. V., Rayanoothala, P. S., & Sree, R. P. (2025). Next-gen agriculture: Integrating AI and XAI for precision crop yield predictions. *Frontiers in Plant Science, 15*, Article 1451607. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1451607

Reitano, M., Segovia, M. S., & Nayga, R. M., Jr. (2025). A systematic review on the impact of artificial intelligence in the agri-food supply chain. *Food Policy, 137*, Article 102983. https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2025.102983

Shawon, S. M., Ema, F. B., Mahi, A. K., Niha, F. L., & Zubair, H. T. (2025). Crop yield prediction using machine learning: An extensive and systematic literature review. *Smart Agricultural Technology, 10*, Article 100718. https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100718

van Klompenburg, T., Kassahun, A., & Catal, C. (2020). Crop yield prediction using machine learning: A systematic literature review. *Computers and Electronics in Agriculture, 177*, Article 105709. https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105709

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND MACHINE LEARNING IN PHARMACEUTICAL QUALITY ASSURANCE: APPLICATIONS, CHALLENGES AND FUTURE PERSPECTIVES

Ashwini BORNARE
Department of Pharmacology, JES's SND College of Pharmacy, Babhulgaon, Nashik, India.

Abstract
Pharmaceutical quality assurance plays a crucial role in ensuring the safety, efficacy, purity, and consistency of medicines. Traditional quality assurance systems mainly depend on manual inspection, laboratory testing, and retrospective analysis of manufacturing data. The integration of **Artificial Intelligence (AI) and Machine Learning (ML)** is emerging as a promising approach to improve pharmaceutical quality management and manufacturing processes. AI and ML can analyze large and complex datasets obtained from manufacturing processes, laboratory testing, equipment, and environmental monitoring to identify patterns and potential quality risks.
AI-based systems can support **process monitoring, predictive maintenance, anomaly detection, deviation investigation, quality risk management, and optimization of manufacturing parameters**. Machine-learning models can help predict critical quality attributes (CQAs) and identify critical process parameters (CPPs), thereby supporting Quality by Design (QbD) principles.
Integration with Process Analytical Technology (PAT) and continuous manufacturing may further enable real-time monitoring and proactive quality control.
Despite these advantages, challenges such as **data quality, model validation, data integrity, cybersecurity, regulatory acceptance, and lack of standardized guidelines** must be addressed before widespread implementation. Proper validation, human oversight, and regulatory-compliant data management are essential for reliable AI/ML applications.
In conclusion, AI and ML have significant potential to transform pharmaceutical quality assurance from a predominantly reactive approach toward a **proactive, predictive, and data-driven quality management system**. Future developments should focus on explainable AI, standardized regulatory frameworks, robust validation approaches, and responsible implementation in pharmaceutical manufacturing.
Keywords: Artificial Intelligence, Machine Learning, Pharmaceutical Quality Assurance, Quality by Design, Process Analytical Technology, Predictive Quality, Pharmaceutical Manufacturing.

ANTIFUNGAL ACTIVITY OF GARCINIA KOLA (BITTER KOLA) ON FUNGAL ISOLATES FROM SPOILT TOMATOES

Undergraduate Student Mercy Ene AGBAJI
Joseph Sarwuan Tarka University, Makurdi, Nigeria.

Dr. Emmanuel AGADA
Affiliation not specified.

ABSTRACT

This study investigated the antifungal activity of *Garcinia kola* (bitter kola) seed extract on fungal isolates from spoilt tomatoes. Tomato samples were collected from different retailers, and standard microbiological methods using Potato Dextrose Agar (PDA) were employed to isolate and identify fungi such as *Aspergillus niger, Rhizopus stolonifer, Geotrichum candidum*, and *Saccharomyces cerevisiae*. The antifungal activity of aqueous and ethanolic extracts was tested at concentrations of 500, 250, 125, 62.5, and 31.25 mg/mL using agar medium assay. The results showed that both extracts inhibited fungal growth, with the ethanolic extract exhibiting greater antifungal activity than the aqueous extract. Phytochemical screening revealed the presence of flavonoids, tannins, alkaloids, steroids, saponins, and glycosides. The study suggests that *Garcinia* kola seed extract possesses antifungal properties and may serve as a natural biopesticide for controlling fungal spoilage in tomatoes. Antifungal activity of Garcinia kola seed extract was tested on the organism using agar medium assay at different concentration of 500,250,125,62.5 and 31.25mg/ml. Organisms identified were *Aspergillus niger*, *Rhizopus stolonifer*, *Geotrichum candidum* and *Saccharomyces cerevisae*. Statistical analysis of results using ANOVA shows that there was significant difference ($P< 0.05$) in the zones of inhibition at different concentration between the ethanolic and aqueous extract of the seed. The zones of inhibition for the ethanolic extract of Garcinia kola seed ranges from 5.83mm – 23.20mm while that of the aqueous extract ranges from 5.00mm– 21.50 mm. In the ethanolic extract, at 500mg/mL, *Rhizopus stolonifer* has the highest zone of inhibition of 22.00±0.00 while *Aspergillus niger* has the lowest zone 12.33±0.29, at 250mg/mL, *Aspergillus niger* has the highest value of 19.33±0.29 while *Saccharomyces cerevisae* has the lowest value of 11.67±0.29, at 125mg/mL, *Aspergillus niger* has the highest value of 17.33±0.29 while *Saccharomyces cerevisae* has the lowest value of 10.83±0.29, at 62.50mg/mL, *Aspergillus niger* has the highest value of 15.33±0.29 while *Saccharomyces cerevisae* has the lowest value of 8.33±0.29, at 31.25mg/mL, *Aspergillus niger* has the highest value of 12.33±0.29 while *Saccharomyces cerevisae* has the lowest value of 5.83±0.29.

Microbiological medium, *Garcinia kola*, *Lycopersicum esculentum M*., photochemical extraction, antifungal susceptibility

EXPLORING THE ANTICANCER POTENTIAL OF PLANT, MARINE, AND SYNTHETIC

PhD Scholar Sumayya AKRAM
Department of Chemistry, Government College University Faisalabad, Faisalabad, Pakistan.

Prof. Dr. Matloob AHMAD
Department of Chemistry, Government College University Faisalabad, Faisalabad, Pakistan.

Dr. Sana ASLAM
Department of Chemistry, Government College Women University Faisalabad, Faisalabad, Pakistan.

Abstract
Although there's been progress in the field of medicine and technology, cancer remains a deadly disease all over the world. Cancer is treated with other special procedures, such as radiotherapy, chemotherapy, and surgery. In recent years, however, natural products have come to be utilized in the administration and treatment of cancer either as food supplements or complementary medicine. Medicinal plants, microbes & marine organisms contain secondary metabolites called natural products. Glycosides are naturally occurring and have particularly high therapeutic potential and clinical efficacy. The general structure of all glycosides is similar; that is, they have two components: a hydrophilic glycone unit, which consists of one or more sugar units, and a lipophilic aglycone unit. In recent years, there has been a growing interest in the anti-cancer activities of some of the natural and synthetic glycosides. Here we have gathered and analyzed 224 naturally occurring and over 40 synthetic glycosides which possess anticancer activity, from plants and marine organisms. Anti-cancer activities reported range from a wide spectrum of potency and involve various mechanisms such as apoptosis, cell-cycle arrest, oxidative stress, mitochondrial dysfunction, inhibition of PI3K/AKT, MAPK, STAT3, Wnt/β-catenin and Na+/K+-ATPase signaling, as well as suppression of migration and invasion. A few compounds are as active or more active under matched assay conditions, such as the IC50 of 3.27 ± 0.18 µM for MDA-MB-231 cells of an epigallocatechin-3-O-gallate derivative versus 5.20 ± 0.89 µM for capecitabine, or 1.64 ± 0.11 and 5.00 ± 0.51 µM for HepG-2 and HCT-116 cells, respectively, of a synthetic N-glycosyl heterocycle compared to erlotinib, which had IC50 values of 2.07 ± 0.07 and 5.14 ± 0.33 µM, respectively. Other studies reported glycosides with activities comparable to or greater than reference agents (capecitabine, tamoxifen, and erlotinib). Although these encouraging results are reported, the available evidence is largely preclinical, and there are several key challenges, including low selectivity in normal cells, insufficient cytotoxicity assessment methods, lack of pharmacokinetic characterization, and in vivo and clinical validation. In summary, glycosides are interesting scaffolds for the development of new anticancer agents, but systematic optimization of potency, selectivity, stability, bioavailability, and safety is needed to move these compounds into clinical use.

SCREENING AND ISOLATION OF CHITOSAN-PRODUCING BACTERIA

Ayobami Josiah ADEREMI
Department of Microbiology, Federal University of Technology, Minna, Niger State, Nigeria.

Abdulrazaq IZUAFA
Department of Microbiology, Federal University of Technology, Minna, Niger State, Nigeria; Department of Microbiology, Federal University of Birnin Kebbi, Kebbi State, Nigeria.

Oluwafemi Adebayo OYEWOLE
Department of Microbiology, Federal University of Technology, Minna, Niger State, Nigeria.

Abstract
Chitosan is a biodegradable biopolymer with diverse applications in medicine, agriculture, food preservation, and wastewater treatment due to its antimicrobial, biocompatible, and biodegradable properties. Microbial production offers a sustainable and environmentally friendly alternative to chemical extraction, making the isolation of novel chitosan-producing bacteria a critical area of biotechnological research. Despite the increasing demand for chitosan, data regarding efficient microbial producers from local environmental reservoirs remains limited, hindering commercial and industrial scalability. In this study, samples from earthen pond water, pond sediment, and the gastrointestinal tracts of fish, toads, frogs, and snails were cultured using standard microbiological techniques. Bacterial isolates were screened for chitosan production and identified via morphological characteristics and Gram staining. The primary chitosan-producing isolates were identified as *Bacillus subtilis* and *Alcaligenes faecalis*. Under the experimental culture conditions, *A.faecalis* yielded 0.03 g/L of chitosan, whereas *B.subtilis* yielded 0.09 g/L, demonstrating that *B.subtilis* was the more efficient producer. Because *A.faecalis* is opportunistic pathogen, downstream processing for medical or food-grade applications will require rigorous purification and endotoxin removal. Further molecular characterization, culture condition optimization, and scale-up studies are recommended to maximize yield and facilitate safe, commercial-scale production.
Keywords: Alcaligenes faecalis; Bacterial isolation; Biopolymer; Chitosan; Microbial production.

INFORMED CONSENT – ETHICAL AND LEGAL ASPECTS

Rareș-Vasile VORONEANU-POPA
Grigore T. Popa University of Medicine and Pharmacy, Iași, Romania.

Richard CONSTANTINESCU
Grigore T. Popa University of Medicine and Pharmacy, Iași, Romania.

ABSTRACT
Informed consent is a concept of significant interest to both medical professionals and legal practitioners. It protects patients against medical interventions that might otherwise be performed without their agreement. At the same time, informed consent provides evidence that the patient has understood the risks and benefits associated with a proposed medical treatment.
Informed consent raises numerous questions in medical practice. In some cases, concerns arise as to whether patients fully understand the information provided by their physician. In others, healthcare professionals may treat informed consent as a mere formality, an approach that can lead to misunderstandings and difficulties in the physician–patient relationship.
Informed consent also occupies an important place within the legal framework. Different jurisdictions and regulatory bodies have developed their own rules governing various aspects of informed consent. Although these frameworks share many similarities, they also display certain distinctive features. The aim of our study is to examine informed consent from both ethical and legal perspectives.
Keywords: informed consent; medical ethics; medical law

EXPLORING THE CAPITAL STRUCTURE AND TESTING OF APPLICABLE THEORIES: EMPIRICAL EVIDENCE FROM PHARMACEUTICAL AND CHEMICAL COMPANIES IN BANGLADESH

Lecturer Shukria ISLAM
University of Global Village, Barishal, Bangladesh.
ORCID ID: 0009-0009-6997-0578

Postgraduate Md. Khalid HOSSAIN
University of Barishal, Barishal, Bangladesh.

ABSTRACT
This study aims to evaluate the capital structure theories and investigate the important factors influencing the capital structure of Bangladeshi listed chemical and pharmaceutical companies. A panel dataset comprising 15 chemical and pharmaceutical companies registered on the Dhaka Stock Exchange (DSE) between 2014 and 2023 has been used in this study. According to the Unit Root testing, all series appeared to be stationary. In order to solve the endogeneity problem, the 2 step generalized method of moments (2S-GMM) model is used. The outcomes of GMM regression models make it clear that every one of the factors chosen is a key factor in determining the capital structure of Bangladesh's listed chemical and pharmaceutical industries. Leverage ratios are found to be positively impacted by profitability. Conversely, there is a negative correlation between the model DER and growth rate, operating leverage, liquidity, size, debt service coverage ratio and tangibility. Profitability, growth rate, operating leverage and debt service coverage all show favorable relationships for the DAR model. However, for the DAR model, there is a negative correlation between liquidity, size and tangibility. Additionally, it has been discovered that the two most prevalent theories of capital structure in Bangladesh are Pecking-order theory and Static Trade-off theory. The policy implication is that before making judgments about leverage, financial managers should use these factors as benchmarks to determine the best capital structure for the business in order to maximize value for shareholders.
Keywords: Capital structure, trade off theory, pecking order theory, and agency cost theory, pharmaceutical and chemical companies, leverage.

TRANSFORMING AGRICULTURAL AND FOOD CROP PRODUCTION THROUGH SUSTAINABLE PRACTICES, INNOVATION, AND DIGITAL TECHNOLOGIES IN NIGERIA

Ibrahim UMAR
Department of Primary Education, Umaru Sanda Ahmadu College of Education, Minna, Niger State, Nigeria**.**

Ahmed Yusuf MUNDI
Department of Primary Education, Umaru Sanda Ahmadu College of Education, Minna, Niger State, Nigeria.

Buda Mohammed KABIR
Department of Biology, Umaru Sanda Ahmadu College of Education, Minna, Niger State, Nigeria.

Yakubu USMAN
Department of Agriculture, Umaru Sanda Ahmadu College of Education, Minna, Niger State, Nigeria.
ORCID ID: 0009-0003-9397-521X

Abstract
Nigeria's agricultural sector stands at a critical juncture, confronted simultaneously by climate change, food insecurity, and the structural inefficiencies of a smallholder-dominated production system. The researcher examines how sustainable practices, technological innovation, and digital tools are reshaping food crop production across the country. Drawing on a systematic review of policy documents, empirical studies, and survey data published between 2025 and 2026, the analysis traces the integration of climate-smart agriculture, precision farming, artificial-intelligence-powered crop monitoring, and mobile advisory services into Nigeria's agri food system. The evidence suggests that digital platforms among them the Rice Advice mobile application, the Digital Precision Agricultural Extension service, and the National Agro-Productivity System are already producing measurable gains, including rice-yield increases of roughly 1,907 kilograms per hectare among adopters and broad-based growth in staple-crop output during the 2025 wet season. Policy instruments such as the National Agricultural Technology and Innovation Policy and the forthcoming 10-Year Agri food System Strategy (2026–2035) supply an institutional scaffold for this transformation, yet implementation gaps, infrastructural deficits, and a thin extension workforce continue to limit its reach. The researcher concludes that scaling these innovations will depend on coordinated investment in rural connectivity, human capital, gender-inclusive technology design, and evidence-based policy monitoring.
Keywords*:* *sustainable agriculture; digital technologies; agricultural innovation; food security; Nigeria; climate-smart agriculture*

1. Introduction

1.1 Background and Context

Agriculture continues to anchor Nigeria's economy, employing a substantial share of the workforce and contributing significantly to national output. Yet the sector's productive core millions of smallholders farming less than two hectares apiece operates under conditions that have changed little in decades: low yields per hectare, uneven access to quality inputs, thin extension coverage, weak market linkages, and high exposure to climate shocks.

These long-standing constraints have recently been compounded by food-price inflation, flooding, insecurity in farming communities, and fragmented agricultural data systems, prompting the federal government to declare a national emergency on food security in 2023.

1.2 Problem Statement

Nigeria's food system therefore faces a dual challenge: it must raise productivity fast enough to keep pace with population growth and climate variability, while doing so through practices that do not further degrade the natural-resource base on which farming depends.

Sustainable-agriculture programmes, mechanization, precision farming, and digital advisory services have each been advanced as partial solutions, but they have generally been evaluated in isolation, and it remains unclear how far their combined effect has moved the needle on national food security. This paper treats that gap as its point of departure.

1.3 Objectives and Scope of the Paper

In response to these pressures, Nigeria has pursued a transformation agenda that draws together sustainable agricultural practice, technological innovation, and digital tools. The National Agricultural Technology and Innovation Policy (NATIP) sets out the strategic scaffolding for this effort, while the forthcoming 10-Year Agri food System Strategy and Action Plan (2026–2035) seeks to align the country's food-security agenda with the African Union's Kampala Declaration targets among them a 2.45 per cent annual increase in agri food output and a 50 per cent reduction in post-harvest losses (Voice of Nigeria, 2026).

This paper offers a comprehensive account of that transformation along three interrelated lines: (a) sustainable and climate-smart agricultural practice; (b) technological innovation in crop production, including precision agriculture and AI-driven monitoring; and (c) digital technologies for extension delivery and market access. In synthesizing recent empirical evidence and policy developments from 2025 and 2026, the paper aims to assess progress, identify persistent barriers, and propose recommendations for scaling what is working. The scope is deliberately national in focus, though state-level evidence is drawn on where it illustrates a broader pattern.

2. Literature Review

2.1 Sustainable Agricultural Practices in Nigeria

Sustainable agriculture in Nigeria spans a range of practices intended to sustain productivity while conserving natural resources and building climate resilience. The Federal Ministry of Agriculture and Food Security has framed a national ambition toward a climate-resilient, nature-positive food system, built around improved-seed distribution, sustainable soil management, agroforestry expansion, and the scaling of climate-smart agriculture for both field crops and horticulture (Federal Ministry of Information and National Orientation, 2025). Nigeria's updated Nationally Determined Contributions similarly prioritize restoring degraded land, promoting regenerative agriculture and agroecology, and channeling resources toward smallholders particularly women and young farmers.

Techniques such as water harvesting, small-scale irrigation, conservation agriculture, and agroforestry are increasingly advocated as means of stabilizing yields and sequestering carbon. Nigeria's National Adaptation Plan folds these priorities into agriculture, water, health, and infrastructure planning, with an emphasis on community-led and ecosystem-based solutions. The country is also positioning itself under Article 6 of the Paris Agreement to draw carbon-credit financing into climate-smart agriculture and afforestation, a mechanism that could bring additional investment to smallholder producers.

The empirical record lends some support to these approaches. Farmers who adopted climate-smart practices in Delta State reported improved yields and greater resilience to climate variability, and the Integrated Approach to Climate Change in Rice Production System (In ACC), implemented across Benue State, Nasarawa State, and the Federal Capital Territory, and showed that climate-friendly rice cultivation could reduce emissions without sacrificing productivity.

2.2 Technological Innovation in Crop Production

Innovation in Nigerian crop production has advanced along three main fronts: improved seed systems, mechanization, and precision farming. The government's Seed Sector Strategy and Investment Plan (2025–2030), backed by an investment of ₦2.48 billion, aims to modernize seed distribution and varietal research, while improved maize hybrids and stress-tolerant rice and wheat varieties are being disseminated through the Technologies for African Agricultural Transformation (TAAT) programme.

Mechanization has likewise received renewed policy attention. The National Agricultural Mechanization Policy and Investment Strategy, unveiled in 2026, targets the construction of a mega tractor-assembly plant capable of producing 2,000 to 4,000 units a year, and the associated Renewed Hope National Agricultural Mechanization Programme has already deployed 2,000 tractors and more than 9,000 implements and spare parts what the Federal Ministry of Agriculture and Food Security (2026) describes as the largest single mechanization programme undertaken anywhere in Africa.

The policy envisions a "mechanization-as-a-service" model in which machinery reaches farmers at commercially viable, sustainably financed cost.

Precision agriculture the integration of the Internet of Things, artificial intelligence, and cloud computing into field-level decision-making represents the leading edge of this innovation. At Bayero University Kano, the Centre for Dryland Agriculture has partnered with UK-based Kano Tec Solutions and York St John University to build a data platform that supplies real-time soil, environmental, and weather information, helping farmers optimize input use and reduce cost (Guardian Nigeria, 2026a). Case studies of maize and tomato production using AI-IoT systems have reported yield increases of 15 to 20 per cent alongside improved drought resistance and more efficient water and nutrient use.

2.3 Digital Technologies for Extension and Market Access

Digital tools are increasingly seen as a bridge between agricultural research and the farmers who might benefit from it. The Rice Advice mobile application, developed by Africa Rice, delivers site-specific agronomic recommendations for rice cultivation; a study of 795 farmers in Ebonyi State attributed to its adopters an average yield gain of roughly 1,907 kilograms per hectare relative to non-adopters (Singh *et al.,* 2025). Adoption, that study found, was shaped by training, access to extension services, smartphone ownership, and farming experience and capacity-building interventions appeared capable of narrowing the gender gap in technology uptake.

A comparable service, the Digital Precision Agricultural Extension (DPAE) platform, is delivered through a partnership among Precision Development (PxD), the World Bank-funded ACReSAL project, and the Federal Ministry of Agriculture and Food Security. Since its 2025 launch, the platform has reached roughly 20,000 farmers across eight northern states with one to two free voice calls a week in Hausa. Engagement has been strong: 72 per cent of calls are picked up, 97 per cent of farmers report trusting the service, and 99 per cent report satisfaction with it (Precision Development, 2026).

At the national level, an AI- and satellite-powered crop-monitoring system the National Agro-Productivity System (NAPS) is being deployed to strengthen food-security planning. The platform draws on satellite imagery, artificial intelligence, and geospatial analytics to track crop performance, land use, and emerging risk. Before its national rollout, NAPS was piloted across three planting seasons in thirteen states, engaging more than 250,000 farmers and generating over a million agricultural data points (The Hindu, 2025); deployment is proceeding in three phases, beginning with a single-state pilot before expanding to fifteen priority states.

The FAO Digital Village Initiative, launched in Lagos in May 2025, adds a further layer to this ecosystem. It supports the Nigeria Agri-Innovation and Digital Agriculture Platform, intended to digitize agricultural value chains by linking farmers, inputs, climate information, and financing with the processors, aggregators, transporters, and retailers further down the chain. The Minister of Agriculture and Food Security has described the platform as a "digital nervous system" for the country's agri food system (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2025a).

Table 1:summarizes the digital platforms discussed above, alongside their implementing partners, coverage, and reported outcomes, to give a comparative view of the ecosystem before turning to the paper's methodology and findings.

Platform	Implementing Partner(s)	Coverage	Reported Outcome
Rice Advice	Africa Rice	795 farmers, Ebonyi State	~1,907 kg/ha yield gain among adopters
Digital Precision Agricultural Extension (DPAE)	Precision Development, ACReSAL/World Bank, Federal Ministry of Agriculture and Food Security	~20,000 farmers, 8 northern states	72% call pick-up; 97% trust; 99% satisfaction

National Agro-Productivity System (NAPS)	Federal Government of Nigeria	13-state pilot; national rollout in 3 phases	250,000+ farmers engaged; 1M+ data points generated
Nigeria Agri-Innovation and Digital Agriculture Platform	FAO Digital Village Initiative	Lagos launch, May 2025; national ambition	Value-chain digitization across inputs, finance, and markets

Table 1. Selected Digital Agricultural Platforms in Nigeria and Reported Outcomes

3. Methodology

3.1 Research Design

This paper adopts a systematic review methodology, appropriate for synthesizing a fast-moving evidence base in which primary data collection would quickly be overtaken by new policy announcements and pilot results. The review draws on policy documents, peer-reviewed empirical studies, government reports, and institutional publications issued in 2025 and 2026.

3.2 Data Sources and Search Strategy

Sources were located through searches of academic databases, government ministry websites, and the repositories of relevant international organizations, including the Food and Agriculture Organization, the CGIAR system, and Nigerian federal ministries. Search terms combined "Nigeria" with "climate-smart agriculture," "precision farming," "digital extension," "mechanization," and "agricultural policy," limited to material published in 2025 or 2026 to keep the review current with recent programme launches and survey rounds.

3.3 Inclusion Criteria and Analytical Approach

Documents were included where they addressed sustainable agricultural practice, digital technology adoption, innovation systems, or policy frameworks within the Nigerian context. Twenty-three sources met these criteria, comprising eight peer-reviewed journal articles, six government policy documents, five institutional reports from international organizations, and four empirical surveys. Findings were synthesized thematically across three analytical dimensions sustainable practice, technological innovation, and digital technology and cross-checked against one another where more than one source reported on the same programme or dataset.

4. Results and Discussion

4.1 Crop Production Performance and Food Security Outcomes

Nigeria's agricultural sector recorded steady growth through the 2025 wet season, with output rising across most major food crops alongside a general easing of market prices. According to the National Agricultural Extension and Research Liaison Services' 2025 Wet Season Agricultural Performance Survey, national rice production climbed from 9.1 million metric tonnes in 2024 to 9.4 million metric tonnes in 2025, a 2.66 per cent increase; maize output rose 2 per cent to 11.4 million metric tonnes and sorghum grew 1.3 per cent to 6.50 million metric tonnes. Cowpea production increased by 4.65 per cent to 4.28 million metric tonnes, while cassava and yam output rose 1.6 and 2.2 per cent, respectively (Leadership Nigeria, 2025).

The same survey recorded a marked fall in food prices between July 2024 and July 2025: the average price of white maize dropped 52.5 per cent, milled rice 34.6 per cent, sorghum 50.2 per cent, and cowpea 45.2 per cent. Nigeria's Minister of Agriculture and Food Security attributed the improvement to better supply conditions and the cumulative effect of input support, extension delivery, and mechanization programmes (Federal Ministry of Information and National Orientation, 2025). The picture was not uniformly positive, however: fertilizer prices rose by nearly 20 per cent over the same period, and more than 19,000 hectares of farmland were lost to pest and disease outbreaks, with associated yield losses estimated at 22.5 per cent.

Despite these gains, yields per hectare for many staples remain well below their potential, held back by limited fertilizer use, uneven access to improved seed, and declining soil health.

Markets, too, remain fragmented characterized by small-scale traders, poor rural road networks, gaps in cold-chain storage, and weak contractual relationships between producers and processors. The same performance survey found that production costs rose 36 per cent relative to 2024, and that capital constraints left an estimated 12 million hectares of arable land unfarmed (Leadership Nigeria, 2025).

4.2 Policy and Institutional Frameworks

Nigeria's agricultural transformation rests on a fairly elaborate policy architecture, anchored by the National Agricultural Technology and Innovation Policy. To support its implementation, the Food and Agriculture Organization, working with the Federal Ministry of Agriculture and Food Security, launched the 2025 Nigeria Food and Agriculture Policy Monitoring Review to guide investment planning and track progress under NATIP. That review found that although nominal agricultural spending rose between 2015 and 2021, it remained at just 2 per cent of federal expenditure far short of the 10 per cent commitment set out in the 2025 Kampala Declaration (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2025b).

Complementary frameworks such as the Agricultural Sector Food Security and Nutrition Strategy and the National Multi-Sectoral Plan of Action for Food and Nutrition add further structure, but a review of twenty-three policies and twenty-four institutional programmes found strong aspirational language paired with limited actionable follow-through: only a fraction carry clear budgets, coordinated implementation plans, or defined mechanisms for scaling what works. Fragmented governance, thin financing, weak monitoring and evaluation, and insufficient attention to sub-national conditions were identified as the principal gaps, with agriculture and health budgets both trailing continental commitments (Osei-Amponsah et al., 2025).

The forthcoming 10-Year Agri food System Strategy and Action Plan (2026–2035) is intended to close some of that distance. Developed through consultations across Nigeria's six geopolitical zones, it targets a 2.45 per cent annual increase in agri food output, a tripling of intra-African trade, a 50 per cent cut in post-harvest losses, $100 billion in mobilized public and private investment, and the reinvestment of at least 15 per cent of agri food GDP each year. The strategy is framed explicitly as an effort to move "beyond rhetoric, beyond pilot projects, and beyond fragmented interventions" (Voice of Nigeria, 2026).

4.3 Barriers to Technology Adoption

The gap between the promise of these technologies and their actual reach is well documented. A study of Nigerian agricultural students found that although 70 per cent were aware of digital agricultural tools, only 58 per cent actively used them; the remainder cited high cost (65 per cent), inadequate training, unreliable internet connectivity, and thin integration into curricula as barriers (Ezeaku and Victor, 2025). Such findings point to a need for educational and policy interventions that prepare the next generation of agricultural professionals to work with, rather than around, digital tools.

Infrastructure remains a fundamental constraint more broadly. Poor rural connectivity, high data costs, and gender disparities in technology access continue to limit adoption, while fragmented and poorly harmonized data platforms complicate efforts to make the most of what digital infrastructure does exist.

The extension system carries its own structural burden: an extension-agent-to-farmer ratio estimated at between 1:5,000 and 1:10,000, alongside limited funding, thin technical capacity, and insufficient digital tools for delivering advice at scale.

The TAAT programme has responded by training 100 extension workers as master trainers in climate-smart agriculture, soil health, pest and disease management, improved seed systems, digital agriculture, and farmer-centred extension methods, using a cascade model intended to eventually reach at least 500,000 farmers. As one TAAT Clearinghouse specialist put it, Nigeria cannot scale agricultural innovation without scaling the people and systems that deliver it (Guardian Nigeria, 2026b).

4.4 Digital Innovation Ecosystems

Nigeria's digital agriculture ecosystem is expanding on both public and private fronts. The Ibom Innovation Network's Transforming Agriculture Through Artificial Intelligence project brings together engineers, university researchers, and technology-incubation specialists to develop autonomous robotic harvesting systems and IoT-enabled, climate-controlled storage a direct response to two long-standing weak points in the food supply chain: the shortage of affordable harvest labour and the scale of post-harvest storage losses.

The FAO Digital Village Initiative and the proposed National Integrated Digital Agriculture Platform aim to draw these separate innovations into a single, more coherent system, built through a collaborative process involving both public and private stakeholders. As the FAO's Representative in Nigeria has observed, data analytics, precision agriculture, smart farming techniques, and mobile solutions together can raise productivity, cut waste, and build resilience to climate change (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2025a).

Participatory approaches to technology development are gaining ground as well. A study using the tricot method to collect real-time data from farmers in Plateau State found that market-oriented farmers tended to prioritize commercial traits in new varieties, while subsistence farmers placed more weight on resilience a distinction that argues for differentiated, rather than one-size-fits-all, technology design (Sharma *et al.*, 2025).

5. Conclusion

Nigeria's agricultural transformation sits at something of a hinge point. Sustainable practice, technological innovation, and digital technology are converging in ways that could meaningfully raise productivity, strengthen food security, and build resilience to a changing climate. The evidence reviewed here suggests the gains are real: mobile advisory adoption has been associated with rice-yield increases of roughly 1,907 kilograms per hectare, AI-IoT systems have lifted yields by 15 to 20 per cent in case studies, and national output rose across every major staple crop during the 2025 wet season.

Those gains, however, remain fragile and unevenly spread. Infrastructure deficits, thin financing, limited institutional capacity, and persistent gender gaps in technology access all constrain the transformation agenda, and the policy architecture meant to support it comprehensive as it is on paper continues to fall short in implementation: agricultural spending sits at 2 per cent of federal expenditure against a 10 per cent Kampala Declaration commitment, and only a fraction of the relevant policies carry clear budgets or scaling mechanisms.

6. Recommendations for Policy and Practice

6.1 Increase and Redirect Agricultural Spending

Nigeria should move toward the 10 per cent Kampala Declaration spending commitment, directing new resources toward rural connectivity, digital infrastructure, and human capital development.

6.2 Revitalize the Extension System

The extension system needs a blended model combining lead farmers, digital advisory services, and private providers built on the cascade training approach TAAT has already piloted, and scaled nationally.

6.3 Design for Inclusion and Farmer Differentiation

Digital technology design should be gender-inclusive and differentiated by farmer type, since market-oriented and subsistence farmers evidently want different things from the same tools.

6.4 Strengthen Policy Monitoring and Evaluation

Policy monitoring and evaluation capacity needs strengthening, building on the template the FAO's policy review has already supplied, with clear indicators tracked against the 10-Year Agri food System Strategy's targets.

6.5 Expand Public-Private Digital Platforms

Public-private digital platforms such as NAPS and DPAE deserve continued expansion, with due attention to data sovereignty, interoperability, and equitable access across regions and gender lines.

6.6 Sustain Investment in Locally Adapted Research

Research investment in locally adapted crop varieties, soil health, and post-harvest handling remains essential if the productivity gains documented here are to hold and to reduce the country's reliance on imported inputs in the process.

References

Ezeaku, I. E., & Victor, U. E. (2025). Adoption of digital agricultural technologies among Nigerian agricultural students. *UNILAWS Journal of Environmental Research and Vocational Studies.* https://unilaws.org/ujervs/article/view/205

Federal Ministry of Agriculture and Food Security. (2026). *FG unveils National Agricultural Mechanization Policy, targets 4,000 tractors annually.* https://agriculture.gov.ng/fg-unveils-national-agricultural-mechanization-policy-targets-4000-tractors-annually/

Federal Ministry of Information and National Orientation. (2025). *Proactive policies in the agric sector will unlock agrifood systems to enhance production – Agric Minister.* https://fmino.gov.ng/proactive-policies-in-the-agric-sector-will-unlock-agrifood-systems-to-enhance-production-agric-minister/

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2025a). *FG, FAO champion digital transformation to revolutionize Nigeria's agricultural sector.* https://www.fao.org/nigeria/news/detail/fg--fao-champion-digital-transformation-to-revolutionize-nigeria-s-agricultural-sector/

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2025b). *FAO launches 2025 Food and Agriculture Policy Monitoring Review to drive evidence-based transformation under the NATIP.* https://www.fao.org/nigeria/news/detail/fao-launches-2025-food-and-agriculture-policy-monitoring-review-to-drive-evidence-based-transformation-under-the-natip/

Guardian Nigeria. (2026a). *AI to transform agriculture sector.* https://guardian.ng/business-services/agro-care/ai-to-transform-agriculture-sector/

Guardian Nigeria. (2026b). *TAAT trains 100 extension workers to drive uptake of new farm technologies.* https://guardian.ng/news/taat-trains-100-extension-workers-to-drive-uptake-of-new-farm-technologies/

Leadership Nigeria. (2025). *Nigeria records rise in crop output in 2025 wet-season.* https://leadership.ng/nigeria-records-rise-in-crop-output-in-2025-wet-season/

Osei-Amponsah, C., Gurmu, M., & Twine, E. (2025). *Strengthening nutrition, health, and food security in Nigeria: Policy and programming alignment for innovation scaling.* International Water Management Institute (IWMI), CGIAR Scaling for Impact Program. https://cgspace.cgiar.org/items/284a779c-fe03-4f43-8edd-2210d5e67de2

Precision Development. (2026). *Digital Precision Agricultural Extension (DPAE) platform Nigeria.* https://precisiondev.org/project/digital-precision-agricultural-extension-dpae-platform-nigeria/

Sharma, K., Atieno, E., Mugo, J., de Sousa, K., van Etten, J., & Nyawade, S. (2025). Understanding farmer preferences through citizen science: Insights on potato varieties in Nigeria. *Journal of Agriculture and Food Research.* Advance online publication. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.102135

Singh, M., Ouedraogo, M., Jimenez, D., Talsma, T., Ouedraogo, A., Kagabo, D., Ramirez, J., & Laderach, P. (2025). Mapping the climate and agronomic digital advisory services landscape in West and Central Africa. *PLoS ONE, 20*(12), e0338010. https://cgspace.cgiar.org/items/136084b2-d22b-4244-8a17-d81eea8c13bc

The Hindu. (2025). *Struggling farms, fields in Nigeria get lifeline as farmers bring in AI monitors.* https://www.thehindu.com

Voice of Nigeria. (2026). *Ministry unveils 10-year agrifood strategy.* https://von.gov.ng/ministry-unveils-10-year-agrifood-strategy/

CHILD AND YOUTH STUDIES

FIRST-PRINCIPLES INVESTIGATION OF CU AND SE VACANCIES AND THEIR EFFECTS ON THE PROPERTIES OF CU_2SE.

Faiza BAGHIDA
Laboratory of Physics of Materials and Systems Modelling (LP2MS), Faculty of Sciences, Moulay Ismail University, Zitoune, Meknes, Morocco.

Mourad BOUGHRARA
Laboratory of Physics of Materials and Systems Modelling (LP2MS), Faculty of Sciences, Moulay Ismail University, Zitoune, Meknes, Morocco.

Mohamed KEROUAD
Laboratory of Physics of Materials and Systems Modelling (LP2MS), Faculty of Sciences, Moulay Ismail University, Zitoune, Meknes, Morocco.

Abstract
Copper-based chalcogenides and halides such as Cu-Se and Cu-I have recently emerged as promising p-type transparent conductors for next-generation optoelectronic devices, including solar cells and light-emitting diodes. The presence of copper vacancies plays a crucial role in determining their electrical and optical properties. In this work, we systematically investigate the formation energy, electronic structure, and optical response of copper vacancies in Cu-Se (berzelianite phase) and γ-Cu-I using first-principles density functional theory (DFT). Calculations are performed with the Vienna Ab initio Simulation Package (VASP) using the projector augmented wave method and a Hubbard U correction to accurately describe Cu d electrons. The formation energy of copper vacancies is computed under different chemical potential conditions, ranging from Cu-rich to Cu-poor environments. Our results show that copper vacancies are shallow acceptors in both materials, with significantly lower formation energy in Cu-Se compared to Cu-I, suggesting a higher intrinsic p-type conductivity in the selenide. Density of states analysis reveals that vacancy-induced states appear near the valence band maximum, contributing to enhanced hole carrier concentration without introducing deep recombination centers. Optical absorption spectra indicate that copper vacancies extend the absorption edge toward lower energies in Cu-Se, while their effect remains minimal in Cu-I. These findings provide a microscopic understanding of defect-controlled conductivity in Cu-based transparent conductors and offer guidelines for optimizing p-type performance in earth-abundant materials for sustainable energy technologies.
Keywords: Copper vacancy; Cu-Se; Cu-I; DFT; p-type transparent conductor; formation energy; optoelectronics

Acknowledgements
This work was supported by the Moroccan Ministry of Higher Education and the German-Moroccan Hydrogen Cooperation Project (Project No. H2-Mor-2025). Computational resources were provided by the Moroccan Supercomputing Center (CMR).

References
[1] H. Liu, X. Zhang, et al., Journal of Materials Chemistry C, 8(45), 16082-16093, 2020.
[2] D. O. Scanlon, J. Buckeridge, et al., Advanced Materials, 26(46), 7925-7930, 2014.
[3] J. A. Peters, Z. Liu, et al., Physical Review B, 98(15), 155205, 2018.

CLIMATE CHANGE AND FOOD SECURITY IN SOUTH ASIA: A REVIEW OF OBSERVED TRENDS, IMPACTS, AND VULNERABILITIES

Amna YOUSAF
Institute of Agricultural and Resource Economics, University of Agriculture Faisalabad, Faisalabad, Pakistan.

ABSTRACT
South Asia, home to over one-fifth of the global population, is among the most densely populated and climate-vulnerable regions worldwide. This review examines observed climate trends and their implications for food security across Afghanistan, Bangladesh, India, Nepal, and Pakistan. Findings show a marked rise in extreme precipitation events, driving major flood disasters including Pakistan's 2010 and 2022 floods, which together affected tens of millions and caused billions of dollars in losses, and India's 2015 floods, which impacted nearly 14 million people. Alongside these extremes, the region has seen an accelerating warming trend in annual mean temperatures, most pronounced in the post-monsoon season, culminating in severe heat events such as the 2022 South Asian heat wave that sharply reduced wheat yields in India and Pakistan. Rising sea levels along South Asia's coastlines, driven by thermal expansion and glacial melt, further heighten the region's exposure to climate disasters. These shifts pose serious threats to food security, which relies on stable availability, access, and utilization of food resources. Evidence indicates that changing temperature and precipitation patterns are eroding land productivity and staple crop yields, with wheat production in South Asia projected to decline by up to 50% by 2050. Given the region's large rural, agriculture-dependent, and economically vulnerable population, these disruptions translate into heightened risks of hunger and malnutrition. The review underscores the urgent need for region-specific climate adaptation and food security strategies in South Asia.

Keywords: Climate change; Food security; South Asia; Extreme precipitation; Temperature trends; Crop production; Agricultural vulnerability; Sea-level rise

NUTRACEUTICALS: BRIDGING THE GAP BETWEEN FOOD AND MEDICINE

S. Rubin THARA
Faculty of Pharmacy, Bharath Institute of Higher Education and Research, Chennai, India.

M. K. VIJAYALAKSHMI
Faculty of Pharmacy, Bharath Institute of Higher Education and Research, Chennai, India.

N. Arshad AHAMED
Faculty of Pharmacy, Bharath Institute of Higher Education and Research, Chennai, India.

N. Manjula PERATCHI DEVI
Faculty of Pharmacy, Bharath Institute of Higher Education and Research, Chennai, India.

R. SWATHI
Faculty of Pharmacy, Bharath Institute of Higher Education and Research, Chennai, India.

E. PRAVEENA
Faculty of Pharmacy, Bharath Institute of Higher Education and Research, Chennai, India.

Abstract
Nutraceuticals represent an important link between food and medicine, offering health benefits beyond basic nutrition. The term “nutraceutical” refers to food-derived products that may provide physiological or therapeutic benefits and help in the prevention or management of various health conditions. These products include vitamins, minerals, omega-3 fatty acids, probiotics, prebiotics, antioxidants, herbal extracts, and functional foods. With the increasing prevalence of chronic diseases such as diabetes, cardiovascular diseases, obesity, and hypertension, interest in nutraceuticals has grown significantly. Their potential to support immunity, improve gut health, reduce oxidative stress, and promote overall well-being has made them an important area of pharmaceutical and nutritional research. However, the safety, quality, efficacy, dosage, and possible food–drug interactions of nutraceutical products require careful consideration. Pharmacists play an important role in educating patients about the appropriate use of nutraceuticals and preventing unsafe or unnecessary supplementation. This article discusses the concept, types, health benefits, pharmaceutical applications, safety concerns, and future potential of nutraceuticals. Overall, nutraceuticals have the potential to bridge the gap between nutrition and pharmacotherapy and may contribute to a more preventive and holistic approach to healthcare.
Keywords: Nutraceuticals, functional foods, food–drug interactions, probiotics, prebiotics, antioxidants, pharmacotherapy, , dietary supplements, healthcare.

DRUG REPURPOSING STRATEGIES FOR NEGLECTED TROPICAL DISEASES

PhD Scholar Babita GUPTA
Integral University, Lucknow, India.

ABSTRACT

Neglected tropical diseases (NTDs) remain a major global health burden, affecting over one billion individuals, particularly in low- and middle-income regions characterized by inadequate healthcare systems and poor socioeconomic conditions. The development of novel therapeutics for NTDs is often constrained by high costs, prolonged timelines, and limited commercial incentives, resulting in a scarcity of effective, approved treatments. In this context, drug repurposing has gained considerable attention as a strategic and cost-effective approach for accelerating therapeutic discovery by identifying new indications for existing drugs with well-established pharmacokinetic, pharmacodynamic, and safety profiles. This chapter summarizes recent progress in drug repurposing strategies targeting major NTDs, including leishmaniasis, Chagas disease, human African trypanosomiasis, schistosomiasis, and fungal-associated neglected diseases. Advanced methodologies such as computational drug screening, chemogenomic approaches, artificial intelligence-assisted modeling, high-throughput screening platforms, and structure-based drug design have significantly contributed to the identification of promising therapeutic candidates. Repurposed agents, including itraconazole, miltefosine, amphotericin B, posaconazole, and fexinidazole, have demonstrated substantial antiparasitic and antifungal efficacy against multiple NTD pathogens. However, several limitations, including emerging drug resistance, toxicity-related concerns, insufficient clinical validation, and inadequate financial support, continue to impede successful clinical translation. Future research directions should focus on integrating machine learning technologies, strengthening international collaborative research efforts, and enhancing regulatory frameworks to optimize repurposing strategies and improve access to affordable therapies for underserved populations.

Keywords: Neglected diseases**,** Drug Repurposing**,** Computational drug screening, Artificial intelligence

NANOTECHNOLOGY IN AGRICULTURE; PROSOECTS AND INNOVATIONS

Dr. Seyfaddin JAFAROV
Nakhchivan State University, Nakhchivan, Azerbaijan.
ORCID ID: 0009-0000-1609-0387

Abstract
This article presents a comprehensive analysis of the application of nanotechnology in agriculture, opening up new prospects for enhancing the productivity, sustainability, and environmental safety of the agro-industrial complex. Given the growing global population, limited natural resources, and the need to reduce environmental impact, nanotechnology offers innovative solutions to address current challenges in agriculture. The article examines key applications of nanomaterials and nanostructures, including controlled-release nano-fertilizers, targeted nano-pesticides, nanosensors for monitoring plant and soil health, and the use of nanotechnology in livestock farming and the improvement of food quality. Significant benefits—such as reduced consumption of agrochemicals, increased productivity, improved crop quality, more efficient water use, and the early detection of diseases and pests—are discussed. Potential risks to the environment and human health associated with the toxicity of nanomaterials are analyzed, alongside the high cost of implementation and the need to develop an appropriate regulatory framework. The article emphasizes the vital role of interdisciplinary research and the application of responsible nanotechnology in ensuring a sustainable and productive future for agriculture.
Keywords: Nanotechnology, agriculture, nano-fertilizers, nanopesticides, nanosensors, crop production, livestock farming, sustainable agriculture, precision farming, food security.

1. Introduction

Agriculture faces numerous global challenges: a growing global population demands increased food production, climate change poses new threats to productivity, and rising public concern regarding the environmental impact of traditional agrochemical methods necessitates the search for more sustainable solutions. In this context, nanotechnology—a field of science involving the creation and use of materials and devices at the atomic and molecular levels (ranging from 1 to 100 nanometers)—offers unparalleled opportunities to revolutionize agriculture.

The unique properties of nanomaterials—such as high specific surface area, enhanced reactivity, and distinct optical, electronic, and mechanical characteristics—make them ideal for the development of innovative agricultural technologies. Nanotechnology promises not only to boost productivity and resource efficiency but also to mitigate the environmental impact of agricultural activities. This article aims to analyze key applications of nanotechnology in agriculture, review promising innovations, and discuss the associated benefits and potential risks. 2. Key applications of nanotechnology in agriculture Nanotechnology is utilized at virtually every stage of agricultural production: from seed preparation and crop care to livestock farming and product processing.

Nano-fertilizers

Traditional fertilizers are often inefficient due to losses (such as leaching and evaporation), which leads to soil and water pollution. Nano-fertilizers address this issue:

• ***Controlled release:*** The nano-encapsulation of nutrients allows for their gradual release into the soil or directly to the plant, ensuring long-term, targeted nutrition. This reduces fertilizer loss and the frequency of application.

• ***Enhanced bioavailability***: Due to their nano-scale size, fertilizer particles penetrate plant cells more easily, increasing nutrient absorption efficiency and reducing the required dosage.

• ***Examples***: Zinc, copper, iron, and magnesium nanoparticles coated with polymer shells, or urea-based nano-emulsions.

Nanopesticides and Herbicides

Reducing the dosage of pesticides and herbicides and improving their targeted delivery is crucial for minimizing their impact on the environment and human health. • Targeted delivery: Nanoparticles can be modified to selectively deliver the active ingredient to specific pests or affected plant parts.

• **Controlled release:** As with fertilizers, nanoencapsulation allows for the gradual release of pesticides at the right time, enhancing their effectiveness and reducing the frequency of application.

• **Enhanced stability**: Nanoencapsulation protects active ingredients from degradation caused by light, moisture, or microorganisms.

• **Examples**: Nanoemulsions based on natural pesticides, insecticidal nanocapsules, and chitosan nanoparticles for combating viral infections.

Nanosensors for Monitoring and Diagnostics
Nanosensors enable precise and rapid monitoring of plant, soil, and water conditions.

• **Early detection:** They can detect minute changes in soil chemistry, pathogens, pests, or nutrient deficiencies at the earliest stages—often before visible symptoms appear.

• **Environmental monitoring**: Nanosensors can monitor levels of pesticides, heavy metals, or other contaminants in soil and water. • Plant Health Monitoring: Wireless nanosensors can measure leaf moisture, nutrient content (e.g., iron), temperature, and plant stress levels in real time, transmitting data to precision agriculture systems.

• **Examples**: Fiber-optic nanosensors, aluminum oxide nanoparticles for moisture detection, and fluorescent nanosensors for monitoring trace elements.

Applications in Livestock and Poultry Farming
• **Feed additives**: Nanoparticles can improve nutrient absorption, deliver vitamins and trace elements, and possess antibacterial properties to reduce animal diseases.

• **Vaccines and medicines**: Nanocontainers can be used for the targeted delivery of vaccines and medicines, enhancing their efficacy and reducing side effects.

• **Disease diagnostics:** Nanobiosensors can be used for the rapid and accurate detection of pathogens in animals.

• **Examples:** Zinc nanoparticles to improve digestion; nanosilver as an antibacterial agent.
• Improvement of food quality and packaging

• **Nanofiltration**: Use of nanomembranes to purify water and liquids in the food industry.

• **Nanocoatings**: Nanocoatings for food packaging can extend shelf life by providing antimicrobial properties or creating a gas barrier. • Nanosensors in food safety: Monitoring food freshness and detecting contaminants and pathogens. 3. Advantages and Prospects of Nanotechnology in Agriculture

The application of nanotechnology can bring the following benefits to agriculture:
• **Increased productivity**: Through more efficient plant nutrition and protection against pests and diseases.

• **Reduced resource consumption**: Lower usage of water, fertilizers, and pesticides due to targeted and controlled delivery.

• **Environmental safety**: Reduced soil and water contamination, and minimization of the impact of agrochemicals on biodiversity.

• **Improved produce quality**: Enhanced nutritional value, reduced pesticide residues, and extended shelf life.

• **Automation and precision**: Development of precision farming systems based on nanosensors and smart control systems.

• **Stress resilience**: Nanoparticles can enhance plant tolerance to drought, salinity, and extreme temperatures. Future development prospects include the creation of fully autonomous field monitoring systems using swarms of nanodrones, the development of new plant varieties with enhanced traits (via nanotechnological genetic engineering), and the establishment of "smart" farms where every aspect of production is optimized using nanotechnology-based solutions.

4. Implementation Issues and Challenges

Despite clear advantages, the widespread application of nanotechnology in agriculture faces several significant challenges:

Toxicity and Safety

The primary concern is the potential environmental and toxicological impact of nanomaterials.

• **Environmental Impact**: Nanoparticles can accumulate in soil and water, affect microorganisms, and enter the food chain. Their long-term impact on ecosystems requires further study.

• **Human Toxicity**: Certain nanomaterials can be toxic through inhalation, skin contact, or ingestion. It is crucial to carefully study their effects on the health of farmers and consumers.

• **Biodegradability**: Develop biodegradable nanomaterials that do not leave a long-term environmental footprint. Cost and Scalability

The production of nanomaterials and nanotechnology-based devices is often costly and requires complex equipment. This can hinder their widespread adoption, particularly in developing countries.

Regulatory Framework

The lack of clear and harmonized regulatory standards for the production, use, and disposal of nanomaterials in agriculture poses a significant challenge. Mechanisms for the risk assessment and monitoring of nanoproducts need to be established.

Public Perception

A lack of information or inaccurate communication regarding nanotechnology can lead to negative public perception and resistance to its adoption.

5. Conclusion

Nanotechnology holds immense potential to make agriculture more productive, sustainable, and environmentally friendly. Innovations in this field—ranging from "smart" fertilizers and pesticides that minimize waste and pollution to nanosensors enabling unprecedented monitoring of crop and soil health—will help address many pressing issues related to food security and sustainable development. However, to realize this potential, extensive research is required to assess the safety of nanomaterials regarding the environment and human health.

Developing standards, establishing an adequate regulatory framework, and transparently communicating benefits and risks to the public are crucial steps. Only through a responsible approach and interdisciplinary collaboration will nanotechnology make a decisive contribution to shaping the agriculture of the future and enable the feeding of a growing global population without compromising resources.

References

1. Akhmedov, I. R. Nanotechnology in Crop Production: Current Trends. Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. No. 5. pp. 70-77.
2. Vasilyeva, E. A. Nano-fertilizers and Pesticides: Application Prospects and Environmental Risks. Agricultural Biology. 2022. Vol. 57. No. 3. pp. 482-491.
3. Grishin, S. M. Nanosensors for Precision Agriculture: Monitoring Plant-Soil Systems. Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences. 2024. No. 1. pp. 3-9.

4. Kuznetsova, L. V. Application of Nanomaterials in Livestock Farming and Veterinary Medicine. Veterinary Science. 2023. No. 2. pp. 55-62.
5. Petrova, N. P. Effect of Nanoparticles on the Growth and Development of Agricultural Crops: A Review. Agrochemistry. 2021. No. 6. pp. 25-33.

SIMILARITIES AND DIFFERENCES BETWEEN MEDICAL AND VETERINARY MALPRACTICE

Rareș-Vasile VORONEANU-POPA
Grigore T. Popa University of Medicine and Pharmacy, Iași, Romania.

Richard CONSTANTINESCU
Grigore T. Popa University of Medicine and Pharmacy, Iași, Romania.

ABSTRACT
Malpractice refers to an error committed in the course of providing medical care. It may occur in both human medicine and veterinary practice, and in either context it may give rise to liability on the part of the responsible professional. Both patients and animal owners may be entitled to compensation when malpractice occurs. Such compensation may cover both pecuniary and non-pecuniary damages.
Both medical and veterinary malpractice claims may be brought before the courts. However, disputes arising in either field may also be resolved through alternative dispute resolution mechanisms.
One of the main differences between medical and veterinary malpractice concerns the amount of compensation awarded to injured parties. In cases of medical malpractice involving human patients, damages are generally considerably higher than those awarded to animal owners in veterinary malpractice cases.
The aim of this study is to analyse the main similarities and differences between malpractice in human medicine and veterinary practice, with particular emphasis on liability, compensation, and dispute resolution.
Keywords: medical malpractice; veterinary malpractice; professional liability; compensation; alternative dispute resolution

ON SOLUTION OF TIME- FRACTIONAL NONLINEAR PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS

Belete DEBALKIE
Department of Mathematics, College of Natural Sciences, Wollo University, Ethiopia.
ORCID ID: 0009-0001-5115-788X

Abstract
This study investigates approximate analytical solutions of the Kuramoto–Sivashinsky equation and Korteweg–de Vries equation, both of which are widely used in modeling complex physical and chemical phenomena. These equations arise in various applications, including hydrodynamic instabilities, reaction–diffusion processes, turbulence, plasma physics, and the propagation of long nonlinear waves in viscous fluid media. Due to the strong nonlinearity of such models, obtaining exact solutions through traditional analytical techniques is often difficult. To overcome these challenges, the present work employs a hybrid computational framework that combines the Homotopy Perturbation Method (HPM) with a suitable integral transform technique. The integration of these methods improves computational efficiency, accelerates convergence, and enhances the accuracy of the resulting approximate solutions. The effectiveness and reliability of the proposed approach are validated through three representative test problems. Numerical results obtained from the method are carefully analyzed through convergence studies and error estimation, confirming the stability and precision of the solutions. In addition, numerical simulations are performed using MATLAB R2016a to generate both two-dimensional and three-dimensional graphical visualizations. These plots provide a clearer understanding of the dynamical behavior of the solutions under different parameter settings. Particular emphasis is placed on examining the effects of the fractional-order parameter, whose variation significantly influences the overall system dynamics. The graphical and numerical findings demonstrate that the proposed hybrid technique is highly flexible, accurate, and efficient for solving nonlinear differential equations. Overall, the study highlights the potential of this method as a powerful mathematical tool for addressing a broad class of nonlinear problems encountered in science and engineering.
Keywords: Fractional Kuramoto-Sivashinsky equation, Fractional Korteweg de Vries equation, Laplace transform method, Homotopy perturbation Method, Modified Riemann–Liouville frac tional derivative.

USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR MEDICATION ADHERENCE *ASSESSMENT IN PATIENTS WITH TYPE 2 DIABETES: AN* EXPLORATORY STUDY IN MOROCCO USING CHATGPT AND THE VALIDATED GENERAL MEDICATION ADHERENCE SCALE

Maryem ARRAJI
Laboratory of Health Sciences and Technologies, Higher Institute of Health Sciences, Hassan First University of Settat, Settat, Morocco.

Mohamed KHALIS
Mohammed VI Center of Research and Innovation, Rabat, Morocco; International School of Public Health, Mohammed VI University of Health Sciences, Casablanca, Morocco; Higher Institute of Nursing Professions and Technical Health, Rabat, Morocco; Laboratory of Biostatistics, Clinical, and Epidemiological Research, Department of Public Health, Faculty of Medicine and Pharmacy, Mohammed V University in Rabat, Rabat, Morocco.

Mohamed CHAHBOUNE
Laboratory of Health Sciences and Technologies, Higher Institute of Health Sciences, Hassan First University of Settat, Settat, Morocco.

ABSTRACT

Objectives: Medication adherence remains a major challenge in the management of type 2 diabetes (T2D), especially in middle-income countries such as Morocco. With the rapid development of artificial intelligence, large language models, including ChatGPT, may offer new opportunities for clinical research through simulated patient profiles. This study examined the feasibility of using ChatGPT to generate culturally contextualized virtual profiles of Moroccan patients with T2D and to apply the validated Moroccan Arabic dialect version of the general medication adherence scale (GMAS).

Methods: This exploratory pilot simulation study used ChatGPT-4 to generate 11 virtual profiles based on representative sociodemographic and clinical characteristics of Moroccan patients with T2D. Each profile was administered the validated Moroccan Arabic dialect version of the GMAS.

Results: Four profiles (36.4%) showed high adherence, 6 (54.5%) displayed moderate adherence, and 1 (9.1%) exhibited low adherence. Expert evaluations were consistent, with all ratings ≥3 on a 4-point scale, supporting the credibility and cultural appropriateness of the profiles. The simulated patterns reflected real-world trends, with higher adherence among profiles treated with oral antidiabetic drugs, covered by health insurance, and having shorter disease duration, and lower adherence among profiles using insulin, lacking insurance, and having longer disease duration.

Conclusion: ChatGPT generated credible, culturally adapted patient profiles that enabled application of a validated psychometric tool in a simulated environment. This rapid, low-cost approach may support exploratory research, healthcare training, and intervention design. Comparative studies using real patient data are needed to confirm validity.
Keywords: Artificial intelligence; Diabetes mellitus, type 2; Feasibility studies; Medication adherence; Morocco; Psychometrics

BREAST CANCER METASTASIS: MOLECULAR MECHANISMS AND EMERGING THERAPEUTIC STRATEGIES

Maroua RIAD
Laboratory of Spectroscopy, Molecular Modelling, Materials, Nanomaterials, Water and Environment (CERN2D), Faculty of Sciences, Mohammed V University in Rabat, Rabat, Morocco.

Ahmad AL-SHAMI
Laboratory of Spectroscopy, Molecular Modelling, Materials, Nanomaterials, Water and Environment (CERN2D), Faculty of Sciences, Mohammed V University in Rabat, Rabat, Morocco.

Jamal MABROUKI
Laboratory of Spectroscopy, Molecular Modelling, Materials, Nanomaterials, Water and Environment (CERN2D), Faculty of Sciences, Mohammed V University in Rabat, Rabat, Morocco.

Abstract
Metastasis remains one of the major causes of mortality among patients with breast cancer and represents a complex multistep process involving tumor cell invasion, dissemination, survival in the circulation, and colonization of distant organs. Breast cancer cells can acquire invasive properties through molecular and cellular mechanisms that include epithelial–mesenchymal transition, alterations in cell adhesion, extracellular matrix remodeling, and interactions with the tumor microenvironment. The metastatic process is also influenced by tumor heterogeneity and the ability of disseminated cancer cells to adapt to specific distant tissue environments. Bone, lung, liver, and brain are among the most frequent sites of breast cancer metastasis, with organ-specific interactions contributing to disease progression and therapeutic response. Recent studies have highlighted the importance of signaling pathways, extracellular vesicles, stromal cells, and immune components in establishing favorable metastatic niches. Understanding these mechanisms may facilitate the identification of biomarkers for metastatic risk and the development of targeted therapeutic strategies. Current approaches include molecularly targeted therapies, antibody-based treatments, and combination strategies designed to interfere with metastatic signaling and tumor–microenvironment interactions. This review summarizes the principal molecular mechanisms underlying breast cancer metastasis and discusses emerging therapeutic strategies aimed at preventing metastatic dissemination and improving outcomes for patients with advanced diseases.
Keywords: Breast cancer; Metastasis; Tumor invasion; Epithelial–mesenchymal transition; Tumor microenvironment; Metastatic niche; Molecular mechanisms; Targeted therapy.

INFLUENCE OF NICKEL DOPING ON THE STRUCTURAL, MORPHOLOGICAL, AND OPTICAL PROPERTIES OF SNO_2 THIN FILMS PREPARED BY PNEUMATIC SPRAY PYROLYSIS

Prof. Dr. Sabrina ROGUAI
Department of Matter Sciences, Abbes Laghrour University, Khenchela, Algeria.
ORCID ID: 0000-0002-0767-0846

ABSTRACT
In this study, we employed a pneumatic spray pyrolysis (PSP) technique at a deposition temperature of 450°C to fabricate tin oxide (SnO2) thin films doped with nickel (Ni) on glass substrates. The Ni doping concentration was varied systematically from 0.0 to 0.10 (Sn1–xNixO2) to evaluate its influence on the films' structural, microstructural, and optical properties. Detailed structural characterization was performed using X-ray diffraction (XRD), which confirmed the presence of the rutile phase of SnO2 in all the thin films. The crystallite sizes, derived from XRD peak broadening using the Scherrer formula, ranged from 27 to 47 nm, indicating the successful formation of nanocrystalline films.
Optical properties were investigated through UV-Vis spectroscopy, revealing that the optical bandgap energy of the films increased from 3.83 eV for the undoped SnO2 to 4.01 eV for the highest Ni-doped sample. This increase in bandgap energy with doping concentration is attributed to the Burstein-Moss effect, where the introduction of additional free carriers from Ni doping leads to the filling of lower energy states in the conduction band, thus requiring higher energy photons for electronic transitions.
Additionally, the electrical properties of the thin films were assessed by measuring their resistivity, which showed a dependency on both the Ni doping level and the film thickness. Generally, an increase in Ni content led to a decrease in resistivity, enhancing the electrical conductivity of the films. This can be attributed to the higher carrier concentration introduced by Ni doping. The study demonstrates that by tuning the Ni doping concentration and film thickness, the structural, optical, and electrical properties of SnO2 thin films can be effectively controlled, making them suitable for various optoelectronic applications.
Keywords: Thin films, X–ray diffraction, Optical properties.

EFFECTS OF ASTAXANTHIN AND TOCOTRIENOLS ON HAEMATOLOGICAL AND REPRODUCTIVE PARAMETERS IN TESTOSTERONE-INDUCED BENIGN PROSTATIC HYPERPLASIA IN WISTAR RATS

Hillary Emeka UGWUANYI
Department of Veterinary Physiology and Biochemistry, Faculty of Veterinary Medicine, University of Nigeria, Nsukka, Enugu State, Nigeria.
ORCID ID: 0000-0003-0011-2064

P. E. ABA
Department of Veterinary Physiology and Biochemistry, Faculty of Veterinary Medicine, University of Nigeria, Nsukka, Enugu State, Nigeria.

S. C. UDEM
Department of Veterinary Physiology and Biochemistry, Faculty of Veterinary Medicine, University of Nigeria, Nsukka, Enugu State, Nigeria.

U. E. ODEGHE
Department of Veterinary Physiology and Biochemistry, Faculty of Veterinary Medicine, University of Nigeria, Nsukka, Enugu State, Nigeria.

M. C. ONYEKE
Department of Veterinary Physiology and Biochemistry, Faculty of Veterinary Medicine, University of Nigeria, Nsukka, Enugu State, Nigeria.

ABSTRACT
Background: Benign prostatic hyperplasia (BPH) is a non-malignant prostate proliferation affecting 50–60% of men aged 60-69 and 80–90% over 70 globally.
Aim: To investigate the individual and combined effects of astaxanthin (ASX) and tocotrienol-rich fraction (TRF) on reproductive and haematological indices in testosterone-induced BPH in Wistar rats.
Methods: Fifty-four male Wistar rats (186-200g) were assigned into six groups (n=9). BPH was induced in groups A–E via subcutaneous administration of testosterone propionate (5mg/kg) for 28 days; group F served as the control (olive oil + normal saline). Oral treatments lasted 21 days: group A received finasteride (5mg/kg), group B received ASX (100mg/kg), group C received TRF (100mg/kg), group D received combined ASX and TRF (50mg/kg each), and group E received testosterone only. Weights, serum testosterone, haematological indices, and sperm parameters were evaluated. Results: Body weight gain decreased (P = 0.000) in TRF, and combined group compared to other experimental groups. Post-induction prostate weights increased (P<0.05) compared to post-treatment across groups except control. Serum testosterone in group E decreased (P< 0.05) against control but increased (P < 0.01) compared to treatment groups. No significant changes (P>0.05) occurred in erythrocytic indices, testicular and epididymal weights. TRF-treated rats showed no differences (P>0.05) in testicular sperm concentration and epididymal motility compared to controls. Testosterone-only rats showed no changes (P>0.05) in sperm vitality and abnormalities compared to controls, compared to treatment groups exhibited increased vitality (P<0.05) and decreased abnormalities (P< 0.05). Conclusions: TRF, individually or synergistically with ASX, offers a therapeutic alternative that effectively reduces prostate weight while maintaining reproductive health and haematological homeostasis.
Keywords: Hematology, nutraceuticals, prostatic hyperplasia, rats, sperm parameters.

ELECTROMAGNETIC TRANSMISSION AND DEFECT INDUCED RESONANCES IN A PERIODIC CYLINDRICAL COMB-LIKE WAVEGUIDE FOR TUNABLE TERAHERTZ FILTERS AND DIELECTRIC SENSORS

Tarik TOUISS
Laboratory of Materials, Waves, Energy and Environment, Team of Acoustics, Photonics and Materials, Faculty of Sciences, Mohammed First University, Oujda, Morocco.
ORCID ID: 0009-0007-8476-2318

Driss BRIA
Laboratory of Materials, Waves, Energy and Environment, Team of Acoustics, Photonics and Materials, Faculty of Sciences, Mohammed First University, Oujda, Morocco.

Abstract
This study presents an analytical investigation of electromagnetic-wave transmission through a periodic cylindrical waveguide side-coupled to identical cylindrical resonators, one of which is replaced by a defective resonator. The structure is analyzed using the transfer matrix method. The perfect periodic structure exhibits well-defined stop bands separated by broad transmission bands, whereas the introduction of the defect generates narrow transmission peaks inside the stop bands. The effects of the defective resonator radius R 02 are systematically examined. Decreasing R02 , length d02 and relative permittivity ε 02 shifts the defect modes toward higher frequencies, while increasing d02 or ε02 produces a shift toward lower frequencies. Increasing R also narrows the resonance peaks and increases the quality factor, which reaches values of approxi mately 2×10^4 or ε02 The proposed structure exhibits an ideal bulk defect-cavity sensitivity of 0.189 THz/RIU equivalent to 189.05 GHz/RIU. These results demonstrate that the geometrical and dielectric properties of a single defective resonator provide effective control of the resonance frequency and spectral selectivity, making the proposed structure promising for tunable terahertz filters, high-Q resonators, and dielectric sensing applications.
Keywords: Terahertz waves Cylindrical waveguide Defective cylindrical resonator Defect mode Transfer matrix method Stop band High-Q resonator Refractive-index sensing.

CANAVALIA GLADIATA: AN UNDERUTILIZED LEGUMINOUS CROP FOR FOOD SECURITY AND NUTRITION IN SUB-SAHARAN AFRICA

G. A. NKWOCHA
Faculty of Agriculture, Alex Ekwueme Federal University Ndufu-Alike, Ikwo, Ebonyi State, Nigeria.
ORCID ID: 0009-0009-6726-8822

M. C. EDIH
Department of Animal Production and Health Technology, Imo State Polytechnic, Umuagwo-Ohaji, Owerri, Imo State, Nigeria.

C. E. IWUAGWU
Department of Animal Production and Health Technology, Imo State Polytechnic, Umuagwo-Ohaji, Owerri, Imo State, Nigeria.

F. C. ANOSIKE
Faculty of Agriculture, Alex Ekwueme Federal University Ndufu-Alike, Ikwo, Ebonyi State, Nigeria.

L. C. OKORO
Department of Agricultural Technology, Imo State Polytechnic, Omuma, Owerri, Imo State, Nigeria.

ABSTRACT
Sub-Saharan Africa continues to face challenges of protein-energy malnutrition, climate variability, and over-reliance on a few staple crops. Canavalia gladiata otherwise called “magic bean” can be used to enhance food security and strengthen sustainable development goals (SDGs) in sub-Saharan Africa. It is an underutilized leguminous crop for global food security and nutrition. The proteins in the Canavalia spps contain a high lysine level in contrast to cereal proteins which are deficient in these amino acids. Despite its high protein content range of 25-30%, drought tolerance, and soil fertility improvement, C.gladiata remains largely neglected in research, policy, and commercialization in the region. This paper examines the agronomic, nutritional, and socio-economic potentials of C.gladiata for improving food security and nutrition in sub-Saharan Africa. C.gladiata adapts well to marginal soils, requires low external inputs, improves soil health, fixes nitrogen, and provides both grain for human consumption and biomass for livestock feed. Nutritional investigation shows that the C.gladiata seeds contain 25-30% crude protein, dietary fibre, and high lysine level in contrast to cereal proteins which are deficient in these amino acids. However, the presence of anti-nutritional factors such as Canavaline, Concanavalin and trypsin inhibitors necessitates appropriate processing methods including soaking, boiling, fermentation and autoclaving to enhance safety and digestibility. Farmers in sub-Saharan Africa are unaware of the potentials in this magic bean and its utilization, inadequate germplasm conservation, and lack of cut edge value-addition technologies to enhance its productivity. This study further identifies opportunities for mainstreaming C.gladiata through participatory breeding, development of agri-food products, and integration into climate-smart agricultural policies. We believe that with targeted research, capacity building, and policy support, Canavalia gladiata can contribute significantly to nutritional security, sustainable agriculture, and livelihood resilience in sub-Saharan Africa. Moreover, it will be a booster to animal agriculture as the seeds would be used to substitute soyabeans, cowpeas, groundnut cake and other oil seed cakes which are becoming very exorbitant in the livestock industry.
Keywords: Canavalia gladiata, Food security, Leguminous crops, Malnutrition, sub-Saharan Africa

BEAUTIFICATION AND BIO-SAFETY FARMING: CULTIVATION OF SHORT -CYCLE AFRICAN LEGUMES FOR AESTHETIC ENHANCEMENT, WEED SUPPRESSION AND INCOME GENERATION

Christopher Anieken AKPAN
Department of Agricultural Education, Federal College of Education (Technical), Ekiadolor, Benin City, Edo State, Nigeria.

ABSTRACT
Unmanaged grassy spaces within Nigerian tertiary institutions create environmental and safety challenges, including the proliferation of invasive grasses, increased reptile habitats, and poor campus aesthetics. This project proposes the cultivation of improved, short-cycle crops, particularly cowpea (Vigna unguiculata), Bambara groundnut (Vigna subterranea), melon (Cucumis melo), and watermelon (Citrullus lanatus), on one acre of unused land at the Federal College of Education (Technical), Ekiadolor. The study aims to assess the potential of crop cultivation as a sustainable strategy for suppressing invasive weeds, improving campus aesthetics, reducing reptile habitats, generating income, and providing practical agricultural training for students. The project will employ field cultivation, periodic monitoring, and post-harvest assessment to evaluate weed suppression, environmental safety, aesthetic improvement, crop yield, and profitability. The project is expected to provide a safer, greener, and economically productive learning environment while strengthening students' practical skills in sustainable agriculture, land management, crop production, and agribusiness. The findings will provide a basis for recommending annual implementation and replication in other tertiary institutions. The project therefore offers an integrated model of sustainable agriculture, environmental management, campus beautification, bio-safety, and experiential learning.

Keywords: Cowpea, Bambara groundnut, weed suppression, campus beautification, sustainable agriculture, experiential learning, crop production.

ECONOMIC AND SOCIAL STRUCTURE OF POULTRY FARMING IN UKRAINE: REGIONAL TRANSFORMATION UNDER WARTIME CONDITIONS

Liudmyla GARNYK
State Poultry Research Station, Institute of Livestock Farming of the National Academy of Agrarian Sciences (NAAS), Birky, Ukraine.
ORCID ID: 0000-0003-0983-9323

Oleg KATERYNYCH
State Poultry Research Station, Institute of Livestock Farming of the National Academy of Agrarian Sciences (NAAS), Birky, Ukraine.
ORCID ID: 0000-0003-4865-2238

Abstract
Poultry farming represents one of the most technologically intensive and regionally differentiated branches of Ukraine's agricultural economy. This paper provides an analytical assessment of the evolution of its dual production model - comprising specialized enterprises and household-based farms - under conditions of structural transformation, economic restructuring, and wartime disruption. Drawing upon official statistical data for 2013, 2021, and 2025, the study employs comparative and spatial analysis across five macro-regions (West, North, Center, East, South) to examine shifts in poultry population, egg output, and meat production.
Empirical results demonstrate that specialized enterprises overwhelmingly dominate broiler meat production, accounting for more than 85% of total output, whereas households continue to play a decisive role in egg production, particularly in the Western and Central regions. Between 2013 and 2021, enterprise concentration intensified in the Center, reflecting processes of technological modernization and structural consolidation, while household production exhibited notable resilience. By 2025, however, the escalation of war precipitated contraction in the South and East, destruction of productive infrastructure, and relocation of enterprises to safer territories, thereby accentuating regional differentiation.
Egg production trends reveal divergent trajectories: enterprises in the North expanded output until 2021, while households in the West and Center maintained stable or increasing shares. Meat production became progressively concentrated in enterprises, with household contributions reduced to marginal levels. Despite territorial losses, logistical breakdowns, and wartime risks, enterprises in secure regions partially compensated for declines elsewhere, ensuring relative stability of national output.
The analysis underscores both resilience and vulnerability within Ukraine's poultry sector. Industrial enterprises drive technological intensification and safeguard aggregate supply, while household farms sustain regional diversity and food security. These findings highlight the strategic importance of poultry farming in maintaining agricultural resilience and facilitating regional adaptation under conditions of systemic crisis.
Keywords: poultry farming, Ukraine, regional differentiation, wartime economy.

KEDİ VE KÖPEK SAHİPLERİNDE ZOONOTİK PARAZİTLERE İLİŞKİN BİLGİ–UYGULAMA AÇIĞI: KORUYUCU DAVRANIŞLAR VE TEK SAĞLIK AÇISINDAN GÜNCEL BİR DERLEME

"KNOWLEDGE–PRACTICE GAP REGARDING ZOONOTIC PARASITES AMONG CAT AND DOG OWNERS: A CURRENT REVIEW FROM THE PERSPECTIVE OF PREVENTIVE BEHAVIORS AND ONE HEALTH"

Prof. Dr. Kenan SEZER
Department of Veterinary Internal Medicine, Faculty of Veterinary Medicine, Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Burdur, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-7413-0000

Veterinarian Saliha KAYA
Department of Veterinary Internal Medicine, Faculty of Veterinary Medicine, Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Burdur, Türkiye.
ORCID ID: 0009-0001-4564-8236

Özet

Amaç: Kedi ve köpeklerle yakın temas, zoonotik parazitlerin insanlara bulaşması açısından önemli bir halk sağlığı riski oluşturabilir. Bu güncel anlatı derlemesinin amacı, kedi ve köpek sahiplerinin zoonotik parazitlere ilişkin bilgileri ile koruyucu uygulamaları arasındaki açığı incelemek, ilişkili etmenleri belirlemek ve korunma yaklaşımlarını Tek Sağlık perspektifinden değerlendirmektir.

Yöntem: SANRA ölçütleri doğrultusunda yapılandırılan derlemede, 2008–2026 yılları arasında yayımlanan ve kedi veya köpek sahiplerinin zoonotik parazitlere ilişkin bilgi, tutum ve uygulamalarını ele alan akademik çalışmalar incelendi. Bulgular; zoonotik parazit bilgisi, bulaş yolları, koruyucu uygulamalar, riskli davranışlar, bilgi–uygulama açığının belirleyicileri, veterinerlik hizmetleri ve Tek Sağlık uygulamaları başlıklarında anlatı yoluyla sentezlendi. Farklı coğrafi ve sosyoekonomik bağlamlarda yürütülen kesitsel, saha temelli ve girişimsel çalışmalar birlikte değerlendirilerek ortak örüntüler, çelişkili sonuçlar ve mevcut kanıtların yöntemsel sınırlılıkları göz önünde bulundurulduğu ve bulgular kendi çalışma bağlamları içinde dikkatle yorumlandı.

Bulgular: Genel zoonoz farkındalığının, özellikle kuduz açısından görece yüksek olmasına karşın toksoplazmoz, ekinokokkoz, toksokariyaz, kancalı kurt enfeksiyonları ve diğer paraziter zoonozlara ilişkin bilginin sınırlı olduğu belirlendi. Bilgi eksiklikleri özellikle bulaş yolları, risk grupları ve hastalığa özgü korunma önlemlerinde yoğunlaştı. Genel farkındalık; düzenli iç ve dış parazit kontrolü, güvenli dışkı uzaklaştırma, çiğ etle beslemeden kaçınma, el hijyeni ve riskli yakın temasın sınırlandırılması gibi davranışlara tutarlı biçimde dönüşmedi. Tutum, risk algısı, öz yeterlilik, eğitim ve sosyoekonomik düzey, kültürel alışkanlıklar, maliyet ve veterinerlik hizmetlerine erişim bilgi–uygulama açığıyla ilişkiliydi. Düzenli veteriner izlemi ve proaktif danışmanlık, uygun koruyucu uygulamalarla en tutarlı ilişki gösteren değiştirilebilir etmenlerdi.

Sonuç: Yalnızca bilgi aktarımına dayanan girişimler zoonotik parazitlerin önlenmesi için yeterli değildir. Bulaş yollarına özgü risk iletişimi, davranış değişikliği desteği ve erişilebilir koruyucu veterinerlik hizmetleri birlikte yürütülmelidir. Veteriner hekimler, sağlık profesyonelleri, çevre sağlığı birimleri ve yerel yönetimler arasındaki Tek Sağlık temelli iş birliği bilgi–uygulama açığını azaltabilir.
Anahtar kelimeler: Bilgi–uygulama açığı, kedi sahipleri, köpek sahipleri, koruyucu davranışlar, Tek Sağlık, zoonotik parazitler

Abstract

Objective: Close contact with cats and dogs may create an important public health risk through the transmission of zoonotic parasites to humans.

This updated narrative review aimed to examine the gap between cat and dog owners' knowledge of zoonotic parasites and their preventive practices, identify associated factors, and evaluate preventive approaches from a One Health perspective.

Methods: Structured according to the SANRA criteria, this review examined academic studies published between 2008 and 2026 that addressed cat or dog owners' knowledge, attitudes, and practices concerning zoonotic parasites. Evidence was narratively synthesized under zoonotic parasite knowledge, transmission routes, preventive practices, risk behaviors, determinants of the knowledge–practice gap, veterinary services, and One Health applications. Cross-sectional, field-based, and intervention studies from diverse settings were interpreted with attention to methodological limitations.

Results: General awareness of zoonotic diseases was relatively high, particularly for rabies, whereas knowledge of toxoplasmosis, echinococcosis, toxocariasis, hookworm infections, and other parasitic zoonoses was limited. Deficiencies were concentrated in transmission routes, vulnerable populations, and disease-specific preventive measures. General awareness did not consistently translate into regular endoparasite and ectoparasite control, safe fecal disposal, avoidance of raw-meat feeding, hand hygiene, or restriction of high-risk close-contact behaviors. Attitudes, risk perception, self-efficacy, educational and socioeconomic status, cultural practices, cost, and access to veterinary services were associated with the knowledge–practice gap. Regular veterinary care and proactive counseling were the modifiable factors most consistently associated with appropriate preventive practices.

Conclusion: Interventions based solely on information provision are insufficient to prevent zoonotic parasitic infections. Route-specific risk communication, behavior-change support, and accessible preventive veterinary services should be implemented together. One Health collaboration among veterinarians, health professionals, environmental health services, and local authorities may help narrow the knowledge–practice gap.

Keywords: Cat owners, dog owners, knowledge–practice gap, One Health, preventive behaviors, zoonotic parasites

GEBE BİR KÖPEKTE TİP II VAJİNAL HİPERPLAZİ: OLGU SUNUMU

TYPE II VAGINAL HYPERPLASIA IN A PREGNANT BITCH: A CASE REPORT

Dr. Öznur YILMAZ KOÇ
Department of Obstetrics and Gynecology, Faculty of Veterinary Medicine, Siirt University, Siirt, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-0424-9471

Dr. Tarık ŞAFAK
Department of Obstetrics and Gynecology, Faculty of Veterinary Medicine, Kastamonu University, Kastamonu, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-6178-4641

ÖZET

Vajinal hiperplazi, dişi köpeklerde özellikle östrusun foliküler fazında artan östrojenik uyarıya bağlı olarak ödemli vajinal dokunun vajinal lümene ve sıklıkla vulvar dudaklar arasından dışarı doğru protrüzyonu ile karakterize benign bir genital sistem bozukluğudur. Klinik olarak Tip I, Tip II ve Tip III olmak üzere üç tipe ayrılmaktadır. Tip II vajinal hiperplazi, vajinanın anterior tabanı ve lateral duvarlarının vulvar açıklıktan protrüze olması ve karakteristik armut şeklinde bir kitle oluşturması ile tanımlanmaktadır. Bu olguda, vajinal hiperplazi nedeniyle kliniğimize getirilen 4 yaşlı, Kangal ırkı gebe bir köpeğin klinik bulguları ve tedavi yaklaşımı sunulmuştur. Anamnezde, yaklaşık 25 gün önce östrus belirtileri gösteren köpeğin bu dönemde çiftleştiği, çiftleşme sırasında hafif vajinal prolapsus geliştiği ve takip eden günlerde protrüze olan dokunun giderek arttığı öğrenildi. Klinik muayenede genel durumun iyi olduğu ve vulvar açıklıktan dışarı protrüze olan, ödemli ve hiperemik, armut şeklinde vajinal doku bulunduğu tespit edildi. Bulgular Tip II vajinal hiperplazi ile uyumlu olarak değerlendirildi. Çiftleşme öyküsü nedeniyle gerçekleştirilen ultrasonografik muayenede gebelik doğrulandı ve fetüslerin canlı olduğu belirlendi. Gebeliğin korunması ve yavruların canlı olarak elde edilmesinin istenmesi nedeniyle vajinal dokunun rezeksiyonunu içeren invaziv cerrahi yaklaşım tercih edilmedi. Maternal ve fetal güvenliği gözetmek ve anestezi süresini mümkün olduğunca kısa tutmak amacıyla vajinal dokunun redüksiyonu ve Buhner dikişi ile mekanik desteklenmesine karar verildi. Aynı gün inhalasyon anestezisi altında prolabe doku anatomik pozisyonuna red edilerek Buhner dikişi uygulandı. Operasyon komplikasyonsuz tamamlandı. Postoperatif kontrolde vajinal dokunun anatomik pozisyonunu koruduğu ve nüks gelişmediği gözlendi. Ultrasonografik kontrolde fetal viabilitenin ve fetal kardiyak aktivitelerin devam ettiği belirlendi. **Sonuç olarak**, uygun olgularda vajinal dokunun redüksiyonu ve Buhner dikişi ile desteklenmesinin, gebe köpeklerde vajinal hiperplazinin yönetiminde gebeliğin devamlılığını ve fetal viabiliteyi korumaya yönelik pratik ve etkili bir yaklaşım olabileceği düşünülmektedir.

ABSTRACT

Vaginal hyperplasia is a benign genital tract disorder in female dogs characterized by protrusion of edematous vaginal tissue into the vaginal lumen and, frequently, through the vulvar lips, particularly in association with increased estrogenic stimulation during the follicular phase of estrus. Clinically, vaginal hyperplasia is classified into three types: Type I, Type II, and Type III. Type II vaginal hyperplasia is characterized by protrusion of the anterior vaginal floor and lateral walls through the vulvar opening, resulting in a characteristic pear-shaped mass.

In this case, the clinical findings and therapeutic management of a 4-year-old pregnant Kangal bitch presented to our clinic with vaginal hyperplasia are described. According to the history, the bitch had exhibited estrous signs approximately 25 days earlier and had mated during this period. Mild vaginal prolapse was noticed during mating, followed by progressive protrusion of the vaginal tissue over the subsequent days. On clinical examination, the bitch was in good general condition, and an edematous, hyperemic, pear-shaped vaginal tissue mass protruding through the vulvar opening was observed. Based on these findings, the condition was diagnosed as Type II vaginal hyperplasia.

Because of the history of mating, ultrasonographic examination was performed to confirm pregnancy and assess fetal viability. Pregnancy was confirmed, and the fetuses were found to be viable.

As preservation of the pregnancy and delivery of viable puppies were desired, an invasive surgical approach involving resection of the vaginal tissue was not preferred. To minimize maternal and fetal risks and keep the duration of anesthesia as short as possible, reduction of the prolapsed vaginal tissue followed by mechanical support with a Buhner suture was selected. On the same day, under inhalation anesthesia, the prolapsed vaginal tissue was carefully reduced to its anatomical position, followed by placement of a Buhner suture. The procedure was completed without complications. At postoperative follow-up, the vaginal tissue remained in its anatomical position, with no recurrence observed. Ultrasonographic examination confirmed continued fetal viability and fetal cardiac activity.

In conclusion, reduction of the prolapsed vaginal tissue combined with Buhner suture placement may represent a practical and effective approach for the management of vaginal hyperplasia in appropriately selected pregnant bitches, particularly when preservation of pregnancy and fetal viability is a primary therapeutic objective.

FELINE INFECTIOUS PERITONITIS (FIP): DIAGNOSIS AND TREATMENT

Res. Asst. Dr. Doğan Can HANEY
Department of Internal Medicine, Milas Faculty of Veterinary Medicine, Muğla Sıtkı Koçman University, Muğla, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-9737-6722

Özet
Kedilerin enfeksiyöz peritoniti (FİP), dünya genelinde hem evcil hem de vahşi kediler için yaşamı tehdit eden ciddi bir hastalıktır. Hastalığın kaynağı kedi koronovirüsüdür (FCoV). FCoV'un patojenik özelliği daha düşüktür ve kediler arasında son derece yaygındır. FİP virüsü ise FCoV virüsünün mutasyon geçirerek makrofaj tropizmi özelliğini kazanan daha patojenik bir biyotiptir. Bu patolojik virüs makrofajları enfekte ederek, bu hücreler içinde çoğalır. Böylece sistemik yayılımı gerçekleştirmiş olur ve immun aracılı piogranülomatöz inflamasyon tetiklenir. FİP hastalığı çok farklı klinik belirtilerle ortaya çıksa da effüzif (ıslak) ve effüzif olmayan (kuru) olmak üzere 2 ana formda görülür. Ayrıca kuru formda başlayan bir FİP enfeksiyonu zaman içerisinde ıslak forma dönüşebilir veya tam tersi olabilir. Hem ıslak formda hem de kuru formda oftalmik ve/veya nörolojik tutulumlar izlenebilir. FİP hastalığının tanısı koymak günümüzde hala karmaşıklığını devam ettirmektedir. Genellikle anemnez bilgisine ek olarak klinik tablo, tam kan sayımı ve biyokimya analizleri sonucunda hastalık şüphesine dayanmaktadır. Devamında ise immünofloresans, immünohistokimya ve RT-PCR gibi analizler ile doğrulanır. Bu sırada elde edilen sonuçlar ile diğer hastalıkların dışlanması önemlidir. FİP tedavisinde nükleozid analogların ve proteaz inhibitörlerinin kullanımı, önemli aşama kaydedilmesine yardımcı olmuştur. Erken antiviral tedavi ile %77-96 sağkalım oranları görülmektedir. Bazı kediler başlangıçta ek destekleyici sağaltıma ihtiyaç duysalar da çoğu kedide birkaç gün içerisinde belirgin klinik iyileşme göze çarpmaktadır. Ağır vakalarda ise tedaviye başlanmasına rağmen ilk haftalarda ölümler görülebilir. Tedavinin ilk haftasını atlatmak, iyileşmenin görülme şansını önemli ölçüde arttırır.
Anahtar Kelimeler: kedi bulaşıcı peritoniti (FIP), kedi koronavirüsü (FCoV), makrofaj tropizmi, piogranülomatöz inflamasyon, antiviral tedavi.

Abstract
Feline infectious peritonitis (FIP) is a serious, life-threatening disease affecting both domestic and wild cats worldwide. The disease is caused by the feline coronavirus (FCoV). FCoV is less pathogenic and is extremely common among cats. The FIP virus, on the other hand, is a more pathogenic biotype of the FCoV virus that has mutated to acquire macrophage tropism. This pathogenic virus infects macrophages and replicates within these cells. This leads to systemic spread and triggers an immune-mediated pyogranulomatous inflammation. Although FIP presents with a wide variety of clinical signs, it is generally classified into two main forms: effusive (wet) and non-effusive (dry). Furthermore, a FIP infection that begins as the dry form may progress to the wet form over time, or vice versa. Ophthalmic and/or neurological involvement may be observed in both the wet and dry forms. Diagnosing FIP remains challenging today. The diagnosis is typically based on clinical presentation, a complete blood count, and biochemical analyses, in addition to the patient's medical history. It is subsequently confirmed through tests such as immunofluorescence, immunohistochemistry, and RT-PCR. It is important to rule out other diseases based on the results obtained during this process. The use of nucleoside analogs and protease inhibitors in FIP treatment has helped achieve significant progress. Survival rates of 77–96% have been observed with early antiviral treatment. Although some cats may initially require additional supportive care, most cats show noticeable clinical improvement within a few days. In severe cases, however, deaths may occur during the first few weeks despite the initiation of treatment. Surviving the first week of treatment significantly increases the chances of recovery.
Keywords: feline infectious peritonitis (FIP), feline coronavirus (FCoV), macrophage tropism, pyogranulomatous inflammation, antiviral treatment..

MECHANISMS OF SPOILAGE INHIBITION BY LACTIC ACID BACTERIA IN SEAFOOD PRODUCTS

Res. Asst. Serya Tülin ÖZKÜTÜK
Department of Seafood Processing Technology, Faculty of Fisheries, Çukurova University, Adana, Türkiye.
ORCID ID: 0009-0007-3892-0354

Prof. Dr. Fatih ÖZOĞUL
Department of Seafood Processing Technology, Faculty of Fisheries, Çukurova University, Adana, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-0655-0105

Abstract
Seafood products are highly susceptible to microbial spoilage due to their high-water activity, nutrient-rich composition, and favorable postmortem pH conditions. The growth and metabolic activities of specific spoilage organisms, particularly *Pseudomonas*, *Shewanella*, and *Photobacterium* species, can lead to the formation of undesirable metabolites, deterioration of sensory quality, and a substantial reduction in shelf life. This study aims to evaluate the major mechanisms by which lactic acid bacteria (LAB) inhibit microbial spoilage in seafood products and to assess their potential as natural bioprotective cultures. For this purpose, scientific studies addressing the application of LAB in seafood, their antagonistic activity against spoilage microorganisms, and the underlying biochemical and microbial mechanisms were evaluated. Current evidence indicates that LAB can suppress the growth and metabolic activity of spoilage microorganisms through multiple mechanisms, including the production of organic acids, bacteriocins, hydrogen peroxide, and other antimicrobial metabolites, as well as competition for nutrients and ecological niches and interactions within microbial communities. However, the effectiveness of LAB-mediated bioprotection varies considerably depending on the bacterial strain, target microorganism, seafood matrix, storage temperature, initial microbial load, and packaging conditions. This work highlights the importance of strain- and product specific selection when developing LAB based biopreservation strategies. In conclusion, appropriately selected LAB and their antimicrobial activities represent a promising natural and sustainable approach for controlling microbial spoilage, maintaining seafood quality, and extending product shelf life.
Keywords: Lactic acid bacteria; seafood; microbial spoilage; biopreservation

POSTBIOTICS FROM MARINE LACTIC ACID BACTERIA AS NEXT-GENERATION NATURAL PRESERVATIVES FOR SEAFOOD

Res. Asst. Serya Tülin ÖZKÜTÜK
Department of Seafood Processing Technology, Faculty of Fisheries, Çukurova University, Adana, Türkiye.
ORCID ID: 0009-0007-3892-0354

Prof. Dr. Fatih ÖZOĞUL
Department of Seafood Processing Technology, Faculty of Fisheries, Çukurova University, Adana, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-0655-0105

Abstract
The increasing demand for natural and clean label preservation strategies has encouraged the exploration of microbial derived bioactive compounds as alternatives to conventional preservatives in seafood products. Although lactic acid bacteria (LAB) have considerable potential as bioprotective cultures, the use of viable cells may present technological challenges related to stability, standardization, and interactions with the food matrix. In this context, postbiotics derived from marine and seafood-associated LAB have emerged as promising candidates for next-generation seafood preservation. This study aims to evaluate the potential of marine LAB derived postbiotics as natural preservatives, with particular emphasis on their bioactive components, functional properties, and applications in seafood systems. Scientific studies addressing marine and seafood associated LAB, postbiotic preparations, antimicrobial and antioxidant activities, and their potential applications in food preservation were evaluated. Current evidence indicates that LAB derived postbiotic preparations may contain a diverse range of bioactive components, including organic acids, bacteriocins and other antimicrobial peptides, exopolysaccharides, and cellular components. These compounds can contribute to antimicrobial, antibiofilm, and antioxidant activities relevant to the control of seafood deterioration. In addition, the absence of a requirement for viable cells may provide technological advantages in terms of storage stability, formulation, and incorporation into different preservation systems. Nevertheless, the efficacy of postbiotics may vary depending on the bacterial strain, preparation method, composition, concentration, seafood matrix, and storage conditions. Challenges related to standardization, sensory effects, scalability, and regulatory frameworks also need to be addressed. In conclusion, postbiotics derived from marine LAB represent a promising complementary approach to natural seafood preservation.
Keywords: Postbiotics, marine lactic acid bacteria, antimicrobial metabolites, natural preservatives

FARKLI KURU MADDE ORANLARINDA SİLOLANAN VE ZEYTİN POSASI İÇEREN TOPLAM KARIŞIM RASYONLARININ MİKROORGANİZMA DAĞILIMI ÜZERİNE ETKİLERİ

EFFECTS OF DRY MATTER LEVEL ON MICROBIAL DISTRIBUTION IN OLIVE CAKE-CONTAINING TOTAL MIXED RATIONS ENSILED AT DIFFERENT DRY MATTER RATIOS

Asst. Prof. Dr. Murat ER
Department of Veterinary Medicine, Karşıyaka Vocational School, İzmir Bakırçay University, İzmir, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-6623-1539

Prof. Dr. Kanber KARA
Department of Animal Nutrition and Nutritional Diseases, Faculty of Veterinary Medicine, Erciyes University, Kayseri, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-9867-1344

Assoc. Prof. Dr. Eren KUTER
Department of Animal Nutrition and Nutritional Diseases, Faculty of Veterinary Medicine, Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Burdur, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-4536-9058

Asst. Prof. Dr. Hulusi AKÇAY
Department of Animal Feed and Nutrition, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Aydın Adnan Menderes University, Aydın, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-9759-1035

Sena Yılmaz ÖZTAŞ
Department of Animal Nutrition and Nutritional Diseases, Faculty of Veterinary Medicine, Erciyes University, Kayseri, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-0161-4923

Özet

Toplam karışım rasyonunun anaerobik şartlarda muhafaza edilmesi ile elde edilen silolanmış TKR, kuru madde içeriği düşük yemlerin (özellikle zeytin posası gibi gıda sanayii atıklarının) hayvan beslemede kullanılabilirliğinin artırılması, daha homojen bir yapıda ve yüksek aerobik stabilite özelliği ile daha uzun süre depolanabilen bir yem elde edilmesi gibi avantajlar sahip bir uygulamadır. Bununla birlikte elde edilen yüksek aerobik stabilite değerleri ve fenolik bileşik içeriği yüksek zeytin posasının kullanımı STKR'lerde silo sonu mikroorganizma dağılımı ile ilgili merak uyandırmıştır. Bu nedenle bu çalışmada taze zeytin posasının ön işleme tabi tutulmadan (ek bir maliyet gerektirmeden) silolanması ile KM'de %10 taze zeytin posası içeren TKR'lerin farklı KM'lerde silolanmasının mikroorganizma dağılımına etkilerini incelemek ve karşılaştırmak amaçlanmıştır. Bu bağlamda; ilk grupta (STZP); sadece taze zeytin posası silolonmış %20-24 KM oranına sahip silaj elde edilmiştir. Diğer gruplar için ise KM'de 50:50 kaba/konsantre yem oranına sahip ve KM'de %10 zeytin posası içeren TKR ile üç ayrı KM'de fermantasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Denemenin ikinci grubunda (DKM); %40 KM oranına sahip TKR, üçüncü grubunda (OKM); %50 KM oranına sahip TKR ve dördüncü grubunda (YKM); %60 KM oranına sahip TKR hazırlanmıştır. Hazırlanan TKR'lar ve taze zeytin posası 60 gün süreyle silolanmıştır. 60. günde açılan örneklerde mikroorganizma sayımları (toplam bakteri, laktik asit bakterileri, maya ve küf, enterobakteriler, koliform bakteriler) gerçekleştirilmiştir. Denemelerden elde edilen tesadüf parselleri deneme düzenine göre analize tabi tutulmuş ve gruplar arasındaki farklar Tukey çoklu karşılaştırma testi ile belirlenmiştir. STZP grubunda toplam bakteri sayısı (3.97 Log10 kob/g) DKM. OKM ve YKM gruplarına göre önemli ölçüde düşük olduğu tespit edilmiştir (sırasıyla 5.73. 5.49 ve 6.62 Log10 kob/g; $P<0.05$).

Benzer şekilde laktik asit bakterisi (LAB) sayıları da gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermiştir (P<0.05). STZP grubunda LAB sayısı 2.57 Log10 kob/g olarak ölçülmüş olup, bu değer DKM OKM ve YKM gruplarına göre anlamlı derecede düşüktür (P<0.05). STZP grubunda maya ve küf tespit edilmezken, maya ve küf sayıları STKR'lar arasında benzer olduğu belirlenmiştir. Koliform ve enterobakter ise tüm gruplarda tespit edilememiştir.
Anahtar Kelimeler: Taze zeytin posası, silolanmış toplam karışım rasyonu, mikroorganizma dağılımı, silaj mikrobiyolojisi

Abstract

Ensiled total mixed ration (ETMR), obtained by preserving total mixed rations under anaerobic conditions, is a practice that offers several advantages, including increasing the usability of low dry matter feeds (particularly food industry by-products such as olive cake) in animal feeding, and producing a more homogeneous feed with higher aerobic stability that can be stored for longer periods. However, the high aerobic stability values obtained and the use of olive cake, which has a high phenolic compound content, have raised questions regarding the microbial distribution at the end of ensiling in ETMRs. Therefore, this study aimed to investigate and compare the effects of ensiling fresh olive cake without any pretreatment (without requiring additional cost) on the microbial distribution of TMRs containing 10% fresh olive cake on a DM basis, ensiled at different DM levels. In this context, in the first group (SOC), silage was obtained by ensiling only fresh olive cake, with a DM ratio of 20–24%. For the other groups, fermentation was carried out at three different DM levels using TMRs with a 50:50 roughage/concentrate ratio (DM basis) and containing 10% olive cake (DM basis). In the second group of the experiment (LDM), a TMR with 40% DM was prepared; in the third group (MDM), a TMR with 50% DM was prepared; and in the fourth group (HDM), a TMR with 60% DM was prepared. The prepared TMRs and fresh olive cake were ensiled for 60 days. On day 60, samples were opened and microbial counts (total bacteria, lactic acid bacteria, yeast and mold, Enterobacteriaceae, and coliform bacteria) were determined. Data obtained from the trials, arranged according to a completely randomized design, were subjected to analysis, and differences among groups were determined using Tukey's multiple comparison test. In the SOC group, the total bacterial count (3.97 Log10 cfu/g) was found to be significantly lower than in the LDM, MDM, and HDM groups (5.73, 5.49, and 6.62 Log10 cfu/g, respectively; P<0.05). Similarly, lactic acid bacteria (LAB) counts also differed significantly among groups (P<0.05). In the SFOP group, the LAB count was measured as 2.57 Log10 cfu/g, which was significantly lower than in the LDM, MDM, and HDM groups (P<0.05). While yeast and mold were not detected in the SFOP group, yeast and mold counts were found to be similar among the STMR groups. Coliform and Enterobacteriaceae were not detected in any of the groups.
Keywords: Fresh olive cake, ensiled total mixed ration, microbial distribution, silage microbiology

CPR IN DOGS AND CATS: BASIC LIFE SUPPORT

Res. Asst. Dr. Tolga Meriç DÜMBEK
Department of Surgery, Milas Faculty of Veterinary Medicine, Muğla Sıtkı Koçman University, Muğla, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-1734-3491

Özet
Kardiyopulmoner arrest (CPA), spontan dolaşım ve solunumun ani ve beklenmedik şekilde durmasıyla karakterize, kedi ve köpeklerde sık karşılaşılan ve müdahele edilmediğinde birkaç dakika içinde ölümle sonuçlanan kritik bir acil durumdur. Kardiyopulmoner resüsitasyon (CPR), CPA gelişen bir hastada spontan dolaşımı geri kazandırmak amacıyla uygulanan; göğüs kompresyonları, hava yolu yönetimi, ventilasyon, ilaç tedavisi ve defibrilasyonu içeren sistematik girişimler bütünüdür. Temel Yaşam Desteği (BLS), CPR'nin ilaç veya elektriksel müdahale gerektirmeyen, yalnızca kompresyon ve ventilasyona dayanan ilk ve en kritik basamağıdır; erken ve etkili uygulanan BLS, spontan dolaşımın geri dönme olasılığını ve sağkalım oranını doğrudan belirlemektedir. Veteriner CPR alanında önerilen kurum olan RECOVER (Reassessment Campaign on Veterinary Resuscitation), güncel kılavuzunu 2024 yılında yayımlamıştır. Güncel BLS önerilerine göre, CPA fark edildiğinde göğüs kompresyonlarına gecikmeden başlanmalıdır. Hasta lateral, geniş göğüslü ırklarda dorsal pozisyonda tutulmalı; küçük köpek ve kedilerde lateral, tek elle avuç içi veya tek elle başparmak-parmak tekniklerinden biri kullanılmalıdır. Kompresyon derinliği göğüs genişliğinin yaklaşık %25'i, hız dakikada 100-120 olmalı ve tam göğüs geri gelimine izin verilmelidir. Kompresyonlara ara verilmemeli, uygulayıcı yaklaşık 2 dakikada bir değiştirilmelidir. Entübasyon, kompresyonlar kesilmeden en kısa sürede sağlanmalıdır. Entübe olmayan hastalarda kompresyon: solunum oranı 30:2 uygulanmalı; solunum desteği maske ile sağlanmalıdır. Entübe hastalarda kompresyonlar kesintisiz sürerken dakikada yaklaşık 10 solunum verilmelidir.
Anahtar Kelimeler: arrest, dolaşım, hava yolu, kompresyon.

Abstract
Cardiopulmonary arrest (CPA) is a critical emergency in dogs and cats, characterized by the sudden and unexpected cessation of spontaneous circulation and breathing, and is fatal within minutes if left untreated. Cardiopulmonary resuscitation (CPR) is the systematic set of interventions (including chest compressions, airway management, ventilation, drug therapy, and defibrillation), used to restore spontaneous circulation in a patient experiencing CPA. Basic Life Support (BLS) constitutes the first and most critical component of CPR, relying solely on compressions and ventilation without drugs or electrical intervention; early and effective BLS directly determines the likelihood of return of spontaneous circulation and the survival rate. RECOVER (Reassessment Campaign on Veterinary Resuscitation), the recommended authority in veterinary CPR, published its current guidelines in 2024. According to current BLS recommendations, chest compressions should begin without delay once CPA is recognized. Patients should be positioned in lateral recumbency, or dorsal recumbency in barrel-chested breeds; in small dogs and cats, one of the following techniques should be used: lateral, one-handed palm, or one-handed thumb-to-fingers. Compression depth should target approximately 25% of chest width, at a rate of 100-120 per minute, allowing full chest recoil. Interruptions should be minimized, with the compressor rotated approximately every 2 minutes. Endotracheal intubation should be secured as soon as possible without interrupting compressions. In non-intubated patients, a compression-to-ventilation ratio of 30:2 should be applied; ventilatory support should be provided via a face mask. In intubated patients, compressions should continue uninterrupted while approximately 10 breaths per minute are delivered.
Keywords: airway, arrest, circulation, compression.

AMELIORATIVE EFFECTS OF AZOTOBACTER STRAINS AND MACROALGAL EXTRACT ON MAIZE SEEDLINGS UNDER DROUGHT STRESS

Aysun SAĞIR
Faculty of Science, Harran University, Şanlıurfa, Türkiye.
ORCID ID: 0009-0007-7252-6940

Assoc. Prof. Dr. Sedat ÇAM
Faculty of Science, Harran University, Şanlıurfa, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-9030-6713

ABSTRACT
This study investigated the ameliorative effects of plant growth-promoting Azotobacter strains possessing distinct biofilm-forming and exopolysaccharide (EPS) production capabilities, applied both individually and in combination with freshwater macroalgal Cladophora glomerata extract, on maize seedlings exposed to drought stress conditions. Two bacterial strains were characterized based on their functional traits: a low-producing strain, Azotobacter tropicalis, and a high-producing strain, Azotobacter chroococcum. Spectrophotometric laboratory analyses demonstrated a strong positive correlation between biofilm formation and total exopolysaccharide synthesis, with the maximum production levels consistently observed when both bacterial strains were combined alongside ethefresh water macroalgalextract.Under controlled greenhouse conditions, severe and prolonged water restriction negatively impaired the physiological and morphological characteristics of untreated control maize seedlings, resulting in substantial reductions in leaf relative water content, shoot elongation, root biomass, and photosynthetic chlorophyll pigment concentrations. Conversely, the application of biological treatments significantly counteracted the adverse impacts of water deficit. The co-application of the high-producing strain combined with macroalgal extract, as well as the comprehensive triple treatment comprising both bacterial strains and the macroalgal extract, resulted in remarkable and statistically significant improvements in plant water retention, chlorophyll synthesis, and overall vegetativegrowthparameters.
These empirical findings demonstrate that the synergistic interaction between biofilm- and exopolysaccharide-producing Azotobacter strains and macroalgal bio-stimulants substantially enhances drought stress tolerance in young maize plants by preserving cellular hydration and sustaining physiological development. Consequently, utilizing multi-strain microbial inoculants in conjunction with algal extracts presents a highly efficient, ecologically friendly, and sustainable bio-fertilization strategy to improve crop resilience, growth performance, and agricultural productivity in arid and water-limited cultivation environments.
Keywords: Azotobacter, Biofilm, Macroalgal extract, Drought stress

DOĞU KARADENIZ KOŞULLARINDA SALEP ORKIDESI (SERAPIAS VOMERACEA) YETIŞTIRICILIĞINDE ORGANIK UYGULAMALARIN YUMRU VE BITKI ÖZELLIKLERINE ETKISI

EFFECTS OF ORGANIC APPLICATIONS ON TUBER AND PLANT TRAITS OF CULTIVATED SALEP ORCHID (SERAPIAS VOMERACEA) UNDER EASTERN BLACK SEA CONDITIONS

Kemal YILDIRIM
Department of Forestry, Boğazlıyan Vocational School, Yozgat Bozok University, Yozgat, Türkiye**.**

Asst. Prof. Dr. Aysun ŞEHİT
Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Yozgat Bozok University, Yozgat, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-1968-9325

Özet
Salep, Türkiye'de köklü bir kültürel ve ekonomik geçmişe sahip, yumrularından elde edilen tozu geleneksel içecek ve dondurma üretiminde kıvam artırıcı olarak kullanılan değerli bir üründür. Artan talep, salep orkidesi yumrularının doğadan yoğun ve kontrolsüz biçimde toplanmasına ve doğal popülasyonların gerilemesine yol açmakta, bu nedenle türlerin kültüre alınması hem biyolojik çeşitliliğin korunması hem de sürdürülebilir üretim açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmada *Serapias vomeracea* türünün Doğu Karadeniz koşullarında kültüre alınması ve iki organik uygulamanın bitki gelişimi üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Uygulamalardan vermikompost gübre olarak değerlendirilmesinin yanı sıra toprağa organik madde ve bitki besin elementi kazandırma, mikrobiyal etkinliği ve toprak özelliklerini iyileştirmeye yönelik özelliklerinin de olması nedeniyle önem kazanmıştır. Deniz yosunu (*Ascophyllum nodosum*) ise içerdiği biyoaktif bileşenlerle kök-sürgün gelişimi, besin alımı ve çevresel streslere dayanıklılık üzerinde etkili olabilen bir biyostimülant olarak değerlendirilmiştir. Deneme, tesadüf blokları deneme deseninde kontrol, vermikompost ve deniz yosunu uygulamalarını içerecek şekilde kurulmuştur. Uygulamalar arası verim farkını belirlemek amacıyla yumru eni, yumru boyu, bitki boyu, yaprak sayısı, çiçek sayısı, yaprak uzunluğu ve yaprak eni ölçülmüştür. Yumru eni, bitki boyu, yaprak sayısı ve çiçek sayısı bakımından farklar önemsiz bulunmuştur. Yumru boyu kontrolde (15,32 cm), vermikompost (14,40 cm) ve deniz yosunundan (13,67 cm) anlamlı biçimde yüksektir. Yaprak uzunluğu deniz yosununda (22,00 cm), kontrol (17,50 cm) ve vermikomposttan (19,00 cm) göre yüksek bulunmuştur. Yaprak eni ise kontrolde (2,92 cm) organik uygulamalardan (2,50 ve 2,30 cm) yüksek belirlenmiştir. Bu bulgular, organik uygulamaların yumru gelişimi ve bitkisel özelliklerde genel bir üstünlük sağlamadığını, yanıtların özelliğe göre değiştiğini göstermektedir. Uygulama dozu, zamanı ve yetiştirme ortamının yeniden değerlendirilmesi ile sonuçların farklı yıl, doz ve ekolojik koşullarda çok yıllık denemelerle doğrulanması yararlı olacağı düşünülmüştür.
Anahtar Kelimeler: Salep Orkidesi (*Serapias vomeracea*), vermikompost, *Ascophyllum nodosum*, organik gübreleme, sürdürülebilir üretim

Abstract
Salep is a valuable plant product with deep-rooted cultural and economic importance in Türkiye, the powder obtained from its tubers is widely used as a thickening agent in the production of traditional beverages and ice cream. The rising demand has led to intensive and uncontrolled harvesting of salep orchid tubers from the wild and to a decline in natural populations, therefore, bringing these species into cultivation is important both for conserving biological diversity and for sustainable production. This study aimed to bring *Serapias vomeracea* into cultivation under Eastern Black Sea conditions and to determine the effects of two organic applications on plant growth. Among the applications, vermicompost gained importance not only as a fertilizer but also because of its capacity to add organic matter and plant nutrients to the soil, enhance microbial activity, and improve soil properties, whereas seaweed (*Ascophyllum nodosum*) was evaluated as a biostimulant whose bioactive compounds may influence root and shoot development, nutrient uptake, and tolerance to environmental stresses. The experiment was established in a randomized complete block design comprising control, vermicompost, and seaweed treatments.

To determine yield differences among the treatments, tuber width, tuber length, plant height, leaf number, flower number, leaf length, and leaf width were measured. No significant differences were found in tuber width, plant height, leaf number, or flower number. Tuber length was significantly higher in the control (15.32 cm) than in the vermicompost (14.40 cm) and seaweed (13.67 cm) treatments. Leaf length was higher under the seaweed treatment (22.00 cm) than in the control (17.50 cm) and vermicompost (19.00 cm). Leaf width, in turn, was determined to be higher in the control (2.92 cm) than in the organic applications (2.50 and 2.30 cm). These findings indicate that the organic applications did not provide an overall superiority in tuber development or plant traits and that the responses varied depending on the trait. It is considered that reassessing the application dose, timing, and growing medium, and confirming the results through multi-year trials conducted under different years, doses, and ecological conditions, would be beneficial.
Keywords: Sahlep orchid (*Serapias vomeracea*), Vermicompost, *Ascophyllum nodosum*, organic fertilization, sustainable production

Giriş

Salep, Orchidaceae familyasına ait yumrulu karasal orkidelerin kurutulup öğütülmüş yumrularından elde edilir. Türkiye'de sıcak salep içeceği ile Maraş dondurması başta olmak üzere geleneksel ürünlerde doğal kıvam artırıcı olarak kullanılan değerli bir üründür (Erzurumlu ve Doran 2011, Turgay ve Çınar 2017, Türkmen 2021). Salebin bu işlevi, türe bağlı olarak %17,7–54,6 arasında değişen ve yüksek viskozite oluşturan glukomannan içeriğinden kaynaklanmaktadır. Bu polisakkarit gıda ve sağlık alanındaki uygulamalarda da ilgi görmektedir (Kurt 2017, Turgay ve Çınar 2017). Ancak üretim büyük ölçüde doğadan toplanan yumrulara dayanmaktadır. CITES ve ulusal yasal düzenlemelere rağmen süren bu toplayıcılık doğal popülasyonları tehdit etmektedir (Kreziou ve ark. 2016, Palaz ve ark. 2018, Sandal ve Söğüt 2010, Türkmen 2021). Türkiye'nin en yaygın yumrulu orkidelerinden biri olan *Serapias vomeracea* kolay erişilebilirliği ve yumrularının ekonomik değeri nedeniyle doğadan en çok toplanan türler arasında yer almaktadır (Çalışkan ve ark. 2020). Endospermsiz mikroskobik tohumlar ancak uygun mikorizal funguslarla ortaklık kurduğunda çimlenebilmektedir. Bu durum ve tek büyüme noktalı yumru yapısı, türün çoğaltımını güçleştirmektedir (Gümüş 2009, Çalışkan ve ark. 2020). Buna karşın *S. vomeracea*, yumru oluşturma kapasitesi ve kültür koşullarına uyumu bakımından kültüre alınmaya en uygun salep türlerinden biri olarak gösterilmektedir (Türkmen 2021). Karadeniz Bölgesi'nin nemli ve ılıman iklimi orkideler için elverişli bir ortam sunmaktadır (Ors ve ark. 2010). Bununla birlikte Doğu Karadeniz'in yüksek yağışı, engebeli topoğrafyası ve küçük, parçalı işletme yapısı, yetiştirme tekniklerinin bölgeye özgü olarak sınanmasını gerektirmektedir. Nitekim *S. vomeracea*'nın kültür koşullarında organik girdilere verdiği tepkiye ilişkin çalışmalar oldukça sınırlıdır (Duyar 2022, Günlü 2022).

Vermikompost, organik atıkların toprak solucanları ve mikroorganizmalar tarafından işlenmesiyle elde edilen, organik madde ve yarayışlı besin elementlerince zengin bir toprak düzenleyicidir (Al-Maamori ve ark. 2023, Patel ve ark. 2024). Toprak yapısını ve besin elverişliliğini iyileştirerek birçok kültür bitkisinde gelişimi ve verimi artırdığı bildirilmektedir (Blouin ve ark. 2019, Al-Sadek ve ark. 2024). Ancak bu etki her durumda aynı değildir. Meta-analiz sonuçlarına göre yanıt, bitki familyasına, uygulama oranına ve mineral gübre varlığına göre değişmektedir. Bazı bitki gruplarında kök biyokütlesi azalabilmekte, yüksek oranlarda ise olumlu etki kaybolabilmektedir (Blouin ve ark. 2019). Salep orkidelerinin organik girdilere tepkisine ilişkin veriler ise oldukça sınırlıdır (Duyar 2022). Bu nedenle vermikompostun *S. vomeracea*'da yumru gelişimine katkısının deneysel olarak sınanması gerekmektedir.

Deniz yosunu özütleri, besin elementleri, bitki hormonları ve biyoaktif bileşikler içeren, bitki gelişimini ve çevresel streslere dayanıklılığı desteklemek amacıyla kullanılan doğal biyostimülantlardır (Villa e Vila ve ark. 2024). Bu özütlerin oksin ve sitokinin metabolizmasıyla ilişkili genleri düzenleyerek hücre bölünmesini ve genişlemesini uyardığı, böylece yaprak alanını artırdığı gösterilmiştir (Shukla ve ark. 2023). Nitekim *Ascophyllum nodosum* özütü domates ve patlıcan fidelerinde yaprak uzunluğunu ve biyokütleyi artırmış (Villa e Vila ve ark. 2024), deniz yosunu uygulamaları guava ve moringada da sürgün gelişimini desteklemiştir (Mosa ve ark. 2021, Huria ve ark. 2024). Ancak yanıt bitki türüne ve doza göre değişmekte, doz artışı her zaman ek yarar sağlamamaktadır (Villa e Vila ve ark. 2024).

Toprak altı depo organı oluşturan bitkilerde yürütülen çalışmalar ise sınırlıdır (Thakur ve ark. 2025). Bu nedenle deniz yosununun *S. vomeracea*'da yumru ve bitki gelişimine etkisinin sınanması gerekmektedir. Bu çalışmada, *Serapias vomeracea* türünün Doğu Karadeniz koşullarında kültüre alınması ve vermikompost ile deniz yosunu (*Ascophyllum nodosum*) uygulamalarının yumru ve bitki özellikleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla uygulamalar, yumru eni, yumru boyu, bitki boyu, yaprak sayısı, çiçek sayısı, yaprak uzunluğu ve yaprak eni bakımından kontrol ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulguların, türün sürdürülebilir yetiştiriciliğine yönelik uygulama önerilerine ve ileride yapılacak çalışmalara temel oluşturması beklenmektedir.

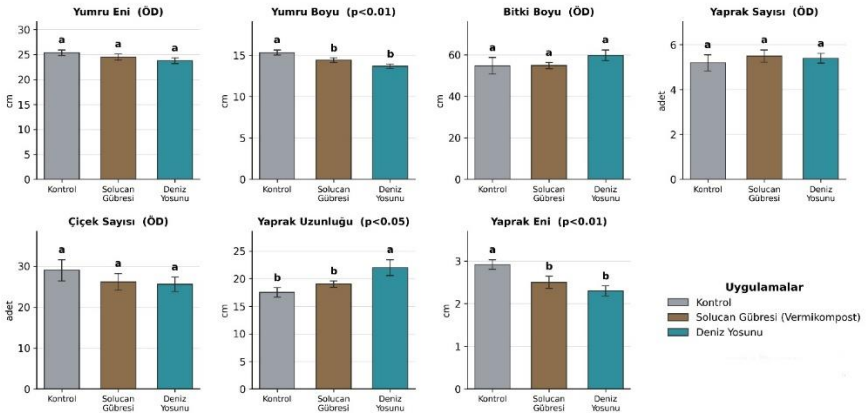
Materyal ve Yöntem

Çalışma, 2025–2026 yetiştirme döneminde Doğu Karadeniz Bölgesi'nde (Trabzon/Maçka, 800 rakım] açık arazi koşullarında yürütülmüştür. Bitkisel materyal olarak *Serapias vomeracea* türüne ait toplam 2,5 kg yumru kullanılmıştır. Organik uygulama olarak vermikompost (solucan gübresi) ve deniz yosunu (*Ascophyllum nodosum* L.) kullanılmıştır.

Deneme, tesadüf blokları deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak kurulmuştur. Uygulamalar kontrol, vermikompost ve deniz yosunu olmak üzere üç gruptan oluşmuştur. Yumrular, en ve boy ölçümleri alındıktan sonra Eylül ayı içerisinde dikilmiştir. Vermikompost dikim öncesinde 500 g/m^2 dozunda uygulanmıştır (Duyar 2022). Deniz yosunu 10 g/m² dozunda toprağa uygulanmıştır. Bitkiler, çiçeklerin kurumaya başladığı 21 Mayıs 2026 tarihinde sökülmüştür. Her uygulamada yumru eni ve yumru boyu (cm), bitki boyu (cm), yaprak sayısı (adet/bitki), çiçek sayısı (adet/bitki), yaprak uzunluğu (cm) ve yaprak eni (cm) belirlenmiştir (Duyar 2022; Çürük 2023). Yumru ölçümleri dijital kumpasla, bitki boyu ve yaprak ölçümleri cetvelle yapılmıştır. Veriler SPSS (Ver. 26) programında tek yönlü varyans analizine (ANOVA) tabi tutulmuş, ortalamalar arasındaki farklar Duncan çoklu karşılaştırma testiyle belirlenmiştir ($p<0,05$).

Bulgular ve Tartışma

Yumru eni bakımından uygulamalar arasındaki fark önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$). Değerler 23,76 ile 25,37 cm arasında değişmiştir (Şekil 1). Yumru boyunda ise fark önemli bulunmuştur ($p<0,01$). Kontrol, vermikompost ve deniz yosunundan yüksek elde edilmiştir. Çalışmamızın aksine Al-Sadek ve ark. (2024) vermikompostun sümbülteride yumru verimini, Thakur ve ark. (2025) ise deniz yosununun safranda korm üretimini artırdığını bildirmişlerdir. Bununla birlikte vermikompostun etkisinin bitki familyasına ve uygulama oranına göre değiştiği, yüksek oranlarda olumlu etkinin kaybolduğu ifade edilmiştir (Blouin ve ark. 2019). Ayrıca *S. vomeracea*'da yeni yumrunun gelişimini en çok dikilen yumrunun büyüklüğünün belirlediği de belirtilmiştir (Çalışkan ve ark. 2020).



Şekil 1.

Bitki boyu, yaprak sayısı ve çiçek sayısı bakımından uygulamalar arasında önemli fark saptanmamıştır ($p>0,05$). Yaprak uzunluğu deniz yosunu uygulamasında kontrole ve vermikomposta göre önemli düzeyde yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). Bu bulgu, *A. nodosum* özütünün domates ve patlıcan fidelerinde yaprak uzunluğunu artırdığını bildiren Villa e Vila ve ark. (2024) ile uyumludur.

Yaprak eni ise kontrolde en yüksek değeri almış, vermikompostta ve deniz yosununda önemli düzeyde azalmıştır ($p<0,01$). Deniz yosunu uygulamasında yapraklar uzamış ancak daralmıştır. İncelenen yedi özelliğin dördünde uygulamalar arasında fark bulunmamış, üçünde ise yanıt özelliğe göre değişmiştir. Organik uygulamalar yumru gelişiminde kontrole üstünlük sağlamamıştır. Çalışmanın tek yetiştirme dönemini ve her uygulama için tek dozu kapsaması, sonuçların genellenmesini sınırlamaktadır.

Sonuç

Doğu Karadeniz koşullarında *S. vomeracea* tarla koşullarında yetiştirilebilmiş, bitkiler çiçeklenme ve yumru oluşturma evrelerini tamamlamıştır. Vermikompost ve deniz yosunu uygulamaları yumru gelişimini artırmamış, deniz yosunu yalnızca yaprak uzunluğunu artırmıştır. Uygulama dozu ve zamanının yeniden değerlendirilmesi, sonuçların farklı dozlar ve dikim sıklıklarıyla çok yıllık denemelerde sınanması önerilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 1919B012407300 numaralı proje ile desteklenmiştir. Katkılarından dolayı kuruma teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Al-Maamori, H. A., Salman, A. D., Al-Budeiri, M., Al-Shami, Y. A. O., & Al-Shaabani, E. M. (2023). Effect of vermicompost production on some soil properties and nutrients in plants. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1214, 012006. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1214/1/012006

Al-Sadek, R. I. R., Abdel-Rahman, S. S. A., Soliman, W. S., & Gahory, A. (2024). Effect of vermicompost as growth media on tuberose (Polianthes tuberosa L.) plant. Aswan University Journal of Environmental Studies, 5(4), 483–494. https://doi.org/10.21608/aujes.2024.316515.1278

Blouin, M., Barrere, J., Meyer, N., Lartigue, S., Barot, S., & Mathieu, J. (2019). Vermicompost significantly affects plant growth. A meta-analysis. Agronomy for Sustainable Development, 39, 34. https://doi.org/10.1007/s13593-019-0579-x

Çalışkan, Ö., Kurt, D., & Odabaş, M. S. (2020). Agronomic characteristics of Serapias vomeracea (Burm. f.) Briq. salep orchids. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 48(1), 245–260. https://doi.org/10.15835/nbha48111753

Çürük, U. (2023). Organik ve inorganik gübre uygulamalarının salep bitkisinde morfolojik özellikleri ile yumru verimi ve kalitesi üzerine etkileri (Doktora tezi). Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Adana.

Duyar, K. (2022). Vermikompost ve mikoriza uygulamalarının sera koşullarında Serapias vomeracea ve Orchis sancta salep orkidesi türlerinin yumru verimine etkileri (Doktora tezi). Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Samsun.

Gümüş, C. (2009). Batı Karadeniz Bölgesi'nde salep elde edilmesinde kullanılan bazı orkide türlerinin (Orchidaceae) çoğaltım yöntemleri üzerinde araştırmalar (Doktora tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Günlü, H. (2022). Doğu Karadeniz Projesi bölgesinde tarımsal girişimcilik kapasitesinin analizi (Doktora tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü).

Huria, F. M., Shaaban, E. H., & Gaber, M. K. (2024). Influence of certain biostimulants on the vegetative growth of annual moringa (Moringa oleifera Lam). European Journal of Medicinal Plants, 35(5), 1–15. https://doi.org/10.9734/ejmp/2024/v35i51198

Kreziou, A., de Boer, H., & Gravendeel, B. (2016). Harvesting of salep orchids in north-western Greece continues to threaten natural populations. Oryx, 50(3), 393–396. https://doi.org/10.1017/S0030605315000265

Kurt, A. (2017). Salep glukomannanın klarifikasyon ve deasetilasyonu: Yapı-proses-özellik ilişkilerinin belirlenmesi (Doktora tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Mosa, W. F. A., Sas-Paszt, L., Górnik, K., Ali, H. M., & Salem, M. Z. M. (2021). Vegetative growth, yield, and fruit quality of guava (Psidium guajava L.) cv. Maamoura as affected by some biostimulants. BioResources, 16(4), 7379–7399.

Patel, K. K., Priya, Tekam, Y., Shah, A. K., Kumar, K., Kumhare, A., & Dwarka. (2024). Effect of vermicompost on soil properties, plant growth and environmental sustainability: A review.

International Journal of Plant & Soil Science, 36(12), 688–693. https://doi.org/10.9734/ijpss/2024/v36i125244

Sandal, G., & Söğüt, Z. (2010). Türkiye orkideleri (salepler). Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 23(2), 109–116.

Shukla, P. S., Nivetha, N., Nori, S. S., Bose, D., Kumar, S., Khandelwal, S., Critchley, A., & Suryanarayan, S. (2023). Understanding the mode of action of AgroGain®, a biostimulant derived from the red seaweed Kappaphycus alvarezii in the stimulation of cotyledon expansion and growth of Cucumis sativa (cucumber). Frontiers in Plant Science, 14, 1136563. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1136563

Thakur, S., Walia, S., Thakur, B., Ghosh, A., & Kumar, R. (2025). Unleasing the potential of seaweed biostimulants—a comparative evaluation for enhancing saffron (Crocus sativus L.) yield with different corm sizes in the Western Himalayas. BMC Plant Biology, 25, 946. https://doi.org/10.1186/s12870-025-06955-3

Turgay, Ö., & Çınar, İ. (2017). Bitki, toz, sıcak içecek ve gıda katkısı olarak salep. KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20(3).

Türkmen, N. (2021). Turkey's wild orchids. In M. Öztürk et al. (Eds.), Biodiversity, Conservation and Sustainability in Asia (pp. 101–…). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-59928-7_6

Villa e Vila, V., Piedade, S. M. D. S., Bouix, C. P., Rezende, R., Wenneck, G. S., Terassi, D. d. S., Matumoto-Pintro, P. T., & Marques, P. A. A. (2024). Use of a biostimulant based on seaweed extract as a sustainable input to enhance the quality of solanaceous seedlings. Horticulturae, 10(6), 642. https://doi.org/10.3390/horticulturae10060642

BESIN VE BIYOAKTIF UYGULAMALARIN ASMA GÖZLERINDE SOĞUĞA BAĞLI HÜCRESEL HASAR VE DOKU CANLILIĞI ÜZERINE ETKILERI

EFFECTS OF NUTRIENT AND BIOACTIVE APPLICATIONS ON COLD-INDUCED CELLULAR DAMAGE AND TISSUE VIABILITY IN GRAPEVINE BUDS

Alperen KURT
Department of Forestry, Boğazlıyan Vocational School, Yozgat Bozok University, Yozgat, Türkiye**.**

Asst. Prof. Dr. Aysun ŞEHİT
Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Yozgat Bozok University, Yozgat, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-1968-9325

Özet
Bağcılıkta kış ve ilkbahar geç donları, göz canlılığını ve dolayısıyla verimi sınırlayan başlıca abiyotik stres etmenleri arasında yer almaktadır. Asma gözlerinin soğuğa dayanımı hücre zarı bütünlüğünün ve hücresel canlılığın korunmasıyla yakından ilişkili olduğundan, besin ve biyoaktif uygulamalar gibi zar kararlılığını artırmaya yönelik dışsal uygulamalar, iklim değişikliğiyle birlikte belirsizleşen don riski karşısında önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, Sultani Çekirdeksiz ve Kyoho üzüm çeşitlerine ait tek gözlü çeliklerde kalsiyum nitrat (Ca), monopotasyum fosfat (MKP), deniz yosunu ekstraktı ve askorbik asit (C vitamini) uygulamalarının soğuk toleransı üzerindeki etkilerinin karşılaştırmalı olarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Mineral esaslı Ca ve MKP zar kararlılığına katkı sağlayabilecek besin kaynakları, deniz yosunu ekstraktı içerdiği biyoaktif bileşenlerle bir biyostimülant, askorbik asit ise oksidatif strese karşı bir antioksidan olarak değerlendirilmiştir. Çelikler +4°C'de alıştırıldıktan sonra bileşenlerde bekletilmesinin ardından -2 °C ve -4 °C'ye birer saat maruz bırakılmıştır. Ardından hücresel hasar bağıl elektrolit sızıntısı (EL, %), doku canlılığı ise TTC testiyle ölçülmüştür. Sultani Çekirdeksiz üzüm çeşidinde sıcaklık -2 °C'den -4 °C'ye düştüğünde TTC canlılık değeri özellikle kontrol ve kalsiyum gruplarında neredeyse tümüyle kaybolurken, MKP, deniz yosunu ekstraktı ve askorbik asit uygulamalarında kısmen korunduğu görülmüştür. Kyoho üzüm çeşidinde ise hem EL hem TTC oranı iki sıcaklık arasında daha kararlı seyretmiştir. TTC canlılık değeri kontrolde sınırlı biçimde gerilerken, deniz yosunu ekstraktında canlılık değeri her iki sıcaklıkta da değişmeden korumuştur. Bu bulgular, uygulamaların koruyucu etkisinin çeşidin sıcaklık toleransına ve maruz kalınan don sıcaklığına bağlı olarak değiştiğini göstermiştir. Bunun yanı sıra Kyoho üzüm çeşidine göre soğuğa hassas Sultani Çekirdeksiz üzüm çeşidinde kritik eşik sıcaklığında (-4 °C) daha belirgin hâle geldiğini göstermektedir.
Anahtar Kelimeler: Asma (*Vitis vinifera* L.), soğuk toleransı, biyostimülant, elektrolit sızıntısı, TTC canlılık testi

Abstract
In viticulture, winter and late spring frosts are among the main abiotic stress factors that limit bud viability and, consequently, yield. Since the cold resistance of grapevine buds is closely related to the maintenance of cell membrane integrity and cellular viability, exogenous applications aimed at improving membrane stability—such as nutrient and bioactive applications—are gaining importance in the face of frost risk that is becoming increasingly unpredictable with climate change. This study aimed to comparatively determine the effects of calcium nitrate (Ca), monopotassium phosphate (MKP), seaweed extract, and ascorbic acid (vitamin C) applications on the cold tolerance of single-bud cuttings of the grapevine cultivars 'Sultani Seedless' and 'Kyoho'. Mineral-based Ca and MKP were considered as nutrient sources that may contribute to membrane stability, seaweed extract as a biostimulant owing to its bioactive compounds, and ascorbic acid as an antioxidant against oxidative stress.
After the cuttings were acclimated at +4 °C and subsequently held following application of the compounds, the buds were exposed to −2 °C and −4 °C for one hour each. Cellular damage was then determined by relative electrolyte leakage (EL, %) and tissue viability by the TTC test.
In 'Sultani Seedless', as the temperature decreased from −2 °C to −4 °C, the TTC viability was almost completely lost, particularly in the control and calcium groups, whereas it was partially maintained under the MKP, seaweed extract, and ascorbic acid applications.

In 'Kyoho', both EL and TTC values remained more stable between the two temperatures; while TTC viability declined only slightly in the control, the seaweed extract maintained viability unchanged at both temperatures. These findings showed that the partially maintained viability of the applications varied depending on the cultivar's temperature tolerance and the frost temperature to which the buds were exposed. Moreover, this partially maintained viability became more pronounced at the critical threshold temperature (−4 °C) in the cold-sensitive 'Sultani Seedless' compared with 'Kyoho'.
Keywords: Grapevine (*Vitis vinifera* L.), cold tolerance, biostimulant, electrolyte leakage, TTC viability test

Giriş

Asma (*Vitis vinifera* L.), fenolojik döngüsü büyük ölçüde sıcaklık koşullarına bağlı olan bir türdür. Bu nedenle kış donları ve ilkbahar geç donları, bağcılıkta verimi ve üretimin sürdürülebilirliğini sınırlayan başlıca abiyotik stres etmenleri arasında yer almaktadır (Gonzalez Antivilo ve ark. 2020, Yilmaz 2024). Dinlenme dönemindeki kış gözleri düşük sıcaklıklara görece dayanıklıdır, ancak bu dayanım uyanmayla birlikte hızla azalmakta ve gözlerin uyanması döneminde −4 °C, genç sürgünlerde ise −1 °C civarındaki sıcaklıklar bile ciddi zarara yol açabilmektedir. Don zararı göz canlılığını düşürmenin yanı sıra uyanmayı geciktirmekte ve sürgün gelişimini zayıflatmaktadır (Köse ve Güleryüz 2009, Gonzalez Antivilo ve ark. 2020, Ikinci 2025). İklim değişikliğiyle artan sıcaklık dalgalanmaları, göz uyanmasını öne çekerek asmanın dona en duyarlı dönemini daha riskli bir zaman dilimine kaydırmakta ve geç don olaylarının sıklığını artırmaktadır (Rochard ve ark. 2019, Baillet ve ark. 2025).

Asma gözleri primer, sekonder ve tersiyer tomurcuklardan oluşan bileşik bir yapıya sahiptir. Bunlar arasında verim potansiyelini belirleyen ve düşük sıcaklıklara en duyarlı primer tomurcuktur. Sonbaharda başlayan soğuğa alışma sürecinde dokular kontrollü dehidrasyona uğrayarak çözünebilir şeker, prolin ve dehidrin gibi koruyucu bileşikler biriktirir ve böylece kış ortasında soğuk toleransı en yüksek düzeye ulaşmaktadır (Fennell 2004, De Rosa ve ark. 2021, Ren ve ark. 2023). Donma koşullarında apoplastta oluşan hücre dışı buz, hücreden su çekilmesine ve hücresel dehidrasyona yol açmaktadır. Gözler ise donmaktan büyük ölçüde süper soğuma mekanizmasıyla kaçınarak sağlamaktadır. Bu mekanizmada primordiyum hücrelerindeki su, donma noktasının oldukça altındaki sıcaklıklarda bile sıvı halde kalabilmektedir. Gözden çelik dokularına doğru gerçekleşen su göçü ve buna bağlı kısmi dehidrasyon da süper soğuma kapasitesini artırmaktadır (Horiuchi ve ark. 2021, Ren ve ark. 2023, Han ve ark. 2023). Ancak süper soğumuş suyun ani kristalleşmesi, hücre içi buz primordiyumlarının oluşumuna yol açarak hücre zarında hasara neden olmaktadır. Bu süreç, hücre zarının geçirgenliğini artırarak iyonların dışarı sızmasına sebep olur. Donma sırasında meydana gelen buz kristalleri, hücre dışındaki suyu çekerek dehidrasyona yol açar ve bu durum, zarın mekanik etkilerle zedelenmesine neden olur (Ma ve ark. 2010, Karimi ve Ershadi 2015). Bu mekanizma don hasarın belirlenmesinde elektrolit sızıntısı (EL) yönteminin yaygın biçimde kullanılmasına temel oluşturmaktadır. Fakat zar hasarı her zaman hücre ölümü anlamına gelmemektedir. Bu nedenle zarın fiziksel bütünlüğünün belirlenmesinin yanı sıra 2,3,5-trifeniltetrazolyum klorür (TTC) testi ile dokuların metabolik canlılığının da değerlendirilmesi sıklıkla tercih edilmektedir. TTC testi, canlı hücrelerdeki dehidrogenaz aktivitesiyle TTC'nin kırmızı renkli formazana indirgenmesine dayanmaktadır (Vyas ve Kumar 2005, Mikuła ve ark. 2006). EL zarın fiziksel bütünlüğünü, TTC ise hücresel metabolik aktiviteyi yansıttığından, iki yöntem aynı biyolojik olayı ölçmemekte, birbirini tamamlamaktadır. Bu nedenle birlikte kullanıldıklarında asma gözlerinde ve çelik dokularında don zararının daha güvenilir biçimde değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

Bitkilerde don zararı temel olarak hücre zarının bütünlüğünü kaybetmesi, hücrenin su kaybetmesi, oksidatif hasar ve enerji metabolizmasının bozulmasıyla ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle söz konusu süreçleri doğrudan etkileyen besin elementlerin dona karşı korumada öne çıkmaktadır. Kalsiyum, hücre duvarı ve zar yapısını kararlı hâle getirmesinin yanı sıra soğuğun algılanmasında ikincil haberci olarak savunma yanıtlarını başlattığından dona karşı koruyucu potansiyele sahip olabileceği düşünülmektedir (Lautner ve Fromm, 2010, Thor, 2019, Chen ve ark. 2024). Potasyum, ozmotik düzenleme ve stoma kontrolü yoluyla hücre su dengesini korumakta, ayrıca antioksidan enzimleri etkinleştirerek donma toleransını artırmaktadır (Wang ve ark. 2013, Saadati ve ark. 2021). Fosfor ise ATP ve fosfolipitlerin yapısında yer aldığından düşük sıcaklıkta hücrenin enerji durumunun ve zar onarımının sürdürülmesine katkı sağlamaktadır (Xu ve ark. 2024, Zaeri-Behrooz ve ark. 2026).

Bu bilgiler doğrultusunda potasyum ve fosforu birlikte içeren monopotasyum fosfatın (MKP) da don stresine karşı koruyucu potansiyele sahip olabileceği öngörülmektedir. Mineral besin elementlerinin yanı sıra, bitkinin kendi savunma sistemlerini uyararak strese karşı koruma sağlayan biyoaktif uygulamalar da don zararının sınırlandırılmasında görev almaktadır. Deniz yosunu (*Ascophyllum nodosum*) ekstraktları, amino asitler, polisakkaritler, betainler, mineral elementler ve hormon benzeri bileşenler içerir. Bu bileşenler ozmotik düzenlemeye ve antioksidan sistemin uyarılmasına katkı sağlayarak donmaya bağlı dehidrasyonu ve zar hasarını sınırlandırabilmektedir (Rayirath ve ark. 2009, Shukla ve ark. 2019). Askorbik asit (C vitamini) ise reaktif oksijen türlerini etkisizleştiren temel antioksidanlardan biridir ve membran lipitlerinin oksidatif zararını azaltarak zar bütünlüğünün korunmasına katkıda bulunmaktadır (Akram ve ark. 2017).
Bu çalışmada kalsiyum nitrat, monopotasyum fosfat, deniz yosunu ekstraktı ve askorbik asit uygulamalarının Sultani Çekirdeksiz ve Kyoho üzüm çeşitlerine ait gözlerin düşük sıcaklığa tepkileri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, −2 ve −4 °C sıcaklıklarına maruz bırakılan gözlerde hücre zarı hasarı bağıl elektrolit sızıntısı, doku canlılığı ise TTC testiyle değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, uygulamaların soğuk stresinin neden olduğu hücresel hasar ve doku canlılığı üzerindeki etkileri ile bu etkilerin çeşit ve sıcaklık düzeyine bağlı değişimleri değerlendirilmiştir.

Materyal ve Metot
Çalışmada Sultani Çekirdeksiz ile Kyoho üzüm çeşitlerine ait tek gözlü çelikler kullanılmıştır. Ani sıcaklık değişiminin dokularda hasar oluşturmasını önlemek için çelikler önce +4 °C'de alıştırılmıştır. Bu amaçla plastik kaplara 2–3 cm kalınlığında hafif nemli perlit serilmiş, çelikler bu ortama yerleştirilmiş ve kaplar hafif kapalı tutularak 24 saat bekletilmiştir.

Uygulama Çözeltilerinin Hazırlanması
Kalsiyum nitrat (Ca): 0,164 g $Ca(NO_3)_2$ 80 mL deiyonize suda, oda sıcaklığında manyetik karıştırıcıyla çözdürülmüş ve hacim 100 mL'ye tamamlanmıştır (Haghi ve ark. 2019).

Monopotasyum fosfat (MKP): 0,136 g MKP 80 mL deiyonize suda 3–5 dakika karıştırılarak çözdürülmüş ve hacim 100 mL'ye tamamlanmıştır (Karimi 2017).

Askorbik asit: Askorbik asit 80 mL deiyonize suda çözdürülmüş ve hacim 100 mL'ye tamamlanmıştır (Jalili ve ark. 2023).

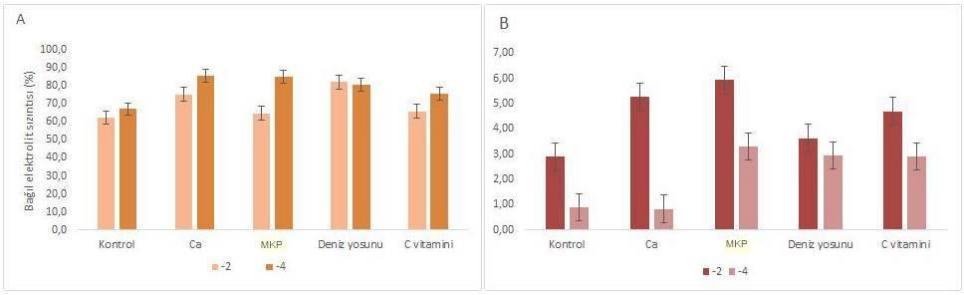
Deniz yosunu ekstraktı (%1): 1 g deniz yosunu tozu 10 mL deiyonize su ile homojen bir macun hâline getirilmiş, üzerine yavaşça 70 mL deiyonize su eklenmiştir. Karışım manyetik karıştırıcıda 30–60 dakika karıştırılmıştır. Çözelti 15–20 dakika dinlendirilmiş, filtre kâğıdından süzülmüş ve hacim 100 mL'ye tamamlanmıştır. Ekstrakt hazırlandığı gün uygulanmıştır (Köse ve ark. 2024).
Çözeltiler, +4 °C'de alıştırılmış tek gözlü çeliklere daldırma yöntemiyle uygulanmıştır. Uygulamadan sonra çelikler, maddelerin gözler tarafından alınabilmesi için nemli perlit ortamında 24 saat bekletilmiştir. Ardından gözler −2 °C ve −4 °C sıcaklıkta 1 saat tutulmuştur. Don uygulamasından sonra gözler kontrollü çözünme için +4 °C'de bekletilmiştir.

Uygulama:
Elektrolit sızıntısı analizi Sukumaran ve Weiser (1972) tarafından geliştirilen ve asmada Ershadi ve ark. (2016) ile Köse ve ark. (2024, 2026) tarafından asma gözlerine uyarlanan elektrolit sızıntısı yöntemiyle belirlenmiştir. Her tekrarda 5 göz kullanılmıştır. Bağıl elektrolit sızıntısı, otoklav öncesi (EC_1) ve sonrası (EC_2) ölçülen elektriksel iletkenlik değerlerinden EL (%) = (EC_1 / EC_2) × 100 eşitliğiyle hesaplanmıştır.

Deneme Deseni ve İstatistiksel Analiz:
Deneme, tesadüf parselleri deneme desenine göre faktöriyel düzende kurulmuştur. Faktörler çeşit (2) × uygulama (5) × sıcaklık (2) şeklindedir. Veriler SPSS var 26 programı ile varyans analizine (ANOVA) tabi tutulmuştur.

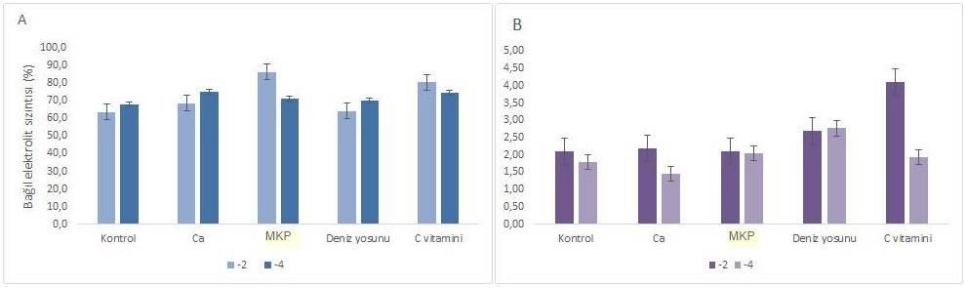
Bulgular ve Tartışma

Sultani Çekirdeksiz çeşidinde sıcaklığın −2 °C'den −4 °C'ye düşmesiyle EL oranı kontrol, kalsiyum, MKP ve askorbik asit gruplarında artmıştır. Uygulamalar arasında −2 °C'de en düşük EL değeri MKP'de belirlenirken, −4 °C'de kalsiyum ve MKP en yüksek değeri vermiştir (Şekil 1A). Uygulamaların hiçbiri EL'yi kontrolün altına düşürmemiştir. Buna karşılık -2 °C'de TTC canlılık değeri en yüksek canlılık kalsiyum ve MKP'de iken, en düşük değer kontrol ve deniz yosununda elde edilmiştir. Sıcaklık −4 °C'de TTC canlılığı kontrol ve kalsiyum gruplarında oldukça düşükken, MKP, deniz yosunu ekstraktı ve askorbik asit uygulamalarında kısmen korunmuştur (Şekil 1B). Bu bulgular, −4 °C'nin deneme koşullarında bu çeşit için kritik bir stres düzeyi olduğunu düşündürmektedir. Bu iki analiz farklı süreçleri ölçmektedir. EL büyük ölçüde K^+ çıkışını yansıtır ve hücre ölümü olmadan da artabilir (Demidchik ve ark. 2014). TTC ise dehidrogenaz aracılı indirgeme kapasitesini gösterir (Steponkus ve Lanphear 1967). Dolayısıyla -4 °C'de MKP, deniz yosunu ekstraktı ve askorbik asit uygulamalarında zar hasarına karşın metabolik canlılığın bir kısmı sürmüş olabilir. Askorbik asitteki sonuç, asmada oksidatif belirteçlerin azaldığını bildiren çalışmayla (Jalili ve ark. 2023) uyumludur. MKP'deki sonuç ise potasyumun dona dayanımı artırdığı bulgularıyla (Karimi 2017) örtüşmektedir. Kalsiyum tutarlı bir koruma sağlamamıştır.



Şekil 1. Sultani Çekirdeksiz üzüm çeşidinde uygulamaların -2 ve -4 °C'de gözlerin (A) elektrolit sızıntısı (%) ve (B) TTC canlılığı üzerine etkisi.

Kyoho çeşidinde sıcaklığın −2 °C'den −4 °C'ye düşmesiyle EL oranı kontrol, kalsiyum ve deniz yosunu ekstraktı gruplarında artarken, MKP ve askorbik asitte gerilemiştir. Sıcaklık −2 °C'de en düşük EL değerleri kontrol ve deniz yosunu ekstraktında, en yüksek değerler ise MKP ve askorbik asitte belirlenmiştir (Şekil 2A). Ancak, −4 °C'de ise uygulamalar arasındaki farklar azalmış ve EL değerleri birbirine yakın seyretmiştir. Uygulamaların hiçbiri EL'yi kontrolün altına düşürmemiştir. TTC canlılık değerleri incelendiğinde, −2 °C'de en yüksek canlılık askorbik asitte belirlenirken kontrol, kalsiyum ve MKP birbirine yakın ve düşük değerler vermiştir. Buna karşın, −4 °C'de canlılık kontrol ve MKP'de sınırlı düzeyde gerilerken, askorbik asit ve kalsiyumda belirgin biçimde düşmüş, deniz yosunu ekstraktında ise her iki sıcaklıkta da korunmuştur (Şekil 2B). Bu bulgular, Kyoho'nun canlılık değerlerinin Sultani Çekirdeksiz'e göre daha düşük olmasına karşın sıcaklık düşüşünden daha az etkilendiğini düşündürmektedir. MKP ve askorbik asitte EL'nin −4 °C'de azalması koruyucu bir etkiden çok örnekler arasındaki farklılıkla ilişkili olabilir. Askorbik asidin −2 °C'deki sonucu, asmada oksidatif belirteçlerin azaldığını bildiren çalışmayla (Jalili ve ark. 2023) uyumlu olmakla birlikte bu etki −4 °C'de sürmemiştir.



Şekil 2. Kyoho üzüm çeşidinde uygulamaların -2 ve -4 °C'de gözlerin (A) elektrolit sızıntısı (%) ve (B) TTC canlılığı üzerine etkisi

Her iki çeşitte de EL ve TTC sonuçları her zaman aynı yönde seyretmemiştir. Sultani Çekirdeksiz'de −4 °C'de kalsiyum uygulamasında yüksek EL ile düşük canlılık birlikte görülmüştür. Buna karşın MKP, deniz yosunu ekstraktı ve askorbik asitte yüksek EL'ye rağmen canlılık kısmen korunmuştur. Kyoho'da ise EL'nin gerilediği MKP ve askorbik asit gruplarında canlılık artmamış, askorbik asitte belirgin biçimde düşmüştür. Bu nedenle EL tek başına doku canlılığını belirlemede yeterli görünmemektedir. İki analizin birlikte değerlendirilmesi don hasarının daha doğru yorumlanmasına katkı sağlamaktadır.

Sultani Çekirdeksiz ve Kyoho üzüm çeşitlerinin kontrol grupları karşılaştırıldığında, iki çeşitte EL değerleri ve sıcaklık düşüşüne bağlı artış benzer bulunmuştur. Buna karşın TTC canlılığı −4 °C'de Sultani Çekirdeksiz'de neredeyse tamamen kaybolurken Kyoho'da büyük ölçüde korunmuştur. Bu durum, deneme koşullarında Kyoho'nun −4 °C'ye Sultani Çekirdeksiz'e göre daha toleranslı bir tepki verdiğini düşündürmektedir. *Vitis vinifera* L. çeşitlerinde soğuk toleransının genotipe bağlı olarak değişimi, soğuğa alışma, hücre zarı kararlılığı ve stres sonrası canlılık açısından önemli farklılıklar göstermektedir (Yilmaz ve ark. 2020, Ren ve ark. 2023).

Teşekkür
Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 1919B012407315 numaralı proje ile desteklenmiştir. Katkılarından dolayı kuruma teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Akram, N. A., Shafiq, F. & Ashraf, M. (2017). Ascorbic acid – a potential oxidant scavenger and its role in plant development and abiotic stress tolerance. Frontiers in Plant Science, 8, 613. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00613

Baillet, V., Symoneaux, R. & Renaud-Gentié, C. (2025). Life cycle assessment of spring frost protection methods: High and contrasted environmental consequences in vineyard management. Sustainability, 17(17), 7835. https://doi.org/10.3390/su17177835

Chen, S., Wang, L., Kang, R., Liu, C., Xing, L., Wu, S., ... & Zhao, R. (2024). Exogenous calcium alleviates the photosynthetic inhibition and oxidative damage of the tea plant under cold stress. Horticulturae, 10(7), 666.

De Rosa, V., Vizzotto, G. & Falchi, R. (2021). Cold hardiness dynamics and spring phenology: Climate-driven changes and new molecular insights into grapevine adaptive potential. Frontiers in Plant Science, 12, 644528. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.644528

Demidchik, V., Straltsova, D., Medvedev, S. S., Pozhvanov, G. A., Sokolik, A., & Yurin, V. (2014). Stress-induced electrolyte leakage: the role of K+-permeable channels and involvement in programmed cell death and metabolic adjustment. Journal of experimental botany, 65(5), 1259-1270.

Ershadi, A., Karimi, R., & Mahdei, K. N. (2016). Freezing tolerance and its relationship with soluble carbohydrates, proline and water content in 12 grapevine cultivars. Acta physiologiae plantarum, 38(1), 2.

Fennell, A. (2004). Freezing tolerance and injury in grapevines. Journal of Crop Improvement, 10(1-2), 201-235. https://doi.org/10.1300/J411v10n01_09

Gonzalez Antivilo, F., Paz, R. C., Tognetti, J., Keller, M., Cavagnaro, M., Barrio, E. M. & Roig Juñent, F. A. (2020). Winter injury to grapevine secondary phloem and cambium impairs budbreak, cambium activity, and yield formation. Journal of Plant Growth Regulation, 39, 1095-1106. https://doi.org/10.1007/s00344-019-10051-w

Haghi, H., Rabiei, V., Ershadi, A., & Razavi, F. (2019). Effects of late season foliar application of calcium chloride on cold hardiness in grapevines (Vitis vinifera 'Thompson seedless'). The Horticulture Journal, 88(3), 347-353.

Han, X., Li, Y. H., Yao, M. H., Yao, F., Wang, Z. L., Wang, H., & Li, H. (2023). Transcriptomics reveals the effect of short-term freezing on the signal transduction and metabolism of grapevine. International Journal of Molecular Sciences, 24(4), 3884.

Horiuchi, R., Arakawa, K., Kasuga, J., Suzuki, T. & Jitsuyama, Y. (2021). Freezing resistance and behavior of winter buds and canes of wine grapes cultivated in northern Japan. Cryobiology, 101, 44-51. https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2021.06.004

İkinci, A. (2025). The impact of global warming on fruit crops and mitigation strategies: A comprehensive review. Agronomía Colombiana, 43(2), 1.

Jalili, I., Ebadi, A., Askari, M. A., KalatehJari, S., & Aazami, M. A. (2023). Foliar application of putrescine, salicylic acid, and ascorbic acid mitigates frost stress damage in Vitis vinifera cv.'Giziluzum'. BMC Plant Biology, 23(1), 135.

Karimi, R. & Ershadi, A. (2015). Role of exogenous abscisic acid in adapting of 'Sultana' grapevine to low-temperature stress. Acta Physiologiae Plantarum, 37, 151. https://doi.org/10.1007/s11738-015-1902-z

Karimi, R. (2017). Potassium-induced freezing tolerance is associated with endogenous abscisic acid, polyamines and soluble sugars changes in grapevine. Scientia Horticulturae, 215, 184-194.

Kose, B., Uray, Y., Bayram, K., Yilmaz, T., & Kaya, O. (2024). Cold Hardiness in 'Alphonse Lavallee'(Vitis vinifera L. cv) Grape Dormant Buds and Phloem Tissue: Seasonal Insights and Some Treatment Impacts. Applied Fruit Science, 66(3), 1009-1017.

Kose, B., Uray, Y., Karabulut, B., Yilmaz, T., Çelik, H., Hatterman-Valenti, H., & Kaya, O. (2026). Thermal History Between Field Collection and Laboratory Analysis Critically Impacts Cold Hardiness Assessment in Grapevine Bud and Phloem Tissues During Mid-Winter Dormancy. Journal of Plant Growth Regulation, 1-20.

Kose, B., Uray, Y., Kaya, O., Turk, F., Bayram, K., & Svyantek, A. (2024). Foliar applications improves grapevine plant cold hardiness. Scientia Horticulturae, 330, 113088.

Köse, C., & Güleryüz, M. (2009). Erzincan İli Üzümlü İlçesi'nde Yetiştirilen Karaerik Üzüm Çeşidinde 2007-2008 Kış Soğuklarının Kış Gözlerinde Yol Açtığı Zararlar. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 40(1), 55-60.

Lautner, S. & Fromm, J. (2010). Calcium-dependent physiological processes in trees. Plant Biology, 12(2), 268-274. https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2009.00281.x

Ma, Y. Y., Zhang, Y. L., Shao, H. & Lu, J. (2010). Differential physio-biochemical responses to cold stress of cold-tolerant and non-tolerant grapes (*Vitis L.*) from China. Journal of Agronomy and Crop Science, 196(3), 212-219. https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2009.00405.x

Mikuła, A., Niedzielski, M. & Rybczyński, J. J. (2006). The use of TTC reduction assay for assessment of *Gentiana spp.* cell suspension viability after cryopreservation. Acta Physiologiae Plantarum, 28(4), 315-324.

Mikuła, A., Niedzielski, M., & Rybczyski, J. J. (2006). The use of TTC reduction assay for assessment of Gentiana spp. cell suspension viability after cryopreservation. Acta Physiologiae Plantarum, 28(4), 315-324.

Rayirath, P., Benkel, B., Hodges, D. M., Allan-Wojtas, P., MacKinnon, S., Critchley, A. T. & Prithiviraj, B. (2009). Lipophilic components of the brown seaweed, *Ascophyllum nodosum*, enhance freezing tolerance in *Arabidopsis thaliana*. Planta, 230(1), 135-147. https://doi.org/10.1007/s00425-009-0920-8

Ren, C., Fan, P., Li, S. & Liang, Z. (2023). Advances in understanding cold tolerance in grapevine. Plant Physiology, 192(3), 1733-1746. https://doi.org/10.1093/plphys/kiad092

Ren, C., Fan, P., Li, S., & Liang, Z. (2023). Advances in understanding cold tolerance in grapevine. Plant physiology, 192(3), 1733-1746.

Rochard, J., Monamy, C., Pauthier, B. & Rocque, A. (2019). Stratégie et équipements de prévention vis-à-vis du gel de printemps et de la grêle. Perspectives en lien avec les changements climatiques, projet ADVICLIM. BIO Web of Conferences, 12, 01012. https://doi.org/10.1051/bioconf/20191201012

Saadati, S., Baninasab, B., Mobli, M. & Gholami, M. (2021). Foliar application of potassium to improve the freezing tolerance of olive leaves by increasing some osmolite compounds and antioxidant activity. Scientia Horticulturae, 276, 109765. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109765

Shukla, P. S., Mantin, E. G., Adil, M., Bajpai, S., Critchley, A. T. & Prithiviraj, B. (2019). *Ascophyllum nodosum*-based biostimulants: Sustainable applications in agriculture for the stimulation of plant growth, stress tolerance, and disease management. Frontiers in Plant Science, 10, 655. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00655

Steponkus, P. L., & Lanphear, F. O. (1967). Refinement of the triphenyl tetrazolium chloride method of determining cold injury. Plant Physiology, 42(10), 1423-1426.

Sun, X., Zhao, T., Gan, S., Ren, X., Fang, L., Karungo, S. K., ... & Xin, H. (2016). Ethylene positively regulates cold tolerance in grapevine by modulating the expression of ETHYLENE RESPONSE FACTOR 057. Scientific reports, 6(1), 24066.

Thor, K. (2019). Calcium – nutrient and messenger. Frontiers in Plant Science, 10, 440. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00440

Vyas, D. & Kumar, S. (2005). Tea (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) clone with lower period of winter dormancy exhibits lesser cellular damage in response to low temperature. Plant Physiology and Biochemistry, 43(4), 383-388.

Vyas, D., & Kumar, S. (2005). Kış uykusu süresi daha kısa olan çay (Camellia sinensis (L.) O. Kuntze) klonu, düşük sıcaklığa karşı daha az hücresel hasar sergiler. Bitki Fizyolojisi ve Biyokimyası , 43 (4), 383-388.

Wang, M., Zheng, Q., Shen, Q. & Guo, S. (2013). The critical role of potassium in plant stress response. International Journal of Molecular Sciences, 14(4), 7370-7390. https://doi.org/10.3390/ijms14047370

Xu, W., Liu, Q., Wang, Y., & Wu, Z. (2024). Fosfor uygulama seviyesinin artırılması, tütün fidelerinde düşük sıcaklık stresinin antioksidan metabolizması ve karbonhidrat metabolizması üzerindeki olumsuz etkilerini hafifletti. Tarım Bilimi , 14 (12), 2902.

Yilmaz, T., Alahakoon, D. & Fennell, A. (2020). Freezing tolerance and chilling fulfillment differences in cold climate grape cultivars. Horticulturae, 7(1), 4. https://doi.org/10.3390/horticulturae7010004

Zaeri-Behrooz, M., Karimi, R., Khadivi, A., & Tunç, Y. (2026). Phosphorus and cold stress: physiological and biochemical assessment in two grape (Vitis vinifera L.) cultivars. Biological Research, 59(1), 24.

YENİŞEHİR İLÇESİNDE TARIMSAL ÜRETİM DİNAMİKLERİNİN KOYCK VE ALMON MODELLERİ İLE ANALİZİ

ANALYSIS OF AGRICULTURAL PRODUCTION DYNAMICS IN YENIŞEHIR DISTRICT USING KOYCK AND ALMON MODELS

Prof. Dr. Bekir PARLAK
Department of Management Sciences, Department of Political Science and Public Administration, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Bursa Uludağ University, Bursa, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-9173-7563

Gül Beril ÇALIŞKAN
Department of Political Science and Public Administration, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Bursa Uludağ University, Bursa, Türkiye.

ÖZET
Tarımsal üretimde üreticilerin geçmiş dönem üretim fiyatları ve üretim koşullarına verdikleri tepkiler sonraki ekim-hasat süreci için oldukça önemli bir referans oluşturmakta olduğu bilinmektedir. Bu tepkiler yıllar içerisinde üretim alanlarının değişimini ve tarımsal piyasa dinamiklerini etkilemektedir. Bu çalışma, Bursa ili Yenişehir ilçesinde tarımsal üretimin zaman içerisindekini seyrini sayılan bağlamlarda inceleyerek ortaya koymaktadır. Çalışmada Yenişehir ilçesine ait 2023, 2024 ve 2025 yılları Çiftçi Kayıt Sistemi (ÇKS) verilerinden yararlanılmıştır. Üretim süreçleri incelenirken, dağıtılmış gecikmeli modeller kapsamında "Koyck" ve "Almon" modellerinden yararlanılmıştır. Bu modeller ile yalnızca dönemin fiyat bilgisinin yanında geçmiş dönemin üretici üzerine olan etkisi formüller üzerinden bugünün üretim sonucuna yansımasını ifade eder. Analiz kapsamında çalışmanın temel tartışma noktalarından biri, modellerde ortaya çıkan ve model tarafından henüz açıklanamayan, gözlemlenemeyen, ölçülmemiş veya modele dahil edilmemiş dinamikleri ifade eden "hata faktörünün" yalnızca istatistik açıdan bir fazlalık veya hata değil, üzerine düşülmesi önem arz eden ve tarımsal sistem içerisinde anlamının üzerine ayrıca tartışılması gereken bir araştırma alanı olarak ele alınabilecek bir terim olarak değerlendirilmektedir. Elde edilen bulgular, Yenişehir tarımında üretim kararlarının, geçmiş dönem üretim kararlarının mevcut dönemde üretim kararları üzerindeki etkisinin dikkate alınması tarımsal planlama açısından önem taşıdığı görülmektedir. Çalışmanın sonuçları, ilçe düzeyinde tarımsal üretimin daha etkin bir biçimde izlenmesi ve üretim kararlarının zaman boyutunu dikkate alan politika yaklaşımlarının geliştirilmesi açısından önemlidir.
Anahtar Sözcükler: Koyck Modeli, Almon Modeli, Gecikmeli Modeller, Tarımsal Üretim, Yenişehir Örneği.

ABSTRACT
It is known that the reactions of agricultural producers to past production prices and production conditions constitute a very important reference for the subsequent planting and harvesting process. These reactions affect the changes in production areas and agricultural market dynamics over the years. This study examines and reveals the course of agricultural production over time in the Yenişehir district of Bursa province in these contexts. The study utilizes Farmer Registration System (FRS) data for the years 2023, 2024, and 2025 for the Yenişehir district. While examining the production processes, the "Koyck" and "Almon" models within the scope of distributed lagged models were used. With these models, in addition to the price information of the period, the impact of the past period on the producer is reflected in today's production result through formulas.
Within the scope of the analysis, one of the main points of discussion in the study is that the "error factor," which refers to dynamics that appear in the models but are not yet explained, observed, measured, or included in the model, is considered not merely a statistical excess or error, but a term that deserves attention and can be treated as a research area whose meaning within the agricultural system needs to be discussed further. The findings show that in Yenişehir agriculture, considering the impact of past production decisions on current production decisions is important for agricultural planning.
The results of the study are important for more effective monitoring of agricultural production at the district level and for developing policy approaches that take the time dimension of production decisions into account.

Keywords: Koyck Model, Almon Model, Lagged Models, Agricultural Production, Yenişehir Case Study.

GİRİŞ

Tarımsal üretim kararları; ürün fiyatları, girdi maliyetleri, üreticilerin geçmiş dönem deneyimleri, piyasa beklentileri ve bölgesel üretim koşulları gibi birçok faktörün birlikte etkisi altında şekillenmektedir. Özellikle tarımsal üretimde ekim ve hasat dönemleri arasında belirli bir zaman aralığının bulunması, üreticilerin cari dönemde karşılaştıkları fiyatlardan ziyade geçmiş dönemlerde oluşan fiyat sinyallerini dikkate alarak üretim kararı vermelerine neden olabilmektedir (Çetinkaya, 2012; Çelik, 2015; Köleoğlu ve Çelik, 2025). Bu nedenle üretim kararlarının yalnızca cari dönemde oluşan piyasa bilgisine dayanmadığı; geçmiş dönem fiyatlarının, üretim deneyimlerinin ve beklentilerin zaman içerisinde birikerek üretici davranışını etkileyen bir tür "tarımsal hafıza" oluşturduğu söylenebilir. Bu durum, tarımsal üretim ile fiyat arasındaki ilişkinin yalnızca eş zamanlı değil, gecikmeli bir yapı içerisinde incelenmesini gerekli kılmaktadır.

Bu çerçevede çalışmada dağıtılmış gecikmeli modellerden Koyck ve Almon yaklaşımlarından yararlanılmıştır. Koyck modeli, yakın geçmiş dönemlerin cari dönem üzerindeki etkisinin daha yüksek olduğunu ve bu etkinin zaman içerisinde geometrik olarak azaldığını varsayarken (Koyck, 1954); Almon modeli gecikmeli etkilerin zaman içerisinde polinomal bir yapı izleyebileceğini kabul etmektedir (Almon, 1965). Bununla beraber, Koyck, Almon ve benzeri gecikmeli modeller üretim kararlarını gözlemlenebilir değişkenler ve bunların geçmiş dönem etkileri üzerinden açıklamaktadır. Oysa tarımsal üretim kararları yalnızca fiyat sinyallerinin mekanik bir sonucu değildir. Üreticilerin sübjektif beklentileri, çevredeki diğer üreticilerin tercihleri ve yerel piyasa koşulları gibi doğrudan ölçülmesi güç unsurlar da karar süreçlerinde etkili olmaktadır. Çalışmada kullanılmış olan modeller içerisinde açık biçimde temsil edilmeyen bu unsurların etkisi hata teriminde toplanmakta dolayısıyla hata terimi yalnızca tesadüfi sapmaları değil, ölçülemeyen veya modele dahil edilmeyen karar dinamiklerini de kısmen yansıtabilmektedir (Kaçıranlar, 2012).

Bu çalışma, Bursa ili Yenişehir ilçesinde tarımsal üretimin zaman içerisindeki seyrini dane mısır üzerinden ortaya koymayı ve geçmiş dönem üretim koşullarının mevcut dönem üretim kararları üzerindeki etkisini gecikmeli ilişkiler çerçevesinde incelemeyi amaçlamaktadır. Dane mısırın çalışmanın odağına alınmasında yalnızca Çiftçi Kayıt Sistemi (ÇKS) kayıtları ile Bursa Ticaret Borsası aylık bültenlerinde gözlenen belirgin dalgalanmalar etkili olmamıştır. İnformel saha gözlemleri ve ilçedeki tarımsal üretim aktörleriyle gerçekleştirilen görüşmeler, dane mısır üretiminin yerel ölçekte ekonomik boyutunun yanı sıra yönetsel bir karşılığının da bulunduğuna işaret etmektedir. Saha görüşmelerinde, mısır üretiminin belirli ölçüler içerisinde sınırlandırılması ve kontrol altında tutulmasına yönelik idari bir yaklaşımın bulunduğuna ilişkin değerlendirmelerle karşılaşılmıştır. Bu nedenle dane mısır; nicel verilerde sergilediği keskin değişimlerin yanı sıra, üretim kararlarının yerel düzeyde yönetsel bir mesele olarak da karşılık bulması nedeniyle araştırmanın odağına alınmıştır.

LİTERATÜR/ KURAMSAL ÇERÇEVE

Tarımsal üretim kararlarının yalnızca cari dönem piyasa koşullarına bağlı olarak şekillenmediği; geçmiş dönem deneyimleri, fiyat sinyalleri ve yerleşik üretim pratiklerinin üretici davranışları üzerinde etkili olduğu kabul edilmektedir. Bu çerçevede, çalışmada "tarımsal hafıza" olarak ifade edilen geçmişe dayalı birikimin yanı sıra yerel üretim kültürünün de üreticilerin sübjektif karar süreçlerini etkileyebildiği değerlendirilmektedir. Bu noktada cari dönem üretim düzeyini yalnızca aynı döneme ait değişkenlerle açıklamak, karar sürecinin zamana yayılan niteliğini göz ardı edebilmektedir. Geçmiş dönem etkilerinin mevcut dönem üretim kararları üzerindeki ağırlığını ve bu etkinin zaman içerisinde nasıl değiştiğini inceleyebilmek amacıyla dağıtılmış gecikme modellerinden yararlanılmıştır.

Dağıtılmış gecikme modellerinde aynı açıklayıcı değişkenin farklı dönemlere ait değerlerinin birlikte modele dâhil edilmesi, değişkenler arasında yüksek korelasyon ve çoklu iç ilişki sorununa yol açabilmektedir. Bunun yanında uygun gecikme uzunluğunun bilinmemesi ve özellikle gözlem sayısının sınırlı olduğu veri setlerinde parametre tahmininin güçleşmesi de önemli yöntemsel sorunlar arasında yer almaktadır. Kaçıranlar (2012), bu tür sorunların klasik En Küçük Kareler yaklaşımının doğrudan uygulanması durumunda ortaya çıkabildiğini ve söz konusu güçlüklerin giderilmesine yönelik olarak Koyck ve Almon gibi farklı gecikme yapılarının geliştirildiğini belirtmektedir.

Bu yaklaşımlar içerisinde Koyck modeli, geçmiş dönemlere ait açıklayıcı değişkenlerin cari dönem üzerindeki etkisinin zaman içerisinde geometrik olarak azaldığını varsaymaktadır. Bu yaklaşım, yakın dönemlerin daha yüksek; daha uzak dönemlerin ise giderek azalan bir ağırlıkla mevcut dönem kararlarını etkilediği bir gecikme yapısını ifade etmektedir. Almon modeli ise gecikme katsayılarının tekdüze bir azalma biçimi izlemesini zorunlu kılmayarak, katsayıların polinomal bir yapı içerisinde değişmesine imkân tanımaktadır. Bu yönüyle Almon yaklaşımı, geçmiş dönem etkilerinin zaman içerisinde farklı ağırlıklarla ortaya çıkabildiği daha esnek bir gecikme yapısı sunmaktadır. Kaçıranlar (2012), Almon yaklaşımında gecikme ağırlıklarının polinomal bir yapı altında tanımlandığını belirtmektedir.

Dağıtılmış gecikme modellerinin tahmininde kullanılan yöntemler, model sonuçlarının yorumlanmasında dikkate alınması gereken birtakım sınırlılıkları da beraberinde getirmektedir. Kaçıranlar (2012), özellikle çoklu iç ilişki problemi karşısında klasik tahmin yöntemlerine alternatif olarak farklı yanlı tahmin edicilerin geliştirildiğini ve Almon yaklaşımının bu yöntemlerle birlikte ele alınabildiğini göstermektedir. Bununla birlikte, üretim kültürü, üreticilerin bireysel beklentileri, çevredeki diğer üreticilerin tercihleri ve benzeri doğrudan ölçülmesi güç unsurlar modele açık biçimde dâhil edilemediğinde, bunların etkisinin bir kısmı model tarafından açıklanamayan bileşen içerisinde kalabilmektedir. Bu çalışmada hata terimi, yalnızca rassal sapmaları değil, modelde açık biçimde temsil edilemeyen yerel ve sübjektif karar dinamiklerini de kısmen içerebilecek bir unsur olarak değerlendirilmektedir.

Tarımsal üretim ve fiyat ilişkilerinin incelenmesinde Koyck ve Almon modellerinin farklı ürün grupları üzerinde uygulandığı görülmektedir. Çetinkaya (2012), Türkiye'de buğday üretiminde miktar-fiyat ilişkisini Koyck ve Almon modelleriyle ele alırken; Çelik (2015), koyun sütü üretiminde üretim-fiyat ilişkisini aynı yöntemler çerçevesinde incelemiştir. Köleoğlu ve Çelik (2025) ise dağıtılmış gecikme modellerini tarım verileri üzerinde uygulayarak Koyck ve Almon yaklaşımlarının tarımsal üretim analizlerindeki kullanımını güncel bir örnek üzerinden ortaya koymuştur.

Mevcut çalışmalar, tarımsal üretim ile fiyat arasındaki gecikmeli ilişkinin farklı ürün gruplarında ve çoğunlukla daha geniş ölçekli veri setleri üzerinden incelendiğini göstermektedir. Bununla birlikte, ilçe ölçeğinde üretim kararlarının Çiftçi Kayıt Sistemi (ÇKS) kayıtları, piyasa fiyat verileri ve saha gözlemleriyle birlikte ele alınması, yerel üretim dinamiklerinin daha ayrıntılı biçimde değerlendirilmesine imkân vermektedir. Bu çalışma, Bursa ili Yenişehir ilçesinde dane mısır üretimini söz konusu veri kaynaklarını bir arada kullanarak incelemekte ve gecikmeli fiyat etkilerini yerel üretim pratikleriyle birlikte değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Veri Kaynakları ve Çalışma Alanı

Araştırmanın çalışma alanını Bursa ili Yenişehir İlçesi oluşturmaktadır. Çalışmada, dane mısır üretimindeki değişimin hem nicel hem de yerel bağlamı içerisinde değerlendirilebilmesi amacıyla birden fazla veri kaynağından yararlanılmıştır. Üretim alanlarına ilişkin temel veri kaynağını 2022-2025 dönemine ait Çiftçi Kayıt Sistemi (ÇKS) kayıtları oluşturmaktadır. Söz konusu kayıtlar, Yenişehir ilçesinde dane mısır ekili alanların yıllar içerisindeki değişiminin izlenmesinde kullanılmıştır.

Fiyat verileri, Bursa Ticaret Borsası tarafından yayımlanan aylık bültenlerden derlenmiştir. Üretim kararlarının geçmiş dönem fiyat sinyallerinden etkilenebileceği varsayımından hareketle, analizde üretim yılında bir önceki döneme ait dane mısır fiyatları dikkate alınmıştır. Böylece ÇKS kayıtlarında yer alan üretim alanı verileri ile Bursa Ticaret Borsası fiyat verileri dönemsel olarak eşleştirilmiştir.

Nicel veri kaynaklarına ek olarak, araştırma sürecinde Yenişehir İlçesinde gerçekleştirilen informel saha gözlemleri ve tarımsal üretim aktörleriyle yapılan görüşmelerden de yararlanılmıştır. Bu görüşmeler, nicel verilerde gözlenen değişimlerin yerel üretim pratikleri, üretici davranışları ve yönetsel yaklaşımlar çerçevesinde yorumlanmasına katkı sağlayan tamamlayıcı bir veri kaynağı olarak ele alınmıştır.

Değişkenler ve Veri Dönemi

Çalışmada bağımlı değişken olarak Bursa ili Yenişehir ilçesindeki dane mısır ekim alanı, açıklayıcı değişken olarak ise üretim kararından bir önceki döneme ait dane mısır fiyatı kullanılmıştır. Tarımsal üretim kararlarının ekim öncesinde geçmiş dönem piyasa sinyallerinden etkilenebileceği varsayımından hareketle, üretim yılı t ile bir önceki yıla ait fiyat P_{t-1} eşleştirilmiştir.

Bu doğrultuda 2022 yılı dane mısır ekim alanı 2021 yılı fiyatı, 2023 yılı ekim alanı 2022 yılı fiyatı, 2024 yılı ekim alanı 2023 yılı fiyatı ve 2025 yılı ekim alanı 2024 yılı fiyatı ile değerlendirilmiştir. Böylece üretim kararları ile geçmiş dönem fiyat sinyalleri arasındaki gecikmeli ilişkinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Üretim Yılı Y_t	Geçmiş Fiyat Sinyali P_{t-1}	Dane Mısır Alanı
2022	2021: 2,50 TL/kg	746,59 da
2023	2022: 5,33 TL/kg	275,68 da
2024	2023: 5,91 TL/kg	58,14 da
2025	2024: 8,58 TL/kg	2.195,52 da

Tablo 1. Yenişehir İlçesinde Dane Mısır Ekim Alanı ve Gecikmeli Fiyat Sinyali

Analiz Yöntemi

Çalışmada geçmiş dönem fiyat sinyallerinin cari dönem üretim kararları üzerindeki etkisini incelemek amacıyla dağıtılmış gecikme modellerinden Koyck ve Almon yaklaşımlarından yararlanılmıştır. Bu yöntemler, geçmiş dönem fiyatlarının mevcut üretim kararı üzerindeki etkisinin yalnızca var olup olmadığını değil, etkinin zaman içerisinde nasıl dağıldığını değerlendirmeye olanak sağlamaktadır.

Bu çalışmada kullanılan veri setinin 2022-2025 dönemini kapsayan dört yıllık gözlemden oluşması nedeniyle Koyck ve Almon yaklaşımları tam parametrik ekonometrik tahmin amacıyla değil, geçmiş dönem fiyat sinyalleri ile cari dönem üretim kararları arasındaki gecikmeli ilişkinin analitik olarak değerlendirilmesine yardımcı olan bir çerçeve olarak kullanılmıştır. Bu nedenle model sonuçları, yerel üretim pratikleri ve saha gözlemleri ile yorumlanmıştır.

Koyck modelinde temel fikir, geçmiş dönem fiyatlarının cari dönem üretim kararı üzerinde etkisinin zaman geçtikçe azalmasıdır. Genel dağıtılmış gecikme yapısı şu şekilde gösterilebilir:

$$Y_{t:} = \alpha + \beta_1 P_{t-1} + \beta_2 P_{t-2} + \ldots + \upsilon_t$$

Burada:

- $Y_{t:}$: cari dönemdeki dane mısır ekim alanını,
- P_{t-1}, P_{t-2}: geçmiş dönem fiyatlarını,
- β katsayıları: geçmiş dönem fiyatlarının üretim üzerindeki ağırlığını,
- υ_t : model tarafından açıklanamayan etkileri ifade etmektedir.

Koyck yaklaşımında gecikme katsayılarının geometrik biçimde azaldığı varsayılır. Yani en yakın geçmiş dönem daha yüksek ağırlığa sahipken, daha eski dönemlerin etkisi giderek azalır (Koyck, 1954). Almon yaklaşımında ise gecikmeli etkilerin mutlaka tekdüze biçimde azalması gerekmez. Gecikme katsayılarının zaman içerisinde polinomal bir yapı izlemesine izin verilir. Bu nedenle geçmiş dönem etkileri bazı dönemlerde artabilir, bazı dönemlerde azalabilir. Kaçıranlar (2012), Almon yaklaşımında gecikme ağırlıklarının polinomal bir yapı altında tanımlandığı belirtilmektedir.

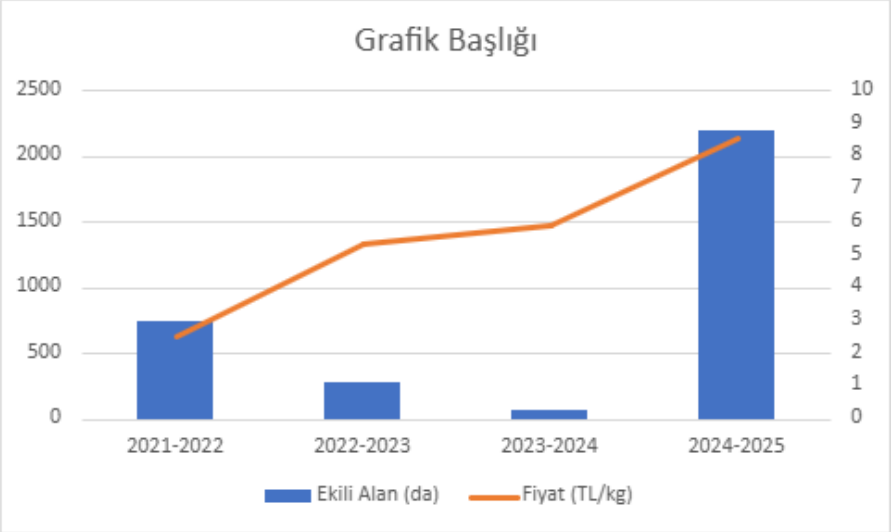
$$\beta_i = \alpha_0 + \alpha_1 i + \alpha_2 i^2 + \ldots + \alpha_r i^r$$

Burada β_i ,gecikmeli etkinin ağırlığını; i ise gecikme dönemini göstermektedir.

Çalışmada kullanılan veri setinin 2022–2025 dönemini kapsayan dört gözlemden oluşması, klasik anlamda güvenilir parametrik tahmin yapılmasını sınırlandırmaktadır. Nitekim gecikme uzunluğunun bilinmemesi ve örneklem büyüklüğünün sınırlı olması durumunda parametre tahmininin güçleşebileceği belirtilmektedir (Kaçıranlar, 2012). Bu nedenle Koyck ve Almon yaklaşımları çalışmada tam parametrik ekonometrik tahmin amacıyla değil, geçmiş dönem fiyat sinyalleri ile cari dönem üretim kararları arasındaki gecikmeli ilişkinin yönünü ve olası yapısını değerlendirmeye yardımcı olan analitik bir çerçeve olarak kullanılmıştır. Elde edilen nicel görünüm, yerel üretim pratikleri ve saha gözlemleriyle birlikte yorumlanmıştır.

BULGULAR

Yenişehir ilçesinde dane mısır ekim alanı ile bir önceki döneme ait fiyat sinyali birlikte değerlendirildiğinde, dönemler arasında belirgin bir uyumsuzluk ve dalgalanma görülmektedir.



Şekil 1. Yıllara Göre Fiyat ve Ekili Alan Değişimi

2021 yılında 2,50 TL/kg düzeyinde olan fiyat sinyaline karşılık 2022 yılında dane mısır ekim alanı 746,59 dekar olarak gerçekleşmiştir. Fiyatın 2022 yılında 5,33 TL/kg'ye ve 2023 yılında 5,91 TL/kg'ye yükselmesine rağmen, izleyen üretim dönemlerinde ekim alanı sırasıyla 275,68 ve 58,14 dekara gerilemiştir. Buna karşılık 2024 yılında fiyatın 8,58 TL/kg düzeyine yükselmesini izleyen 2025 üretim döneminde ekim alanı 2.195,52 dekara çıkarak önceki yıllara kıyasla belirgin bir sıçrama göstermiştir.
Dane mısır üretimindeki artışın mekânsal dağılımı incelendiğinde, üretim Yenişehir genelinde homojen biçimde dağılmadığı görülmektedir. ÇKS kayıtlarına göre 2025 yılında ilçedeki toplam 2.195,52 dekarlık dane mısır ekim alanının 1.577,94 dekarı Marmaracık Göl yerleşiminde bulunmaktadır. Bu değer, toplam dane mısır alanının yaklaşık %71,9'una karşılık gelirken, diğer yerleşimlerin toplam payı %28,1 düzeyinde kalmaktadır. Ayrıca ÇKS verilerine göre dane mısır ekim alanlarının %97'sinde sulu tarım yapılmaktadır. Bu görünüm, dane mısır üretiminin belirli bir bölgede yoğunlaşmasından ayrı olarak aynı zamanda yüksek ölçüde sulama bağımlılığı taşıdığını göstermektedir.
Söz konusu yoğunlaşma, Marmaracık ve çevresindeki su rejimini çalışmanın değerlendirme alanlarından biri hâline getirmektedir. Devlet Su İşleri 1. Bölge Müdürlüğü, Marmaracık başta olmak üzere Yenişehir Ovası'nın bazı kesimlerinde yüzey sulaması ve yağışlara bağlı göllenmelerin tarım arazilerinin kullanımını etkilediğini ve drenaj çalışmalarına ihtiyaç duyulduğunu belirtmektedir (DSİ 1. Bölge Müdürlüğü, 2021). Bu durum, bölgedeki tarımsal üretimin yalnızca sulama imkânlarıyla değil, aynı zamanda drenaj kapasitesi ve yerel su rejimiyle birlikte değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır. Saha görüşmelerinde ise dane mısırın yüksek su ihtiyacına sahip olduğu ve üretimdeki artışın sulama kaynakları üzerindeki baskı bakımından yerel aktörlerce dikkate alındığı yönünde değerlendirmeler dile getirilmiştir. Bu çerçevede Marmaracık'taki dane mısır yoğunlaşması, üretim tercihleri ile bölgenin hidrolojik ve fiziksel arazi koşulları arasındaki ilişkinin ayrıca değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır.
Fiyat sinyali ile ekim alanındaki değişim birlikte değerlendirildiğinde, ilişkinin doğrusal ve tek yönlü bir yapı göstermediği görülmektedir. 2021-2023 döneminde fiyatların yükselmesine rağmen izleyen üretim dönemlerinde dane mısır ekim alanlarının gerilemesi, geçmiş dönem fiyat etkilerinin cari üretim kararlarına düzenli ve geometrik olarak azalan bir yapı içerisinde yansımadığını göstermektedir. Buna karşılık 2024 yılındaki fiyat artışını izleyen 2025 üretim döneminde ekim alanının keskin biçimde yükselmesi, geçmiş dönem fiyat sinyalinin belirli bir dönemde daha güçlü bir karşılık bulabildiğine işaret etmektedir. Bu görünüm, Koyck yaklaşımının öngördüğü tekdüze azalan gecikme yapısından ziyade, dönemler arasında farklı ağırlıkların ortaya çıkabildiği daha esnek bir gecikme yapısına işaret etmektedir. Bu nedenle bulgular, geçmiş dönem etkilerinin zaman içerisinde sabit bir azalma örüntüsü izlemek zorunda olmadığını kabul eden Almon yaklaşımıyla daha uyumlu bir yorum alanı sunmaktadır. Bununla birlikte, dört yıllık gözlem sayısı nedeniyle bu uyum parametrik bir model sonucu olarak değil, veride gözlenen ilişkinin analitik değerlendirmesi olarak ele alınmalıdır.

TARTIŞMA

Bulgular, Yenişehir ilçesinde dane mısır ekim alanındaki değişimin geçmiş dönem fiyat sinyalleriyle tek başına açıklanamayacağını göstermektedir. 2021-2023 döneminde fiyatlarının yükselmesine rağmen izleyen üretim dönemlerinde ekim alanlarının gerilemesi, üretici kararlarının yalnızca fiyat değişimlerine mekanik biçimde tepki vermediğine işaret etmektedir. Buna karşılık 2024 yılındaki fiyat artışını izleyen 2025 üretim döneminde ekim alanının belirgin biçimde yükselmesi, geçmiş dönem fiyat sinyalinin bazı dönemlerde daha güçlü bir karşılık bulabildiğini göstermektedir. Bu yapı, gecikmeli etkilerin dönemler arasında farklı ağırlıklarla ortaya çıkabileceğini düşündürmektedir.

Bu noktada ekonometrik modellerin açıklama sınırları önem kazanmaktadır. Çalışmada kullanılan Koyck ve Almon yaklaşımları, geçmiş dönem fiyatlarının cari dönem üretim kararları üzerindeki etkisini gecikmeli bir yapı içerisinde değerlendirmeye imkân tanımakla birlikte, üretici davranışını etkileyen tüm unsurları doğrudan gözlemleyememektedir. Yerel üretim kültürü, üreticilerin sübjektif beklentileri, çevredeki diğer üreticilerin tercihleri, sulama koşulları ve yönetsel yaklaşımlar gibi modele açık biçimde dâhil edilmeyen unsurların etkisinin bir kısmı hata terimi içerisinde kalabilmektedir. Bu nedenle hata terimi, yalnızca rassal sapmaları değil, nicel model tarafından temsil edilemeyen yerel karar dinamiklerini de kısmen yansıtan bir bileşen olarak değerlendirilebilir.

Marmaracık'taki üretim yoğunlaşması da bu çerçeveyi destekleyen önemli bir bulgudur. 2025 yılı ÇKS kayıtlarında dane mısır ekim alanının yaklaşık %71,9'unun Marmaracık Göl yerleşiminde yoğunlaşması ve toplam dane mısır alanının %97'sinin sulu tarım kapsamında bulunması, üretim tercihleri ile yerel su rejimi arasındaki ilişkinin göz ardı edilemeyeceğini göstermektedir. DSİ'nin bölgede göllenme ve drenaj sorunlarına ilişkin değerlendirmeleri ile saha görüşmelerinde dane mısırın yüksek su ihtiyacına yönelik dile getirilen görüşler birlikte ele alındığında, üretim kararlarının fiyat sinyalinin ötesinde fiziksel ve yönetsel koşullarla da şekillendiği anlaşılmaktadır.

Bu bulgular, yerel ölçekte tarımsal üretim kararlarının yalnızca ekonomik göstergeler üzerinden değil; üretim kültürü, suya erişim, arazi koşulları ve yerel yönetsel tercihlerle birlikte değerlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, Bursa İli Yenişehir İlçesinde dane mısır üretiminin 2022-2025 dönemindeki seyrini, geçmiş dönem fiyat sinyalleri ve yerel üretim koşullarıyla birlikte değerlendirilmiştir. Bulgular, fiyat değişimleri ile ekim alanı arasında düzenli ve tek yönlü bir ilişkinin bulunmadığını; özellikle 2022–2024 dönemindeki daralma ile 2025 yılındaki keskin artışın, üretim kararlarının yalnızca geçmiş dönem fiyat hareketleriyle açıklanamayacağını göstermektedir.

Koyck ve Almon yaklaşımları bu ilişkilerin gecikmeli yapısını değerlendirmek için analitik bir çerçeve sunmuş, ancak sınırlı gözlem sayısı nedeniyle modeller tam parametrik tahmin amacıyla kullanılmamıştır. Elde edilen görünüm, üretici kararlarının fiyat sinyallerinin yanı sıra yerel üretim kültürü, sübjektif beklentiler, çevresel koşullar ve yönetsel unsurlarla birlikte şekillendiğini göstermektedir.ÇKS kayıtlarında 2025 yılı dane mısır ekim alanının yaklaşık %71,9'unun Marmaracık Göl yerleşiminde yoğunlaşması ve toplam alanın %97'sinin sulu tarım kapsamında bulunması, üretim deseninin su kaynaklarıyla ilişkisini özellikle önemli hâle getirmektedir. Bu nedenle dane mısır üretimine ilişkin değerlendirmelerin yalnızca ekonomik getiriler üzerinden değil, sulama ihtiyacı, drenaj kapasitesi ve yerel su rejimiyle birlikte ele alınması gerekmektedir.

Bu doğrultuda, yerel tarım politikalarında üretim kararlarının yalnızca fiyat sinyallerine bırakılması yerine, ÇKS verileri, piyasa fiyatları, su kullanımı ve saha gözlemlerini birlikte değerlendiren veri temelli bir izleme ve koordinasyon mekanizmasının geliştirilmesi önerilmektedir. Böyle bir yaklaşım, hem üretimdeki aşırı dalgalanmaların hem de su kaynakları üzerindeki baskının daha erken fark edilmesine katkı sağlayabilir.

KAYNAKÇA

Akademik Kaynaklar / Academic References

Almon, S. (1965). The distributed lag between capital appropriations and expenditures. *Econometrica, 33*(1), 178–196.

Çelik, Ş. (2015). Koyck ve Almon gecikme modeli ile koyun sütü üretiminde üretim-fiyat ilişkisinin analizi: Türkiye örneği. *Akademik Bakış Uluslararası Hakemli Sosyal Bilimler Dergisi*, (50), 137–149.

Çetinkaya, Ş. (2012). Türkiye'nin son on yıllık buğday üretimindeki miktar-fiyat ilişkisinin ekonometrik analizi: Koyck-Almon tekniği. *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi, 1*(4).

Kaçıranlar, S. (2012). Gecikmesi dağıtılmış modellerde yanlı tahmin ediciler. *İstatistik Araştırma Dergisi, 9*(1), 1–10.

Köleoğlu, N., & Çelik, Ş. (2025). Dağıtılmış gecikme modelleri: Koyck ve Almon modeli: Tarım verileri üzerine bir uygulama. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi, 28*(4).

Koyck, L. M. (1954). *Distributed lags and investment analysis*. Amsterdam: North-Holland Publishing Company.

Veri Kaynakları / Data

Bursa Ticaret Borsası. (2021–2025). *Aylık bültenler*.

Çiftçi Kayıt Sistemi (ÇKS). (2022–2025). *Bursa ili Yenişehir ilçesi parsel ve üretim kayıtları*.

Devlet Su İşleri 1. Bölge Müdürlüğü. (2021). *Bursa Yenişehir Boğazköy Barajı Sulaması Detaylı Drenaj Raporu ve Drenaj Projelerinin Hazırlanması Sözleşmesi İmzalandı*. 11 Mart 2021.

Saha görüşmeleri. (2026). *Yenişehir ilçesinde üreticiler ve tarımsal üretim aktörleriyle gerçekleştirilen informel saha görüşmeleri*.

BİTKİLERDE ABİYOTİK STRES TOLERANSININ GELİŞTİRİLMESİNDE BİYOTEKNOLOJİK YAKLAŞIMLAR

BIOTECHNOLOGICAL APPROACHES TO IMPROVING ABIOTIC STRESS TOLERANCE IN PLANTS

Asst. Prof. Dr. Merve Dilek KARATAŞ
Department of Agricultural Biotechnology, Faculty of Agriculture, Van Yüzüncü Yıl University, Van, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-1076-3648

Özet
Abiyotik stres faktörleri; kuraklık, tuzluluk, aşırı sıcaklık, ağır metal toksisitesi ve besin elementi eksikliği gibi durumlar, bitki üretimi için başlıca sınırlayıcı etkenlerdir. İklim değişikliği sonucu bu stres koşullarının sıklığının ve şiddetinin artmasının nihai sonuçları, bitkilerin büyüme ve gelişmesinin yavaşlaması, fotosentetik aktivitenin azalması, hücresel iyon-homeostazının bozulması, reaktif oksijen türlerinin (ROS) birikmesi ve genel verim/kalite kayıplarıdır. Bitkiler, abiyotik stres koşullarına karşı farklı fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler savunma mekanizmaları kullanır. Bununla birlikte, çeşitli düzeylerde abiyotik strese belirgin tolerans gösterebilen çeşitlerin geliştirilmesinde geleneksel ıslah tekniklerinin etkinliği ile sınırlı olabilir. Bu nedenle tarımda biyoteknoloji, bitkileri abiyotik streslere dayanıklı hâle getirme konusunda potansiyel sunmaktadır. Bu derleme, abiyotik strese özel bir vurgu ile bitkilerde stres toleransına yönelik biyoteknolojik yaklaşımlara genel bir bakış sağlamaktadır.
Moleküler markör destekli seleksiyon, doku kültürü, genetik mühendisliği, transkriptomik, proteomik ve metabolomik uygulamalar ile CRISPR/Cas tabanlı genom düzenleme teknolojilerinin stres toleransının geliştirilmesindeki potansiyeli değerlendirilmiştir. Ayrıca, bitki gelişimini teşvik eden mikroorganizmaların stres koşullarında bitki performansını iyileştirmeye katkısı vurgulanmıştır. Bu yaklaşımların klasik ıslah yöntemleriyle bütünleştirilmesi; stres toleransıyla ilişkili genlerin belirlenmesini, üstün genotiplerin daha hızlı seçilmesini ve dayanıklı çeşit geliştirme sürecinin kısaltılmasını sağlayabilir. Sonuç olarak, biyoteknolojik yöntemlerin etkin, güvenli ve sürdürülebilir biçimde kullanılması, değişen çevre koşullarında tarımsal üretimin sürekliliğini ve gıda güvenliğini destekleyebilir.
Anahtar Kelimeler: Abiyotik stres, bitki biyoteknolojisi, stres toleransı, moleküler ıslah, genom düzenleme

Abstract
Abiotic stress factors such as drought, salinity, extreme temperatures, heavy metal toxicity, and nutrient deficiencies are among the major restrictions to plant production. Climate changes lead to increasing occurrence of abiotic stresses that result in poor plant growth and development, decreased photosynthesis, disruption of cellular ion balance, high ROS content, and eventually decrease in crop production and its quality. There are numerous physiological, biochemical, and molecular strategies of plants to withstand abiotic stress conditions. Nonetheless, traditional breeding of stress-resistant cultivars can be complicated by the complex genetics of the stress tolerance trait, genotype × environment interaction, and a long breeding cycle. Therefore, the use of agricultural biotechnology is one of the main ways to increase the adaptability of plants to harsh environmental conditions. This review presents a brief consideration of the most popular biotechnological methods aimed at improving the resistance of plants to abiotic stress. First of all, this work pays attention to the potential of marker-assisted selection, tissue culture techniques, genetic modification, transcriptomic, proteomic, metabolomic approaches, and CRISPR/Cas9 system in plant breeding. Contribution of beneficial microorganisms to plant adaptation to stress conditions is also considered in this paper. Combining these biotechnological approaches with traditional breeding will make it possible.
Keywords: Abiotic stress, plant biotechnology, stress tolerance, molecular breeding, genome editing

THE ROLE OF SIDEROPHORE-PRODUCING RHIZOBACTERIA IN IRON (FE) AND ZINC (ZN) BIOFORTIFICATION

Assoc. Prof. Dr. Hilal YILMAZ
Plant and Animal Production Program, İzmit Vocational School, Kocaeli University, Kocaeli, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-9138-3382

Assoc. Prof. Dr. Sibel Boysan CANAL
Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Van Yüzüncü Yıl University, Van, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-9027-0458

Özet
Küresel nüfus artışı, iklim değişikliği ve tarımsal kaynakların giderek artan baskı altında olması, gıda güvenliğinin yanı sıra mikro besin elementi yetersizliklerinin de önemli bir halk sağlığı sorunu hâline gelmesine neden olmaktadır. Özellikle yeterli kalori alımına rağmen Fe ve Zn gibi esansiyel mikro elementlerin yetersiz tüketimiyle karakterize edilen "gizli açlık", sürdürülebilir ve besin değeri yüksek gıda üretimini zorunlu kılmaktadır. Bu sorun, yüksek pH'lı ve kalkerli topraklarda Fe ve Zn'nin düşük çözünürlüğü ve bitkiler tarafından sınırlı yarayışlılığı nedeniyle daha da belirginleşmektedir. Bu derlemede, siderofor üreten bitki gelişimini teşvik edici rizobakterilerin Fe ve Zn biyofortifikasyonundaki rolü ve bu etkinin altında yatan mekanizmalar ele alınmıştır. Mikrobiyal sideroforlar, yüksek afiniteleri sayesinde özellikle Fe^{3+} iyonlarını şelatlayarak rizosferde Fe'nin çözünürlüğünü ve hareketliliğini artırmakta; böylece mikrobiyal ve bitkisel Fe beslenmesine katkı sağlamaktadır. Bunun yanı sıra siderofor üretimiyle ilişkili organik asit salgılanması, proton ekstrüzyonu ve mineral çözündürme gibi mekanizmalar Zn'nin bitkiler tarafından yarayışlılığını da destekleyebilmektedir. *Bacillus, Pseudomonas, Azotobacter* ve *Streptomyces* başta olmak üzere farklı PGPR gruplarının siderofor üretiminin; bitki mineral beslenmesi, klorofil sentezi, fotosentetik aktivite, kök gelişimi ve biyokütle birikimi üzerinde olumlu etkiler oluşturabildiği bildirilmektedir. Ayrıca siderofor aracılı demir rekabeti, fitopatojenlerin Fe erişimini sınırlandırarak biyokontrol ve bitki stres toleransına katkı sağlamaktadır. Sonuç olarak, siderofor üreten rizobakteriler; özellikle alkali ve kalkerli topraklarda Fe ve Zn biyoyararlanımının iyileştirilmesi, ürünlerin mikro besin elementi içeriğinin artırılması ve bitki sağlığının desteklenmesi açısından sürdürülebilir biyofortifikasyon uygulamaları için önemli bir biyolojik araç olarak değerlendirilmektedir.
Anahtar Kelimeler: Biyofortifikasyon, Siderofor, Gizli açlık, PGPR, Mikro element, Sürdürülebilir tarım.

Abstract
Global population growth, climate change, and increasing pressure on agricultural resources have made micronutrient deficiencies an important public health concern alongside food security. In particular, "hidden hunger," characterized by inadequate intake of essential micronutrients such as iron (Fe) and zinc (Zn) despite sufficient calorie consumption, highlights the need for sustainable production of nutrient-dense foods. This challenge is particularly pronounced in high-pH and calcareous soils, where the low solubility and limited plant availability of Fe and Zn constrain crop nutritional quality. This review evaluates the role of siderophore-producing plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) in Fe and Zn biofortification and discusses the underlying mechanisms contributing to these effects. Microbial siderophores, owing to their high metal-binding affinity, chelate Fe^{3+} and enhance Fe solubility and mobility in the rhizosphere, thereby contributing to microbial and plant Fe acquisition. In addition, siderophore production-associated processes, including organic acid secretion, proton extrusion, and mineral solubilization, may enhance Zn availability to plants. Siderophore-producing PGPR, particularly members of *Bacillus, Pseudomonas, Azotobacter*, and *Streptomyces*, have been reported to positively influence plant mineral nutrition, chlorophyll synthesis, photosynthetic activity, root development, and biomass accumulation. Furthermore, siderophore-mediated competition for iron can restrict Fe acquisition by phytopathogens, contributing to biological disease suppression and enhanced plant stress tolerance.

Overall, siderophore-producing rhizobacteria represent a promising biological tool for sustainable biofortification, particularly in alkaline and calcareous soils, by improving Fe and Zn bioavailability, enhancing the micronutrient content of crops, and supporting overall plant health.
Keywords: Biofortification, Siderophore, Hidden hunger, PGPR, Micronutrient, Sustainable agriculture.

Introduction

The continuous growth of the global population, increasing pressure on natural resources, and the intensifying impacts of climate change have collectively heightened concerns regarding food security and malnutrition, making these issues among the most pressing challenges facing humanity (Pawlak and Kołodziejczak, 2020; McLaughlin and Kinzelbach, 2015). According to United Nations projections, the global population may reach approximately 10.9 billion by 2100 (Ritchie and Rodés-Guirao., 2024). At the same time, climate change is expected to increasingly constrain agricultural productivity and, consequently, the capacity of food production systems to meet future demand, thereby increasing the vulnerability of populations to food insecurity (Tian et al., 2016). Importantly, the global nutritional challenge extends beyond inadequate energy intake. Recent global modelling studies indicate that insufficient dietary intake of essential micronutrients represents a major, yet frequently overlooked, dimension of malnutrition. Approximately 4.9 billion people worldwide are estimated to have inadequate iron (Fe) intake, while around 3.5 billion are estimated to have insufficient zinc (Zn) intake (Passarelli et al., 2024). This condition, commonly referred to as “hidden hunger,” occurs when individuals consume sufficient calories but fail to obtain adequate amounts of essential vitamins and minerals, and has consequently emerged as a major global public health concern. The increasing consumption of energy-dense but micronutrient-poor diets further exacerbates this problem (Burchi et al., 2011).

The nutritional consequences of hidden hunger are particularly relevant in populations whose diets rely heavily on a limited number of carbohydrate-rich staple foods. Turkey provides a notable example, where annual per capita bread consumption has been reported to reach approximately 150–200 kg, nearly 3.8 times the European Union average of 39.3 kg (Sadowski et al., 2024). Although cereal-based foods constitute an important source of dietary energy, their contribution to the intake of bioavailable micronutrients may be comparatively limited. This concern is further compounded by the high phytic acid content of many cereal-based foods, which can substantially reduce the intestinal absorption and bioavailability of essential minerals such as Fe and Zn. Consequently, cereal-dominated dietary patterns may contribute not only to adequate energy intake but also to an increased risk of micronutrient inadequacy. Deficiencies of Fe and Zn are associated with a range of adverse health outcomes, including impaired immune function, compromised physiological development, and cognitive deficits (McLean et al., 2009; Krebs et al., 2014). Moreover, hidden hunger disproportionately affects vulnerable population groups, including women, children, and economically disadvantaged communities, further emphasizing its relevance to sustainable development (Di Gioia et al., 2019).

Against this nutritional backdrop, improving the micronutrient density of widely consumed staple crops has emerged as an important component of strategies aimed at alleviating micronutrient deficiencies. Among the approaches developed to improve the nutritional quality of crops, biofortification has gained considerable attention as a sustainable means of increasing the concentration and bioavailability of essential micronutrients in edible plant tissues. Biofortification encompasses the integration of agronomic practices, conventional plant breeding, and modern biotechnological approaches to improve the mineral nutritional quality of crops, with particular emphasis on essential micronutrients such as Fe and Zn (Garg et al., 2018). The importance of these two micronutrients extends beyond human nutrition, as both Fe and Zn are indispensable for numerous physiological and biochemical processes in plants. Iron participates in photosynthesis, respiration, phytohormone biosynthesis, chlorophyll formation, and the synthesis of phenylpropanoids and other secondary metabolites. It is also involved in nutrient assimilation through its role in enzymes such as nitrite reductase and nitrate reductase (Kobayashi et al., 2014; Kobayashi et al., 2019; Bhat et al., 2024; Kar and Panda, 2020). Zinc, in parallel, is essential for chlorophyll biosynthesis, protein metabolism, and the regulation of vegetative growth.

As a structural component and cofactor of numerous enzymes, Zn contributes to carbohydrate and protein metabolism, while its involvement in indole-3-acetic acid biosynthesis links it to the regulation of cell division and elongation (Sharma et al., 2013; Yadav et al., 2023; Vaid et al., 2014; Hosamani et al., 2020; Wang and Yang, 2021).

Despite the substantial progress achieved in crop productivity, improvements in yield have not necessarily been accompanied by equivalent improvements in micronutrient availability. The widespread adoption of high-yielding genotypes during the Green Revolution, together with intensive mechanization and modern agricultural practices, substantially increased crop productivity per unit area. However, the long-term intensification of agricultural production has also contributed to the depletion of plant-available micronutrient reserves in agricultural soils (Khoshgoftarmanesh et al., 2011; Pingali, 2022). This imbalance has been further aggravated by abiotic and anthropogenic processes, including soil erosion, leaching, excessive liming, and declines in soil organic carbon, all of which can reduce micronutrient availability and ultimately constrain crop productivity and quality (Fageria et al., 2008; Abdoli, 2022). Thus, improving the bioavailability of Fe and Zn in agricultural soils represents a critical prerequisite for achieving effective crop biofortification, particularly in environments where these elements occur in forms that are poorly accessible to plants.

Among the two micronutrients, Fe presents a particularly challenging case because of its inherently low solubility and restricted availability in many agricultural soils. Iron solubility is strongly dependent on soil pH, and under neutral to alkaline conditions, the formation of poorly soluble iron hydroxide complexes markedly decreases the pool of Fe available for plant uptake (Etesami et al., 2017). Under aerobic soil conditions, Fe predominantly occurs in the ferric (Fe^{3+}) form, which readily forms poorly soluble hydroxide and oxyhydroxide compounds. Consequently, Fe availability may become severely restricted for both plant roots and rhizosphere microorganisms (Rajkumar et al., 2010). These limitations are particularly pronounced in calcareous and high-pH soils, where Fe deficiency can impair chlorophyll biosynthesis and result in characteristic symptoms such as interveinal chlorosis, reduced biomass accumulation, and, under severe deficiency, tissue necrosis (Sperotto et al., 2010; Kaushal and Wani, 2016a,b).

Zinc availability is likewise strongly influenced by soil chemical properties, particularly soil pH. Even when the total Zn concentration of a soil is sufficient, its solubility and accessibility to plants may decline substantially under neutral and alkaline conditions (Alloway, 2008). Zinc can become strongly adsorbed onto calcium carbonate, clay minerals, and metal oxide surfaces or precipitate as poorly soluble compounds, including zinc hydroxide and zinc carbonate, thereby restricting its accessibility to plant roots (Cakmak, 2002; Broadley et al., 2007).

Such limitations can have pronounced physiological consequences. Zinc deficiency may impair cell division and elongation, leading to shortened internodes, reduced leaf size, and chlorosis. Under severe deficiency, root development and pollen formation may also be adversely affected, while plant tolerance to environmental stresses may decline. These disturbances can ultimately result in substantial reductions in crop yield and quality (Younas et al., 2023). Collectively, the limited availability of Fe and Zn under unfavourable soil conditions represents a major bottleneck to achieving effective micronutrient biofortification.

Role of Siderophore-Producing Rhizobacteria in Micronutrient Mobilization

The persistence of these soil-related constraints has stimulated increasing interest in biological approaches capable of improving micronutrient acquisition without relying exclusively on conventional mineral fertilization. In this context, the natural chelating and mineral-solubilizing capacities of rhizosphere microorganisms offer a particularly promising avenue. Among the metabolites produced by these microorganisms, siderophores are low-molecular-weight secondary metabolites that function as high-affinity Fe-chelating compounds and play a central role in microbial Fe acquisition (Leach et al., 2007). Under Fe-limiting conditions, siderophores chelate ferric iron (Fe^{3+}), forming soluble ferri-siderophore complexes that increase Fe mobility and facilitate its acquisition by microorganisms and, under certain conditions, plants (Albelda-Berenguer et al., 2019). This mechanism is particularly relevant in nutrient-poor, alkaline, and calcareous soils, where Fe is predominantly present in poorly soluble forms.

Approximately 500 siderophore molecules have been identified to date, with major structural groups including hydroxamates, catecholates, and carboxylates (Hider and Kong, 2010; Hermenau et al., 2018; Boukhalfa and Crumbliss, 2002).

The potential contribution of siderophore-producing microorganisms is not necessarily restricted to Fe mobilization. These microorganisms may also enhance Zn availability through complementary mechanisms, including organic acid production, proton extrusion, and other mineral-solubilizing processes that transform poorly soluble Zn compounds into forms that are more accessible to plant roots (Etesami, 2019; Etesami and Beattie, 2017). Thus, the functional significance of siderophore-producing microorganisms may extend beyond a single micronutrient and may involve broader effects on mineral availability within the rhizosphere.

At the microbial level, siderophore-mediated Fe acquisition involves a coordinated sequence of processes, beginning with the perception of Fe deficiency and induction of siderophore biosynthesis, followed by siderophore secretion, Fe^{3+} chelation, uptake of ferri-siderophore complexes through specific transport systems, and subsequent release of Fe through reduction or hydrolysis (Schalk, 2025). The molecular mechanisms underlying siderophore uptake differ considerably between bacterial groups. In Gram-positive bacteria, transport is primarily mediated by permeases, ATPases, and siderophore recycling proteins, whereas Gram-negative bacteria utilize outer-membrane receptors, periplasmic binding proteins, and ATP-binding cassette transporters as a consequence of their dual-membrane architecture (Kumar et al., 2017; Klebba et al., 2021). Recent evidence further indicates that siderophores have functions extending beyond Fe acquisition. They may influence the mobility and uptake of other essential trace elements, including Zn, Mn, Mo, and Cu, and may therefore contribute to broader regulation of microbial metal homeostasis. Moreover, siderophore biosynthesis can be regulated not only by Fe availability but also by the presence of other metal ions (Schalk, 2025).

These multifaceted functions become particularly relevant when siderophore production is considered within the broader functional framework of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR). PGPR comprise a diverse group of beneficial rhizosphere microorganisms that interact with plant roots and promote plant growth through a range of physiological and biochemical mechanisms (Kloepper et al., 1980; Yilmaz and Kulaz, 2019). Microbial populations in soil and rhizosphere environments may reach densities of 10^8–10^9 CFU g^{-1}, reflecting the substantial biological activity of these microbial communities in agricultural ecosystems (Chaudhary and Sindhu, 2025). Importantly, siderophore production is only one of several mechanisms through which PGPR can influence plant nutrition and performance. Siderophore-producing PGPR may simultaneously express other plant-growth-promoting traits, including phosphate solubilization, biological nitrogen fixation, indole-3-acetic acid (IAA) production, exopolysaccharide (EPS) synthesis, and ACC deaminase activity (Campestre et al., 2016; Timofeeva et al., 2022).

The combined expression of these traits may become particularly valuable under environmental stress conditions. Drought, salinity, heavy-metal toxicity, and other abiotic or biotic stresses can disrupt nutrient acquisition and plant physiological processes, whereas siderophore-producing PGPR may contribute to maintaining plant nutritional and physiological homeostasis under such conditions (Alami et al., 2024; Sultana et al., 2021). In vivo studies have demonstrated that siderophore-mediated Fe mobilization can enhance plant growth and biomass accumulation compared with conventional Fe application (Chandran et al., 2021). In addition, microbial siderophore production may contribute to sustained Fe availability within the rhizosphere and may provide protection against heavy-metal toxicity and other environmental constraints (Fahsi et al., 2021; Singh et al., 2021). These findings highlight the potential of siderophore-producing PGPR as multifunctional biological tools rather than merely as Fe-mobilizing microorganisms.

Siderophore production has been reported across a wide range of bacterial taxa, particularly within the genera *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Kosakonia*, *Paenibacillus*, *Pseudomonas*, *Serratia*, and *Streptomyces* (Sah and Singh, 2015; Aasfar et al., 2021; Romero-Perdomo et al., 2017; Mishra and Baek, 2021; Hasinu et al., 2021; Lan et al., 2021; Singh et al., 2020; Liu et al., 2017; Baune et al., 2017; Gerc et al., 2014; Gáll et al., 2016). The ecological significance of these microorganisms, however, extends beyond their contribution to plant mineral nutrition.

By effectively competing for Fe, siderophores can also reduce Fe availability to phytopathogenic microorganisms and thereby contribute to biological disease suppression (Latha et al., 2009; Scavino et al., 2013; Swarnalatha et al., 2022). For example, siderophore-producing *Bacillus subtilis* MF497446 and *Pseudomonas koreensis* MG209738 were reported to induce systemic resistance against *Cephalosporium maydis* in maize (Ghazy and El-Nahrawy, 2021). Similarly, siderophores produced by *Bacillus subtilis* 330-2 inhibited the mycelial growth of several important phytopathogens, including *Rhizoctonia solani, Botrytis cinerea, Fusarium oxysporum, Alternaria alternata, Cochliobolus heterostrophus,* and *Nigrospora oryzae*, while simultaneously improving biometric parameters in rice and maize seedlings (Ahmad et al., 2017). Siderophores produced by *Bacillus amyloliquefaciens* D5 have likewise been associated with enhanced chlorophyll biosynthesis, photosynthetic activity, root and shoot development, and biomass accumulation, together with suppression of *Cercospora* leaf spot disease (Kamath and Patel, 2025).

The relevance of siderophore-producing microorganisms to Fe nutrition is further supported by studies conducted under soil-based and field-relevant conditions. In bean, inoculation with *Rhizobium leguminosarum, Pseudomonas fluorescens,* and *Azospirillum brasilense* increased Fe and Cu assimilation, with *Pseudomonas* strains promoting both micronutrients and *Rhizobium* primarily enhancing Fe accumulation (Carrillo-Castañeda et al., 2005). Similarly, *Pantoea dispersa* MPJ9 and *Pseudomonas putida* MPJ6 increased Fe concentration as well as total protein and carbohydrate contents in mung bean, which was attributed to their strong siderophore-producing capacity (Patel et al., 2018). In peanut, inoculation with *Bacillus subtilis* increased shoot fresh and dry biomass by 63% and 86%, respectively, while increasing total Fe uptake by 24.14–49.75% (Sarwar et al., 2022). Under highly calcareous soil conditions, inoculation with *Paenibacillus illinoisensis* and *Bacillus* sp. improved Fe translocation, chlorophyll content, and biomass while reducing chlorosis symptoms in peanut (Liu et al., 2017). Together, these findings provide evidence that siderophore-producing microorganisms can influence Fe nutrition under conditions where conventional Fe availability is strongly constrained.

Importantly, the beneficial effects of these microorganisms cannot be attributed exclusively to siderophore-mediated Fe mobilization. Several PGPR, including *Variovorax paradoxus, Pseudomonas fluorescens,* and *Bacillus megaterium*, combine siderophore production with phosphate solubilization, EPS synthesis, IAA production, and ACC deaminase activity, thereby providing multiple complementary mechanisms for plant growth promotion (Timofeeva et al., 2022). This multifunctionality may be particularly important under abiotic stress conditions. For example, inoculation with *Enterobacter cloacae, Bacillus megaterium,* and *Bacillus cereus* enhanced antioxidant enzyme activities and supported vegetative growth and abiotic stress tolerance in drought-stressed wheat (Shankar and Prasad, 2023). Similarly, *Brucella* sp. E7 and *Pseudomonas brassicae* W7 improved plant growth parameters under both Fe deficiency and Fe toxicity conditions (Sun et al., 2022).

CONCLUSION

Taken together, the available evidence indicates that siderophore-producing PGPR can influence plant mineral nutrition through multiple, interconnected mechanisms. Their potential to mobilize Fe and Zn, promote plant growth, enhance stress tolerance, and contribute to biological disease suppression positions these microorganisms as promising components of sustainable strategies for improving crop nutritional quality. In this context, understanding the diversity of siderophore-producing rhizobacteria and characterizing their multiple plant-growth-promoting traits may provide an important basis for developing microbial approaches to enhance micronutrient acquisition and, ultimately, support crop biofortification and sustainable agricultural production.

REFERENCES

Aasfar, A., Bargaz, A., Yaakoubi, K., Hilali, A., Bennis, I., Zeroual, Y., & Meftah Kadmiri, I. (2021). Nitrogen fixing Azotobacter species as potential soil biological enhancers for crop nutrition and yield stability. Frontiers in microbiology, 12, 628379. https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.628379

Abdoli, M. (2022). Sustainable use of sewage sludge in soil fertility and crop production. In Sustainable management and utilization of sewage sludge (pp. 297-333). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-6-9_15

Ahmad, Z., Wu, J., Chen, L. et al. Isolated Bacillus subtilis strain 330-2 and its antagonistic genes identified by the removing PCR. Sci Rep 7, 1777 (2017). https://doi.org/10.1038/s41598-017-01940-9

Alami, S., Kaddouri, K., Lamrabet, M., Chaddad, Z., Bouhnik, O., Bennis, M., ... & Missbah El Idrissi, M. (2024). Selection and application of soil bacterial elite strains as biofertilizers for the reclamation of deteriorated soil health. In Soil bacteria: Biofertilization and soil health (pp. 451-485). Singapore: Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-3473-3_16

Albelda-Berenguer, M., Monachon, M., & Joseph, E. (2019). Siderophores: From natural roles to potential applications. Advances in applied microbiology, 106, 193-225. https://doi.org/10.1016/bs.aambs.2018.12.001

Alloway, B. J. (2008). Micronutrients and crop production: An introduction. In Micronutrient deficiencies in global crop production (pp. 1-39). Dordrecht: Springer Netherlands.

Baune, M., Qi, Y., Scholz, K., Volmer, D. A., & Hayen, H. (2017). Structural characterization of pyoverdines produced by Pseudomonas putida KT2440 and Pseudomonas taiwanensis VLB120. BioMetals, 30(4), 589-597. https://doi.org/10.1007/s10534-017-0029-7

Bhat, M. A., Mishra, A. K., Shah, S. N., Bhat, M. A., Jan, S., Rahman, S., ... & Jan, A. T. (2024). Soil and mineral nutrients in plant health: A prospective study of iron and phosphorus in the growth and development of plants. Current issues in molecular biology, 46(6), 5194-5222. https://doi.org/10.3390/cimb46060312

Boukhalfa, H., & Crumbliss, A. L. (2002). Chemical aspects of siderophore mediated iron transport. Biometals, 15(4), 325-339. https://doi.org/10.1023/A:1020218608266

Broadley, M. R., White, P. J., Hammond, J. P., Zelko, I., & Lux, A. (2007). Zinc in plants. New phytologist, 173(4), 677-702. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.01996.x

Burchi, F., Fanzo, J., & Frison, E. (2011). The role of food and nutrition system approaches in tackling hidden hunger. International journal of environmental research and public health, 8(2), 358-373. https://doi.org/10.3390/ijerph8020358

Cakmak, I. (2002). Plant nutrition research: Priorities to meet human needs for food in sustainable ways. Plant and soil, 247(1), 3-24. https://doi.org/10.1023/A:1021194511492

Campestre, M. P., Castagno, L. N., Estrella, M. J., & Ruiz, O. A. (2016). Lotus japonicus plants of the Gifu B-129 ecotype subjected to alkaline stress improve their Fe2+ bio-availability through inoculation with Pantoea eucalypti M91. Journal of plant physiology, 192, 47-55. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2016.01.001

Carrillo-Castañeda, G., Muñoz, J. J., Peralta-Videa, J. R., Gomez, E., & Gardea-Torresdey, J. L. (2005). Modulation of uptake and translocation of iron and copper from root to shoot in common bean by siderophore-producing microorganisms. Journal of plant nutrition, 28(10), 1853-1865. https://doi.org/10.1080/01904160500251340

Chandran, H., Meena, M., & Swapnil, P. (2021). Plant growth-promoting rhizobacteria as a green alternative for sustainable agriculture. Sustainability, 13(19), 10986. https://doi.org/10.3390/su131910986

Chaudhary, S., & Sindhu, S. S. (2025). Iron sensing, signalling and acquisition by microbes and plants under environmental stress: Use of iron-solubilizing bacteria in crop biofortification for sustainable agriculture. Plant Science, 356, 112496. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2025.112496

Di Gioia, F., Petropoulos, S. A., Ozores-Hampton, M., Morgan, K., & Rosskopf, E. N. (2019). Zinc and iron agronomic biofortification of Brassicaceae microgreens. Agronomy, 9(11), 677. https://doi.org/10.3390/agronomy9110677

Etesami H, Emami S, Alikhani HA (2017) Potassium solubilizing bacteria (KSB): mechanisms, promotion of plant growth, and future prospects. J Soil Sci Plant Nutr 17:897–911. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162017000400005

Etesami, H. (2019). Enhanced phosphorus fertilizer use efficiency with microorganisms. In Nutrient dynamics for sustainable crop production (pp. 215-245). Singapore: Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8660-2_8

Etesami, H., & Beattie, G. A. (2017). Plant-microbe interactions in adaptation of agricultural crops to abiotic stress conditions. In Probiotics and plant health (pp. 163-200). Singapore: Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-3473-2_7

Fageria, N. K., Baligar, V. C., & Li, Y. C. (2008). The role of nutrient efficient plants in improving crop yields in the twenty first century. Journal of plant nutrition, 31(6), 1121-1157. https://doi.org/10.1080/01904160802116068

Fahsi, N., Mahdi, I., Mesfioui, A., Biskri, L., & Allaoui, A. (2021). Plant Growth-Promoting Rhizobacteria isolated from the Jujube (Ziziphus lotus) plant enhance wheat growth, Zn uptake, and heavy metal tolerance. Agriculture, 11(4), 316. https://doi.org/10.3390/agriculture11040316

Gáll, T., Lehoczki, G., Gyémánt, G., Emri, T., Szigeti, Z. M., Balla, G., ... & Pócsi, I. (2016). Optimization of desferrioxamine E production by Streptomyces parvulus. Acta microbiologica et immunologica Hungarica, 63(4), 475-489. https://doi.org/10.1556/030.63.2016.029

Garg, M., Sharma, N., Sharma, S., Kapoor, P., Kumar, A., Chunduri, V., & Arora, P. (2018). Biofortified crops generated by breeding, agronomy, and transgenic approaches are improving lives of millions of people around the world. Frontiers in nutrition, 5, 12. https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00012

Gerc, A. J., Stanley-Wall, N. R., & Coulthurst, S. J. (2014). Role of the phosphopantetheinyltransferase enzyme, PswP, in the biosynthesis of antimicrobial secondary metabolites by Serratia marcescens Db10. Microbiology, 160(8), 1609-1617. https://doi.org/10.1099/mic.0.078576-0

Ghazy, N., & El-Nahrawy, S. (2021). Siderophore production by Bacillus subtilis MF497446 and Pseudomonas koreensis MG209738 and their efficacy in controlling Cephalosporium maydis in maize plant. Archives of microbiology, 203(3), 1195-1209. https://doi.org/10.1007/s00203-020-02113-5

Hasinu, J. V., Tuhumury, G. N. C., & Kesaulya, H. (2021, October). Potential of Bacillus spp as a biocontrol agent against Ralstonia bacterial wilt in bananas. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 883, No. 1, p. 012039). IOP Publishing. https://doi.org/10.1088/1755-1315/883/1/012039

Hermenau, R., Ishida, K., Gama, S., Hoffmann, B., Pfeifer-Leeg, M., Plass, W., ... & Hertweck, C. (2018). Gramibactin is a bacterial siderophore with a diazeniumdiolate ligand system. Nature Chemical Biology, 14(9), 841-843. https://doi.org/10.1038/s41589-018-0101-9

Hider, R. C., & Kong, X. (2010). Chemistry and biology of siderophores. Natural product reports, 27(5), 637-657. https://doi.org/10.1039/b906679a

Hosamani, V., Yalagi, M., Sasvihalli, P., Hosamani, V., Nair, K. S., Harlapur, V. K., ... & Mishra, R. K. (2020). Importance of micronutrients (Zinc) in crop production: a review. Int J Chem Stud, 8(1), 1060-1064. https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i1n.8393

Kamath, A., & Patel, D. (2025). Bacillus amyloliquefaciens D5 as a biocontrol agent against Cercospora Leaf Spot Disease in Vigna radiata L. Physiological and Molecular Plant Pathology, 137, 102605. https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2025.102605

Kar, S., & Panda, S. K. (2020). Iron Homeostasis in Rice: Deficit and Excess: S. Kar, SK Panda. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, *90*(2), 227-235. https://doi.org/10.1007/s40011-018-1052-3

Kaushal M, Wani SP (2016a) Plant-growth-promoting rhizobacteria: drought stress alleviators to ameliorate vegetable production in drylands. Ann Microbiol 66:35–42. https://doi.org/10.1007/s13213-015-1112-3

Kaushal M, Wani SP (2016b) Rhizobacterial-plant interactions: strategies ensuring plant growth promotion under drought and salinity stress. Agric Ecosyst Environ 231:68–78. https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.06.031

Khoshgoftarmanesh, A. H., Schulin, R., Chaney, R. L., Daneshbakhsh, B., & Afyuni, M. (2011). Micronutrient-efficient genotypes for crop yield and nutritional quality in sustainable agriculture. Sustainable Agriculture Volume 2, 219-249. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0394-0_13

Klebba, P. E., Newton, S. M., Six, D. A., Kumar, A., Yang, T., Nairn, B. L., ... & Chakravorty, S. (2021). Iron acquisition systems of gram-negative bacterial pathogens define TonB-dependent pathways

to novel antibiotics. Chemical reviews, 121(9), 5193-5239. https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.0c01005

Kloepper, J. W., Schroth, M. N., & Miller, T. D. (1980). Effects of rhizosphere colonization by plant growth-promoting rhizobacteria on potato plant development and yield. Phytopathology®, 115(8V), 1078-1082. https://doi.org/10.1094/Phyto-70-1078

Kobayashi, T., Nakanishi Itai, R., & Nishizawa, N. K. (2014). Iron deficiency responses in rice roots. Rice, 7(1), 27. https://doi.org/10.1186/s12284-014-0027-0

Kobayashi, T., Nozoye, T., & Nishizawa, N. K. (2019). Iron transport and its regulation in plants. Free Radical Biology and Medicine, 133, 11-20. https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2018.10.439

Krebs, N. F., Miller, L. V., & Michael Hambidge, K. (2014). Zinc deficiency in infants and children: a review of its complex and synergistic interactions. Paediatrics and international child health, 34(4), 279-288. https://doi.org/10.1179/2046905514Y.0000000151

Kumar, V., Menon, S., Agarwal, H., & Gopalakrishnan, D. (2017). Characterization and optimization of bacterium isolated from soil samples for the production of siderophores. Resource-Efficient Technologies, 3(4), 434-439. https://doi.org/10.1016/j.reffit.2017.04.004

Lan, P., Yan, R., Lu, Y., Zhao, D., Shi, Q., Jiang, Y., ... & Zhou, J. (2021). Genetic diversity of siderophores and hypermucoviscosity phenotype in Klebsiella pneumoniae. Microbial Pathogenesis, 158, 105014. https://doi.org/10.1016/j.micpath.2021.105014

Latha, P., Anand, T., Ragupathi, N., Prakasam, V., & Samiyappan, R. (2009). Antimicrobial activity of plant extracts and induction of systemic resistance in tomato plants by mixtures of PGPR strains and Zimmu leaf extract against Alternaria solani. Biological control, 50(2), 85-93. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2009.03.002

Leach, L. H., Morris, J. C., & Lewis, T. A. (2007). The role of the siderophore pyridine-2, 6-bis (thiocarboxylic acid)(PDTC) in zinc utilization by Pseudomonas putida DSM 3601. Biometals, 20(5), 717-726. https://doi.org/10.1007/s10534-006-9035-x

Liu, D., Yang, Q., Ge, K., Hu, X., Qi, G., Du, B., ... & Ding, Y. (2017). Promotion of iron nutrition and growth on peanut by Paenibacillus illinoisensis and Bacillus sp. strains in calcareous soil. Brazilian Journal of Microbiology, 48(4), 656-670. https://doi.org/10.1016/j.bjm.2017.02.006

McLaughlin, D., & Kinzelbach, W. (2015). Food security and sustainable resource management. Water Resources Research, 51(7), 4966-4985. https://doi.org/10.1002/2015WR017053

McLean, E., Cogswell, M., Egli, I., Wojdyla, D., & De Benoist, B. (2009). Worldwide prevalence of anaemia, WHO vitamin and mineral nutrition information system, 1993–2005. Public health nutrition, 12(4), 444-454. https://doi.org/10.1017/S1368980008002401

Mishra, A. K., & Baek, K. H. (2021). Salicylic acid biosynthesis and metabolism: a divergent pathway for plants and bacteria. Biomolecules, 11(5), 705. https://doi.org/10.3390/biom11050705

Passarelli, S., Free, C. M., Shepon, A., Beal, T., Batis, C., & Golden, C. D. (2024). Global estimation of dietary micronutrient inadequacies: a modelling analysis. The Lancet Global Health, 12(10), e1590-e1599. https://doi.org/10.1016/S2214-109X(24)00276-6

Patel, P., Trivedi, G., & Saraf, M. (2018). Iron biofortification in mungbean using siderophore producing plant growth promoting bacteria. Environmental Sustainability, 1(4), 357-365. https://doi.org/10.1007/s42398-018-00031-3

Pawlak, K., & Kołodziejczak, M. (2020). The role of agriculture in ensuring food security in developing countries: Considerations in the context of the problem of sustainable food production. Sustainability, 12(13), 5488. https://doi.org/10.3390/su12135488

Pingali, P. (2022). Are the lessons from the Green Revolution relevant for agricultural growth and food security in the twenty-first century?. In Agricultural Development in Asia and Africa: Essays in Honor of Keijiro Otsuka (pp. 21-32). Singapore: Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-5542-6_2

Rajkumar, M., Ae, N., Prasad, M. N. V., & Freitas, H. (2010). Potential of siderophore-producing bacteria for improving heavy metal phytoextraction. Trends in biotechnology, 28(3), 142-149. https://doi:10.1016/j.tibtech2009.12.002

Ritchie, H., & Rodés-Guirao, L. (2024). Peak global population and other key findings from the 2024 UN World Population Prospects. *Our World in Data*.

Romero-Perdomo, F., Beltrán, I., Mendoza-Labrador, J., Estrada-Bonilla, G., & Bonilla, R. (2021). Phosphorus nutrition and growth of cotton plants inoculated with growth-promoting bacteria under low phosphate availability. Frontiers in Sustainable Food Systems, 4, 618425. https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.618425

Sadowski, A., Dobrowolska, B., Dziugan, P., Motyl, I., Liszkowska, W., Rydlewska-Liszkowska, I., & Berłowska, J. (2024). Bread consumption trends in Poland: A socio-economic perspective and factors affecting current intake. Food Science & Nutrition, 12(10), 7776-7787. https://doi.org/10.1002/fsn3.4383

Sah, S., & Singh, R. (2015). Siderophore: Structural and functional characterisation-A comprehensive review. Agriculture, 61(3), 97. https://doi.org/10.1515/agri-2015-0015

Sarwar, S., Khaliq, A., Yousra, M., & Sultan, T. (2022). Iron biofortification potential of siderophore producing rhizobacterial strains for improving growth, yield and iron contents of groundnut. Journal of Plant Nutrition, 45(15), 2332-2347. https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2063733

Scavino, A. F., & Pedraza, R. O. (2013). The role of siderophores in plant growth-promoting bacteria. In Bacteria in agrobiology: crop productivity (pp. 265-285). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-37241-4_11

Schalk, I. J. (2025). Bacterial siderophores: diversity, uptake pathways and applications. Nature Reviews Microbiology, 23(1), 24-40. https://doi.org/10.1038/s41579-024-01090-6

Shankar, A., & Prasad, V. (2023). Potential of desiccation-tolerant plant growth-promoting rhizobacteria in growth augmentation of wheat (Triticum aestivum L.) under drought stress. Frontiers in Microbiology, 14, 1017167. https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1017167

Sharma, A., Patni, B., Shankhdhar, D., & Shankhdhar, S. C. (2013). Zinc–an indispensable micronutrient. Physiology and molecular biology of plants, 19(1), 11-20. https://doi.org/10.1007/s12298-012-0139-1

Singh, D., Singh, S. K., Singh, V. K., Verma, H., Mishra, M., Rashmi, K., & Kumar, A. (2021). Plant growth-promoting bacteria: Application in bioremediation of salinity and heavy metal–contaminated soils. In Microbe mediated remediation of environmental contaminants (pp. 73-78). Woodhead publishing. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821199-1.00007-9

Singh, R. K., Singh, P., Li, H. B., Guo, D. J., Song, Q. Q., Yang, L. T., ... & Li, Y. R. (2020). Plant-PGPR interaction study of plant growth-promoting diazotrophs Kosakonia radicincitans BA1 and Stenotrophomonas maltophilia COA2 to enhance growth and stress-related gene expression in Saccharum spp. Journal of Plant Interactions, 15(1), 427-445. https://doi.org/10.1080/17429145.2020.1857857

Sperotto, R. A., Ricachenevsky, F. K., Stein, R. J., Waldow, V. A., & Fett, J. P. (2010). Iron stress in plants: dealing with deprivation and overload. Plant Stress, 4(2), 57-69.

Sultana, S., Alam, S., & Karim, M. M. (2021). Screening of siderophore-producing salt-tolerant rhizobacteria suitable for supporting plant growth in saline soils with iron limitation. Journal of Agriculture and Food Research, 4, 100150. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100150

Sun, Y., Wu, J., Shang, X., Xue, L., Ji, G., Chang, S., ... & Emaneghemi, B. (2022). Screening of siderophore-producing bacteria and their effects on promoting the growth of plants. Current microbiology, 79(5), 150. https://doi.org/10.1007/s00284-022-02777-w

Swarnalatha, G. V., Goudar, V., Reddy, E. C. R. G. S., Al Tawaha, A. R. M., & Sayyed, R. Z. (2022). Siderophores and their applications in sustainable management of plant diseases. Secondary metabolites and volatiles of PGPR in plant-growth promotion, 289-302. https://doi.org/10.1007/978-3-031-07559-9_14

Tian, J., Bryksa, B. C., & Yada, R. Y. (2016). Feeding the world into the future–food and nutrition security: the role of food science and technology. *Frontiers in life science*, *9*(3), 155-166. https://doi.org/10.1080/21553769.2016.1174958

Timofeeva, A. M., Galyamova, M. R., & Sedykh, S. E. (2022). Bacterial siderophores: classification, biosynthesis, perspectives of use in agriculture. Plants, 11(22), 3065. https://doi.org/10.3390/plants11223065

Vaid, S. K., Kumar, B., Sharma, A., Shukla, A. K., & Srivastava, P. C. (2014). Effect of Zn solubilizing bacteria on growth promotion and Zn nutrition of rice. Journal of soil science and plant nutrition, 14(4), 889-910. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162014005000071

Wang, J., & Yang, S. (2021). Dose-dependent responses of Arabidopsis thaliana to zinc are mediated by auxin homeostasis and transport. Environmental and Experimental Botany, 189, 104554. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104554

Yadav, A. K., Seth, A., Kumar, V., & Datta, A. (2023). Agronomic biofortification of wheat through proper fertilizer management to alleviate zinc malnutrition: A review. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 54(2), 154-177. https://doi.org/10.1080/00103624.2022.2110892

Yilmaz, H., & Kulaz, H. (2019). The effects of plant growth promoting rhizobacteria on antioxidant activity in chickpea (Cicer arietinum L.) under salt stress. Legume Research, 42(1). https://doi.org/10.18805/LR-435

Younas, N., Fatima, I., Ahmad, I. A., & Ayyaz, M. K. (2023). Alleviation of zinc deficiency in plants and humans through an effective technique; biofortification: A detailed review. Acta Ecologica Sinica, 43(3), 419-425. https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2022.07.008

FARKLI FORMÜLASYONLARLA ÜRETİLEN KIRMIZI PANCAR SOSLARININ DUYUSAL DEĞERLENDİRİLMESİ VE SEÇİLEN FORMÜLASYONUN BAZI KALİTE ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

SENSORY EVALUATION OF RED BEET SAUCES PRODUCED WITH DIFFERENT FORMULATIONS AND DETERMINATION OF SELECTED QUALITY CHARACTERISTICS OF THE PREFERRED FORMULATION

Asst. Prof. Dr. Zeynep KİLCİ
Department of Food Processing, Susurluk Vocational School of Agriculture and Forestry, Balıkesir University, Balıkesir, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-1700-8597

Asst. Prof. Dr. Ramazan Ülkü ÇETİN
Department of Food Processing, Susurluk Vocational School of Agriculture and Forestry, Balıkesir University, Balıkesir, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-9968-4988

Postdoctoral Researcher Melike CİNİVİZ
Department of Food Engineering, Faculty of Agriculture, Bursa Uludağ University, Bursa, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-6089-1659

Özet
Kırmızı pancar (*Beta vulgaris* L.), karakteristik rengi, aroması ve bileşimi nedeniyle farklı gıda ürünlerinin geliştirilmesinde değerlendirilebilen önemli bir hammaddedir. Bununla birlikte, kendine özgü tat ve aroma özellikleri tüketici kabulünü etkileyebildiğinden uygun ürün formülasyonunun belirlenmesi önem taşımaktadır. Bu çalışmada, farklı formülasyonlarla hazırlanan kırmızı pancar bazlı sosların duyusal açıdan değerlendirilmesi ve en fazla beğenilen formülasyonun seçilerek bazı fizikokimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla farklı sos formülasyonları hazırlanmış ve duyusal değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Genel beğeni bakımından öne çıkan formülasyon sonraki analizler için model ürün olarak seçilmiştir. Seçilen üründe pH, titre edilebilir asitlik, tuz miktarı, viskozite ve akış/konsistens özellikleri belirlenmiş; ayrıca mikrobiyolojik kalite kapsamında farklı indikatör ve bozulma mikroorganizmaları ile bazı gıda kaynaklı patojenler yönünden analizler gerçekleştirilmiştir. Duyusal değerlendirme sonucunda formülasyonlar arasında tüketici kabulü bakımından farklılıklar gözlenmiş ve bir formülasyon genel beğeni açısından ön plana çıkmıştır. Seçilen formülasyonun fizikokimyasal analizleri, ürünün asidik karaktere ve sos tipi ürünler için uygun kalite özelliklerine sahip olduğunu göstermiştir. Mikrobiyolojik incelemelerde ise incelenen mikroorganizma gruplarının düşük düzeylerde bulunduğu ve analiz edilen patojen mikroorganizmanın üründe tespit edilmediği belirlenmiştir. Sonuç olarak, kırmızı pancarın duyusal açıdan kabul edilebilir sos tipi bir ürüne dönüştürülebileceği ve duyusal seçim ile fizikokimyasal ve mikrobiyolojik karakterizasyonun birlikte değerlendirilmesinin yeni ürün geliştirme çalışmalarında uygulanabilir bir yaklaşım olduğu sonucuna varılmıştır.
Anahtar Kelimeler: kırmızı pancar, sos, duyusal değerlendirme, ürün geliştirme

Abstract
Red beet (*Beta vulgaris* L.) is an important raw material that can be utilized in the development of various food products due to its characteristic color, flavor, and composition. However, its distinctive taste and aroma may influence consumer acceptance, making the determination of an appropriate product formulation an important step in product development. This study aimed to evaluate red beet-based sauces prepared with different formulations in terms of sensory properties and to determine selected physicochemical and microbiological characteristics of the formulation with the highest overall acceptability. Different sauce formulations were prepared and subjected to sensory evaluation, after which the formulation with the highest general preference was selected as the model product for further analyses. The selected formulation was analyzed for pH, titratable acidity, salt content, viscosity, and flow/consistency characteristics.

Microbiological quality was also assessed by examining selected indicator and spoilage microorganisms as well as certain foodborne pathogens. Sensory evaluation revealed differences among the formulations in terms of consumer acceptance, with one formulation standing out in overall preference. Physicochemical analyses indicated that the selected formulation exhibited an acidic character and quality characteristics suitable for a sauce-type product. Microbiological analyses further showed low levels of the investigated microbial groups, while the analyzed pathogenic microorganism was not detected in the product. Overall, the findings suggest that red beet can be successfully utilized in the development of a sensorially acceptable sauce and that combining sensory selection with physicochemical and microbiological characterization represents a practical approach for new product development.

Keywords: red beet, sauce, sensory evaluation, product development

EFFECTS OF AMF AND ORGANIC AMENDMENTS ON SOIL AND RAPESEED MICROELEMENT LEVELS UNDER CD AND CR STRESS

CD VE CR STRESİ ALTINDA TOPRAK VE KOLZA BİTKİSİ MIKROELEMENT SEVİYELERİ ÜZERİNE AMF VE ORGANİK İYİLEŞTİRİCİLERİN ETKİLERİ

Assoc. Prof. Dr. Sibel Boysan CANAL
Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Van Yüzüncü Yıl University, Van, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-9027-0458

Assoc. Prof. Dr. Hilal YILMAZ
Department of Plant and Animal Production, İzmit Vocational School, Kocaeli University, Kocaeli, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-9138-3382

Özet
Bu çalışmada, ağır metal stres koşullarında yetiştirilen kanola (*Brassica napus* L.) bitkisinde, arbusküler mikoriza funguslarının (AMF) humik asit ve biyokömür ile birlikte uygulanmasının bitki ve toprak mikro besin elementi içerikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında, ağır metal stresi altında AMF uygulamasının kanola bitkisi ve yetişme ortamının mikro besin elementi içerikleri üzerindeki etkisi belirlenmiştir. İkinci aşamada ise AMF organik düzenleyici olarak humik asit ve biyokömür ile birlikte uygulanarak, bu uygulamaların kanola (*Brassica napus* L.) bitkisi ve topraktaki mikro besin elementi düzeylerine üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Bu araştırma, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi serasında gerçekleştirilen çalışmada, yetiştirme ortamına Cr ve Cd uygulaması yapılarak kolza yağ bitkisi yetiştirilmiştir. Sera denemesi, tesadüf parselleri deneme deseni kullanılarak üç tekrarlı olarak yürütülmüştür. Denemede uygulama sırasına göre, %10 biyokömür ve 1500 ppm hümik asit uygulanmıştır. Toz formundaki AMF tohumlara uygulanmıştır. Sera koşullarında çimlenmenin ardından, her 2.5 kg'lık saksıdaki tohumlar seyreltilmiştir. Sonuç olarak, ağır metal stres koşullarında, AMF nin uygulanması kolza bitkisinde ve toprakta stres koşullarında iyileşmeye neden olurken, ortama AMF ile birlikte organik düzenleyicilerin de ilave edilmesi bitkide ve toprakta stres koşullarını iyileştirmede daha etkili olduğu bulunmuştur.
Anahtar Kelimeler: Organik düzenleyiciler, Kolza (*Brasicca napus L*), Mikro element

Abstract
In this study, the effects of applying arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) along with humic acid and biochar on the micro-nutrient contents of the plant and soil in canola (Brassica napus L.) grown under heavy metal stress conditions were investigated. In the first phase of the study, the effect of AMF application under heavy metal stress on the micronutrient content of the canola plant and the growing medium was determined. In the second phase, AMF was applied together with humic acid and biochar as organic regulators, and the effects of these applications on the micro-nutrient levels in canola (*Brassica napus* L.) plant and soil were evaluated. This investigation was carried out in the greenhouse of Van Yüzüncü Yıl University. Biochar and humic acid were subsequently applied according to the experimental design. Following germination under greenhouse conditions, for seeds were thinned out in each 2.5 kg pot. This experiment was conducted with three replicates using a completely randomized design. Acording result, under heavy metal stress conditions, the application of AMF leads to improvement in the rapeseed plant and soil under stress conditions. while the addition of organic amendments along with AMF to the environment has been found to be more effective in improving stress conditions in the plant and soil.
Keywords: Organic amendments, Rapeseed (Brasicca napus L), Micronutrient

GİRİŞ

Arbusküler mikoriza mantarları (AMF), bitki kökleriyle karşılıklı yarara dayalı simbiyotik birliktelik oluşturarak bitkinin besin elementlerinden yararlanmasını ve stres koşullarına toleransını artıran önemli toprak mikroorganizmalarıdır.

AMF kolonizasyonu sonucunda mantar hiflerinin kök bölgesinin dışına doğru gelişmesi, bitkinin toprakla temas eden etkin kök yüzey alanını genişletmekte ve özellikle hareketliliği düşük olan besin elementlerinin bitkiye taşınmasını kolaylaştırmaktadır (Hodge ve ark., 2015). Bunun yanında, AMF simbiyozunun bitkinin ağır metal stresine karşı geliştirdiği savunma mekanizmalarını desteklediği ve metal iyonlarının kök ile toprak arasındaki hareketini sınırlandırabildiği bildirilmektedir. Ağır metallerle kirlenmiş topraklarda AMF-bitki simbiyozunun temel işlevlerinden biri, bitkinin gereksinim duyduğu makro ve mikro besin elementlerinin alımını sürdürürken toksik metal iyonlarının bitki dokularına taşınmasını sınırlandırmaktır. Bu süreç, metal iyonlarının mikorizosferde ve mantar yapılarında tutulması, hücre duvarı bileşenlerine bağlanması ve hücre içi bölmelerde immobilize edilmesi gibi mekanizmalarla gerçekleşebilmektedir. Ayrıca mikorizal kolonizasyonun kök çevresindeki kimyasal koşulları değiştirmesi, özellikle pH ve metal iyonlarının çözünürlüğü üzerinde etkili olarak ağır metallerin bitki tarafından alınabilir ligini azaltabilmektedir. Bu nedenle AMF kolonizasyonu, ağır metal stresinin bitki büyümesi ve besin elementi dengesi üzerindeki olumsuz etkilerinin hafifletilmesinde önemli bir biyolojik mekanizma olarak değerlendirilmektedir (Bono ve Ashfaq, 2013). AMF'nin ağır metal hareketliliğini sınırlandırmasında mantar hücre duvarı ve vakuolleri önemli rol oynamaktadır. Metal iyonları, hiflerin hücre duvarındaki fonksiyonel gruplara bağlanabilmekte veya hücre içerisinde vakuollerde kompleksler oluşturarak depolanabilmektedir. Bu şekilde metallerin metabolik olarak aktif hücresel bölgelere ulaşması sınırlandırılmakta ve sonuç olarak bitki köklerinin toksik metal iyonlarına doğrudan maruz kalma düzeyi azaltılmaktadır (Punamiya ve ark., 2010). Dolayısıyla AMF hifleri yalnızca besin elementlerinin taşınmasında görev alan yapılar olarak değil, aynı zamanda ağır metallerin bitkiye geçişini sınırlandıran biyolojik bir bariyer olarak da işlev görebilmektedir. Benzer şekilde, köklerde yüksek düzeyde AMF kolonizasyonunun oluşması, ağır metallerin hem kök dokularında hem de kök dışındaki fungal miselyumda tutulmasını destekleyebilmektedir. Özellikle hifler, veziküller ve diğer mikorizal yapılar, metal iyonlarının birikimi ve immobilizasyonu açısından önemli bölgeler olarak kabul edilmektedir. Bu yapıların metaller için bir tutulum alanı oluşturması, ağır metallerin kökten üst organlara taşınmasını sınırlandırarak bitkide metal toksisitesinin azaltılmasına katkıda bulunmaktadır (Vogel ve ark., 2006).AMF'nin ağır metal stresine karşı etkinliği, uygulamanın diğer organik toprak düzenleyicileriyle birlikte yürütülmesi durumunda daha da güçlenebilmektedir. Nitekim biyokömür, kompost ve çiftlik gübresi gibi organik materyallerin AMF ile birlikte uygulanmasının fungal gelişimi ve kök kolonizasyonunu destekleyebildiği bildirilmektedir (Rotoni ve ark., 2024). Bu materyallerin toprak pH'sı, organik madde içeriği, katyon değişim kapasitesi ve metal iyonlarının çözünürlüğü üzerindeki etkileri, AMF'nin ağır metal immobilizasyon kapasitesiyle birleşerek bitki–toprak sisteminde daha dengeli bir besin elementi ortamının oluşmasına katkı sağlayabilir. Bu doğrultuda, mevcut çalışmanın temel amaçlarından biri, Cr ve Cd ile kirlenmiş yetiştirme ortamında AMF uygulamasının kolza (Brassica napus L.) bitkisinin mikro besin elementi beslenmesi ile toprakta mikro besin elementlerinin yarayışlılığı ve dağılımı üzerindeki etkisini belirlemektir. Çalışmanın ikinci amacı ise ağır metal stresi altında AMF'nin biyokömür (BC) ve hümik asit (HA) gibi organik toprak düzenleyicileriyle birlikte uygulanmasının kolza bitkisindeki mikro besin elementi alımı ve yetişme ortamındaki mikro besin elementi dinamikleri üzerindeki etkisini ortaya koymaktır. Bu yaklaşım ile AMF, biyokömür ve hümik asit arasındaki olası etkileşimlerin Cr ve Cd stresinin neden olduğu beslenme bozukluklarını azaltmadaki rolünün belirlenmesi ve sürdürülebilir bir toprak-bitki yönetim stratejisine yönelik bilimsel bir temel oluşturulması amaçlanmaktadır.

Materyal ve Metot

Bu araştırma, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi'nin serasında, yürütülmüştür. Denemede kullanılacak toprak, deneysel uygulamalar öncesinde otoklavda sterilize edilmiştir. Ağır metal stresinin oluşturulması amacıyla topraklara krom (Cr) ve kadmiyum (Cd) ayrı ayrı uygulanmıştır. Cr uygulamasında krom nitrat [$Cr(NO_3)_3$], Cd uygulamasında ise kadmiyum sülfat [$CdSO_4 \cdot 8H_2O$] kullanılmış ve her iki ağır metal için uygulama dozu 50 mg kg^{-1} olarak belirlenmiştir. Hazırlanan Cr ve Cd çözeltilerinden ayrı ayrı 25 mL alınarak topraklara uygulanmış ve ağır metallerin toprak ortamında dengelenmesi amacıyla uygulamayı takiben bir ay süreyle inkübasyon gerçekleştirilmiştir. İnkübasyon süresinin tamamlanmasının ardından, deney desenine bağlı olarak biochar ve humik asit uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Bitkilerin çimlenmesini takiben, her biri 2,5 kg toprak içeren saksılarda dört fide olacak şekilde seyreltme yapılmıştır.

Deneme, tesadüf parselleri deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak kurulmuştur. Arbusküler mikoriza fungusları (AMF) uygulamasında, dokuz farklı AMF türünü içeren Endo Roots Soluble (ERS) inokulumu kullanılmıştır. Toz formundaki AMF inokulumu, Bioglobal® (Antalya, Türkiye) firmasından temin edilerek tohumlara uygulanmak sureti ile denemede kullanılmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Yürütülen çalışmada, toprağa uygulanan Cr ve Cd ağır metalleri kolza bitkisinin yaprak, kök aksamında ve toprakta Fe, Zn, Cu ve Mn düzeylerinde düşüşe neden olduğu ve bunun istatistiksel olarak önemli olduğu bulunmuştur (Çizelge 1). Bununla birlikte Cr ve Cd bulanan toprağa uygulanan Arbüsküler mikorhiza (AMF+KT) uygulaması AMF bulunmayan toprağa göre, kolza bitkisinin yaprak, kök kısımlarında ve toprak Fe, Zn, Cu ve Mn içeriğinde önemli artışa neden olmuştur. Bu ağır metal stres koşullarında mikorhiza uygulamasının Kolza bitkisinin mikro elementi alınımında iyileşmeye neden olduğunu gösterir. Mikorhiza uygulaması, ağır metallerle kirlenmiş topraklarda bitki köklerinde antioksidan ve detoksifikasyon genlerini aktive ederek stres etkisini azaltır. AMF, özellikle fosfor, azot ve mikro besin maddeleri olmak üzere temel besin maddelerinin döngüsünü iyileştirir (Zhao ve ark., 2024). AMF, bitki hücreleri içinde ağır metallerin detoksifikasyonu için önemli olan fitoşelatin sentezini uyarır. Fitoşelatinler, metal iyonlarına bağlanarak toksik etkilerini hafifletmeye ve bitki içinde depolanmalarına ve taşınmalarına yardımcı olurlar (Garg ve ark., 2012). Bulgular, AMF uygulamasının ağır metal stresine maruz kalan bitkilerde fizyolojik ve biyokimyasal savunma mekanizmalarını destekleyerek metal toksisitesinin olumsuz etkilerini azaltmada etkili olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, Cr ve Cd bulunan yetişme ortamına AMF ile birlikte HA uygulaması tek başına AMF uygulamasına göre, bitkide ve toprakta mikro besin elementi içeriğini istatistiksel olarak önemli düzeyde artırdığı tespit edilmiştir. Hümik maddeler, doğal ortamda bol miktarda bulunan organik makro moleküllerin bir karışımıdır. Bunlar, kompleks oluşturabilen veya ağır metallerle etkileşime girebilen önemli fonksiyonel gruplar (karboksil ve hidroksil grupları gibi) içerir. Bu nedenle topraklarda veya tortularda ağır metal iyileştirmesini kolaylaştırmak için potansiyel iyileştiriciler olarak düşünülebilir (Zhang ve ark., 2023). Hg stres koşullarında, hümik asit ve AMF (mikoriza) uygulaması, Civa Hümik asit komplekslerinde daha yüksek immobilizasyonu ile hem seyreltilme etkisi hem de Hg'nin bitki alımına olan biyoyararlılığının azalması nedeniyle özellikle fosfor (P) başta olmak üzere temel besin elementi alımını ve kullanım etkinliğini artırarak mineral beslenmenin iyileştirilmesine katkı sağlamaktadır (Cozzolino ve ark., 2016). Cr ve Cd bulunan yetişme ortamına AMF uygulamasına göre, AMF ile birlikte biyokömür uygulaması ise kolza bitki kök ve yaprak aksamında ve toprakta Zn içeriğinde önemli düzeyde artışa neden olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 1). Benzer şekilde yürütülen çalışmalar, Cd stresi koşulları altında, AMF ve biyokömürün ayrı ayrı uygulanmasından ziyade birlikte uygulanmasının büyümeyi teşvik ettiğini göstermiştir. Biyokömür, bitkilere besin maddelerinin kontrollü salınımı için sıklıkla taşıyıcı olarak kullanılırken, AMF hem doğrudan hem de dolaylı yollarla besin biyoyararlılığını artırır (Wang ve ark,. 2016). Ayrıca, biyokömür, toprak pH'sını artırarak kadmiyumun AMF üzerindeki zararlı etkilerini hafifletir ve böylece mantar aktivitesi ve simbiyoz oluşumu için daha elverişli koşullar yaratır (Vivas ve ark., 2005). Biyokömür, zengin mineral içeriği ve gözenekli yapısı sayesinde, AMF' nin bitki ile simbiyotik ilişkisini teşvik ederek, kolza bitkisine gerekli olan besin elementlerini sağladığı tespit edilmiştir (Yin ve ark., 2024).

Çizelge.1 Ağır metal stres şartlarında AMF ve organik düzenleyicilerinin uygulamasının kolza bitkisinde ve toprakta mikro element içeriğine etkisi

Mikro Element	Uygulamalar	Yaprak	Kök	Toprak
Fe	**Kontrol**	124±3.08**d***	1264±351**cd**	2.19±0.46**b**
	Kirli toprak	120±4.00**d**	1129 ±299**e**	1.80±0.35**c**
	AMF	138±20.61**c**	1560±147**b**	3.00±0.44**a**
	AMF+KT	177±40.34**b**	1499±239**b**	1.93±0.21**b**
	AMF+KT+HA	224±21.57**a**	1958±49,26**a**	2.49±0.13**ab**
	AMF+KT+BC	155±13.19**bc**	1398±246**c**	1.93±0.35**b**
	F değeri	**20.57****	***8.33****	***3.33****
	P değeri	*0.0001*	*0.0001*	*0.008*

Zn	**Kontrol**	18.07±1.62**cd**	23.97±3.37**bc**	0.65±0.06**bc**
	Kirli toprak	16.95±1.46**e**	13.88±0.21**d**	0.56±0.03**d**
	AMF	23.02±1.65**c**	29.43±5.36**b**	0.76±0.06**b**
	AMF+KT	25.05±2.12**c**	23.55±3.32**bc**	0.73±0.06**b**
	AMF+KT+HA	53.08±3.05**a**	40.19±4.76**a**	0.87±0.03**a**
	AMF+KT+BC	42.86±2.49**b**	32.13±3.93**b**	0.68±0.02**bc**
	F değeri	***265******	***18.53****	***32.37****
	P değeri	*0.0001*	*0.0001*	*0.0001*
Cu	**Kontrol**	6.08±0.52**c**	7.14±1.08**c**	0.71±0.06**b**
	Kirli toprak	5.92±0.60**cd**	6.16±1.30**d**	0.42±0.05**c**
	AMF	7.47±0.56**bc**	7.78±0.88**bc**	0.76±0.13**b**
	AMF+KT	8.20±0.99**b**	9.17±1.20**b**	0.79±0.04**b**
	AMF+KT+HA	10.61±0.22**a**	11.46±1.85**a**	0.91±0.05**a**
	AMF+KT+BC	8.31±0.74**b**	8.06±0.98**bc**	0.73±0.02**b**
	F değeri	42.61**	12.95*	36.17**
	P değeri	*0.0001*	*0.0001*	*0.0001*
Mn	**Kontrol**	112±8.97**c**	136 ±58.96**c**	14.64±2.08**d**
	Kirli toprak	105±14.48**d**	127±10.00**d**	11.42±0.83**e**
	AMF	200±20.46**b**	142±11.31**c**	15.14±1.39**d**
	AMF+KT	169±20.38b**c**	183±39.46**b**	22.01±1.53**b**
	AMF+KT+HA	255±18.4**a**	222±18.07a	29.52±1.55**a**
	AMF+KT+BC	163±22.2b**c**	138±14.24b**c**	17.42±2.20**c**
	F değeri	67.35**	*8.55**	84.96***
	P değeri	*0.0001*	*0.0001*	*0.0001*

*Aynı sütundaki farklı harfler, anlamlı farklılıkları gösterir (P < 0,05).AMF:arbüküler mikorhizal mantar, HA: Hümik asit, BC:Biokömür

SONUÇ

Ağır metallerle kirletilmiş toprakta yetiştirilen kolza bitkisinde ve yetiştirilme ortamında Fe, Zn, Cu ve Mn içeriğinde ağır metallerin varlığı bitkide ve toprakta mikro element içeriğinde düşüşe neden olmuştur. Ancak ağır metallerle kirli toprağa uygulanan AMF (arbüsküler mikorhizal mantar) kolza (*Brassica napus L.*) bitkisinde ve toprakta mikro besin elementi içeriğinde artışa neden olmuştur. Bunun ötesinde ağır metal bulunan toprağa AMF ile birlikte Hümik asit uygulaması bitkide ve topraktaki mikro element içeriğinin önemli düzeyde artışa neden olduğu hatta en yüksek Fe, Zn, Cu ve Mn içeriğine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, ağır metal bulunan ortama AMF ile birlikte BC uygulaması ise Zn düzeyinde önemli artışa neden olduğu bulunmuştur. Buna göre, ağır metal stres koşullarında, AMF nin uygulanması stres koşullarında, iyileşmeye neden olurken, ortama AMF ile birlikte organik düzenleyicilerin de ilave edilmesi bitkide ve toprakta stres koşullarını iyileştirmede daha etkili olduğu bulunmuştur

Kaynaklar

Bano, S. A., & Ashfaq, D. 2013. Role of mycorrhiza to reduce heavy metal stress. Natural Science 5(16), 16-20.

Cozzolino, V., De Martino, A., Nebbioso, A., Di Meo, V., Salluzzo, A., & Piccolo, A. (2016). Plant tolerance to mercury in a contaminated soil is enhanced by the combined effects of humic matter addition and inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi. Environmental Science and Pollution Research, 23(11), 11312-11322.

Garg, N.; & Chandel, S. Role of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi on growth, cadmium uptake, osmolyte, and phytochelatin synthesis in Cajanus cajan (L.) Millsp. under NaCl and Cd stresses. J. Plant Growth Regul. 2012, 31, 292–308.

Hodge A. & Storer K. (2015). Arbuscular mycorrhiza and nitrogen: implications for individual plants through to ecosystems. Plant and Soil 386, 1–19.

Punamiya, P.; Datta, R.; Sarkar, D.; Barber, S.; Patel, M.; Das, P. (2010). Symbiotic role of Glomusmosseae in phytoextraction of lead in vetiver grass Chrysopogon zizanioides L. J. Hazard. Mater., 177, 465–474.

Rotoni, C., Leite, M. F., Wong, L. C., Pinto, C. S., Stürmer, S. L., Pijl, A., & Kuramae, E. E. (2024). Cultivar governs plant response to inoculation with single isolates and the microbiome associated with arbuscular mycorrhizal fungi. Applied Soil Ecology, 197, 105347.

Smith S.E., &Read D.J., (2005). Mycorrhizal Symbiosis. San Diego: Academic Press; 2008. Toler HD, Morton JB, Cumming JR. Growth and metal accumulation of mycorrhizal sorghum exposed to elevated copper and zinc. Water Air Soil Pollut;164:155–72.

Tiodar ED, Văcar CL, &Podar D.(2021). Phytoremediation and micro-organisms-assisted phytoremediation of mercury-contaminated soils: challenges and perspectives. Int J Environ Res Public Health 18(5),2435

Vivas A, Barea JM, &Azcón R, (2005). Interactive effect of Brevibacillus brevis and Glomus mosseae, both isolated from Cd contaminated soil, on plant growth, physiological mycorrhizal fungal characteristics and soil enzymatic activities in Cd polluted soil. Environ. Pollut. 134, 257–266.

Vogel Mikuš, K.; Pongrac, P.; Kump, P.; Necemer, M.; Regvar, M. (2006). Colonisation of a Zn, Cd and Pb hyperaccumulator Thlaspi praecoxWulfen with indigenous arbuscular mycorrhizal fungal mixture induces changes in heavy metal and nutrient uptake. Environ. Pollut., 139, 362–371.

Wang F, Liu X, Shi Z, Tong R, Adams CA, &Shi X, (2016). Arbuscular mycorrhizae alleviate negative effects of zinc oxide nanoparticle and zinc accumulation in maize plants – a soil microcosm experiment. Chemosphere 147, 88–97.

Yin, C., Lei, W., Wang, S. & Qiu, D. (2024). Biochar/arbuscular mycorrhizal fungi regulate the physiology and biochemistry of rapid cycling Brassica napus under cadmium stress. Sci. Total Environ. 953, 176034

Zhao, S., Yan, L., Kamran M., Liu, S., & Riaz, M. (2024). Arbuscular mycorrhizal fungi-assisted phytoremediation:Apromising strategy for cadmium-contaminated soil. Plants 13(23),3289. https://doi.org/10.3390/plants13233289.

Zhang, Y., Gong, J., Cao, W., Qin, M., & Song, B. (2023). Influence of biochar and fulvic acid on the ryegrass-based phytoremediation of sediments contaminated with multiple heavy metals. Journal of Environmental Chemical Engineering, 11(2), 109446.

KABA YEM ÜRETİMİNDE ALTERNATİF VE AZ BİLİNEN YEM BİTKİLERİNİN ÜRETİM POTANSİYELİ, YEM DEĞERİ VE KULLANIM OLANAKLARI

PRODUCTION POTENTIAL, FEED VALUE, AND UTILIZATION POSSIBILITIES OF ALTERNATIVE AND LESSER-KNOWN FORAGE CROPS IN ROUGHAGE PRODUCTION

Asst. Prof. Dr. Selim ÖZDEMİR
Field Crops Program, Department of Plant and Animal Production, Vocational School of Food, Agriculture and Livestock, Bingöl University, Bingöl, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-1840-9907

Prof. Dr. Erdal ÇAÇAN
Field Crops Program, Department of Plant and Animal Production, Vocational School of Food, Agriculture and Livestock, Bingöl University, Bingöl, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-9469-2495

Özet
İklim değişikliği, kuraklık, yüksek sıcaklık ve toprak tuzluluğu, geleneksel yem bitkilerinin üretimini ve kaba yem arzını olumsuz etkileyen başlıca faktörlerdir. Bu koşullar, farklı ekolojik streslere uyum sağlayabilen ve marjinal alanların değerlendirilmesine katkı sunabilecek alternatif yem bitkilerinin önemini artırmaktadır. Bu derlemede, kaba yem üretiminde değerlendirilebilecek alternatif ve az bilinen yem bitkilerinin üretim potansiyeli, yem değeri ve kullanım olanakları ele alınmıştır. Bu kapsamda inci darısı (*Pennisetum glaucum*), teff (*Eragrostis tef*) ve dallı darı (*Panicum virgatum*) kuraklık ve sıcaklık koşullarına uyum sağlayabilen buğdaygiller olarak; amarant/horozibiği (*Amaranthus* spp.) alternatif geniş yapraklı bir yem bitkisi olarak; selvi sirken (*Atriplex nitens*) ve tuz çalısı türleri (*Atriplex* spp.) ise kurak, tuzlu ve marjinal alanların değerlendirilmesinde kullanılabilecek halofit bitkiler olarak incelenmiştir. İncelenen türlerin adaptasyon özellikleri, biyokütle ve kuru ot üretim potansiyelleri, besin madde içerikleri, lif fraksiyonları, sindirilebilirlikleri ve kullanım sınırlılıkları karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır. Sonuç olarak, incelenen türlerin geleneksel yem bitkilerinin yerine tamamen ikame edilmesinden ziyade, uygun ekolojik koşullarda ve doğru yetiştirme teknikleriyle mevcut kaba yem üretim sistemlerini destekleyebileceği; kuraklık, tuzluluk ve su kısıtı bulunan bölgelerde yem arzının çeşitlendirilmesine katkı sağlayabileceği değerlendirilmiştir.
Anahtar Kelimeler: Alternatif yem bitkileri, kaba yem, kuraklık, tuzluluk, yem değeri

Abstract
Climate change, drought, high temperatures and soil salinity are among the major factors adversely affecting the production of conventional forage crops and the supply of roughage. These conditions increase the importance of alternative forage crops that can adapt to different environmental stresses and contribute to the utilization of marginal lands. In this review, the production potential, nutritive value and utilization possibilities of alternative and underutilized forage crops were evaluated. Pearl millet (*Pennisetum glaucum*), teff (*Eragrostis tef*) and switchgrass (*Panicum virgatum*) were examined as grasses with adaptation potential to drought and high-temperature conditions. Amaranth (*Amaranthus* spp.) was considered as an alternative broad-leaved forage crop, while mountain spinach (*Atriplex nitens*) and saltbush species (*Atriplex* spp.) were evaluated as halophytic forage resources suitable for dry, saline and marginal lands. The adaptation characteristics, biomass and hay production potential, nutrient composition, fiber fractions, digestibility and utilization limitations of these species were comparatively discussed. In conclusion, rather than completely replacing conventional forage crops, the species examined may support existing roughage production systems when grown under suitable ecological conditions and managed with appropriate cultivation practices; they may also contribute to diversifying feed supply in regions affected by drought, salinity and water scarcity.
Keywords: Alternative forage crops, roughage, drought, salinity, nutritive value

AI-BASED EARLY DISEASE DETECTION AND INTELLIGENT MONITORING

Asst. Prof. S. SIVASAKTHI
Department of Computer Applications, G. Venkataswamy Naidu College, Kovilpatti, Tamil Nadu, India.
ORCID ID: 0000-0001-8550-2226

ABSTRACT
Early detection of diseases and quality-related risks is essential for improving agricultural productivity, ensuring food safety, and maintaining animal health. Conventional monitoring approaches are often time-consuming, dependent on expert knowledge, and less effective for continuous large-scale assessment. This study proposes an AI-based early disease detection and intelligent monitoring framework integrating Agriculture, Food, and Veterinary applications through advanced Computer Science techniques. The proposed framework utilizes Machine Learning, Deep Learning, Computer Vision, Internet of Things (IoT), and Explainable Artificial Intelligence (XAI) to analyse heterogeneous data such as crop images, food-quality images, environmental parameters, and animal health indicators. Deep learning models, particularly Convolutional Neural Networks (CNNs), are employed for image-based disease and quality-risk identification, while machine learning algorithms such as Random Forest, Support Vector Machine, and Gradient Boosting are used for predictive analysis. IoT-enabled sensors can facilitate real-time collection of environmental and physiological parameters for continuous monitoring. Explainable AI techniques such as SHAP and feature importance are incorporated to identify the major factors influencing predictions and improve the transparency of the system. The framework aims to provide early alerts for crop diseases, food-quality abnormalities, and animal health risks, enabling timely intervention and informed decision-making. The proposed approach demonstrates the potential of Artificial Intelligence to develop a smart, integrated, and sustainable monitoring ecosystem for agriculture, food safety, and veterinary healthcare.

Keywords: Artificial Intelligence, Machine Learning, Deep Learning, Computer Vision, IoT, Explainable AI, Disease Detection, Agriculture, Food Safety, Veterinary Health.

KARDİYOJENİK İNTERSTİSYEL PULMONER ÖDEMLİ KÖPEKLERDE RADYOGRAFİK KARDİYAK ALAN İNDEKSİ: SAĞ LATERAL VE VENTRODORSAL GÖRÜNTÜLER ARASINDAKİ UYUM

RADIOGRAPHIC CARDIAC AREA INDEX IN DOGS WITH CARDIOGENIC INTERSTITIAL PULMONARY EDEMA: AGREEMENT BETWEEN RIGHT LATERAL AND VENTRODORSAL VIEWS

Lecturer Dr. Yalçın Alper ÖZTURAN
Department of Surgery, Faculty of Veterinary Medicine, Aydın Adnan Menderes University, Aydın, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-0589-5686

Özet
Sunulan çalışmada kardiyojenik interstisyel pulmoner ödemli köpeklerde sağ lateral (RL) ve ventrodorsal (VD) toraks radyografilerinden elde edilen kardiyak alan indeksleri arasındaki uyum değerlendirildi ve bu indekslerin pulmoner ven/arter oranıyla ilişkisi incelendi. Farklı ırk, yaş ve cinsiyetteki 32 köpeğe ait toraks radyografileri değerlendirildi. RL ve VD radyografilerde kardiyak siluet alanı ile dördüncü torakal vertebranın (T4) kraniyokaudal uzunluğu ölçüldü. Kardiyak alan indeksi kardiyak siluet alanının T4 uzunluğunun karesine bölünmesiyle hesaplandı. Pulmoner ven ve arter çapları RL radyografilerde ölçüldü ve pulmoner ven/arter oranı hesaplandı. Değişkenler arasındaki ilişkiler Spearman sıra korelasyon analiziyle değerlendirildi. RL ve VD ölçümleri arasındaki uyum, sınıf içi korelasyon katsayısı (ICC) ve Bland–Altman analiziyle incelendi. RL ve VD kardiyak alan indeksleri arasında güçlü pozitif korelasyon saptandı (ρ=0,855, P<0,001) ve ölçümler arasında iyi düzeyde uyum bulundu (ICC=0,884, %95 GA 0,756–0,942). Kardiyak alan indeksleri ile pulmoner ven/arter oranı arasında anlamlı ilişki saptanmadı (RL: ρ=0,132, P=0,473; VD: ρ=0,067, P=0,717). Bland–Altman analizinde ortalama fark 0,39, %95 uyum sınırları ise −4,70 ile 5,49 arasında bulundu. Ayrıca anlamlı orantısal yanlılık saptandı. Bulgular, RL ve VD kardiyak alan indekslerinin güçlü biçimde ilişkili olduğunu ve genel olarak iyi uyum gösterdiğini ortaya koydu. Bununla birlikte, yüksek indeks değerlerinde artan ölçüm farklılıkları, iki radyografik görünümden elde edilen indekslerin birbirinin yerine kullanımını sınırlamaktadır.
Anahtar Kelimeler: Kardiyak siluet, Köpek, Toraks radyografisi

Abstract
The present study evaluated the agreement between cardiac area indices obtained from right lateral (RL) and ventrodorsal (VD) thoracic radiographs in dogs with cardiogenic interstitial pulmonary edema and examined their association with the pulmonary vein-to-artery ratio. Thoracic radiographs from 32 dogs of different breeds, ages, and sexes were evaluated. Cardiac silhouette area and the craniocaudal length of the fourth thoracic vertebra (T4) were measured on RL and VD radiographs. The cardiac area index was calculated by dividing the cardiac silhouette area by the square of T4 length. Pulmonary vein and artery diameters were measured on RL radiographs, and the pulmonary vein-to-artery ratio was calculated. Associations among variables were evaluated using Spearman's rank correlation. Agreement between RL and VD measurements was assessed using the intraclass correlation coefficient (ICC) and Bland–Altman analysis. A strong positive correlation was found between RL and VD cardiac area indices (ρ=0.855, P<0.001), with good agreement between measurements (ICC=0.884, 95% CI 0.756–0.942). No significant association was detected between the cardiac area indices and the pulmonary vein-to-artery ratio (RL: ρ=0.132, P=0.473; VD: ρ=0.067, P=0.717). Bland–Altman analysis showed a mean bias of 0.39, with 95% limits of agreement ranging from −4.70 to 5.49. Significant proportional bias was also detected. These findings indicate that RL and VD cardiac area indices are strongly associated and show good overall agreement. However, increasing measurement differences at higher index values limit the interchangeability of indices obtained from the two radiographic views.
Keywords: Cardiac silhouette, Dogs, Thoracic radiography

MİCROSPORİDİA TAKSONOMİSİNDEKİ GÜNCEL DEĞİŞİKLİKLER: NOSEMA'DAN VAİRİMORPHA'YA

CURRENT CHANGES IN MICROSPORIDIA TAXONOMY: FROM NOSEMA TO VAIRIMORPHA

Assoc. Prof. Dr. Aykut ZEREK
Department of Parasitology, Faculty of Veterinary Medicine, Hatay Mustafa Kemal University, Hatay, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-8533-387X

Asst. Prof. Dr. İpek ERDEM
Department of Parasitology, Faculty of Veterinary Medicine, Hatay Mustafa Kemal University, Hatay, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-0086-8294

Özet

Mikrosporidialar, protistlerden omurgasızlara ve kara, tatlı su ile deniz habitatlarında yaşayan memelilere kadar geniş bir konak yelpazesinde enfeksiyon oluşturabilen zorunlu hücre içi parazitlerdir. Yaklaşık 1500 tür tanımlanmış olsa da bu grubun çeşitliliği büyük ölçüde keşfedilmemiştir. Bazı türler insan ve hayvanlarda önemli patojenler olup immün sistemi baskılanmış bireylerde fırsatçı enfeksiyonlara yol açabilmektedir. Karasal türler, tarımsal üretim ve hayvancılıkta ekonomik kayıplara neden olabilmekte; arıcılık ve ipek böcekçiliğinde görülen mikrosporidialar bu türlerin başlıca örneklerindendir. Buna karşın bazı mikrosporidialar zararlı böceklerin biyolojik kontrolünde kullanılabilmekte; sivrisineklerin sıtmayı bulaştırmasını engelleme potansiyeli de taşımaktadır. Bu bildiride, mikrosporidia taksonomisindeki güncel değişikliklerin ve özellikle bal arılarını enfekte eden *Nosema* türlerinin *Vairimorpha* cinsi altında yeniden sınıflandırılmasına ilişkin yaklaşımların değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Mikrosporidialar mantarlarla yakın akraba ya da doğrudan mantarların bir üyesi olarak kabul edilmektedir. Sınıflandırılmalarında geçmişte gelişimsel özellikler, konak türleri ile spor ve meront morfolojileri temel alınırken, günümüzde spor boyutu ve şekli, polar filament yapısı ve kıvrım sayısı, polaroplast ve ekzospor özelliklerinden yararlanılmaktadır. Daha yüksek düzeylerde nükleer faz değişimi ve sporogoni sayısı dikkate alınmaktadır. Genetik veriler, morfolojik karakterlerin filogenetik ilişkilerin ayrımında tek başına yeterli olmadığını göstermiştir. Moleküler ve filogenetik analizlerdeki gelişmeler ise önemli taksonomik revizyonlara yol açmıştır. Bu kapsamda, bal arılarını enfekte eden *Nosema apis*, *Nosema ceranae* ve *Nosema neumanni* türlerinin ribozomal RNA gen dizilimleri ile filogenetik ilişkileri esas alınarak *Vairimorpha* cinsi altında yeniden sınıflandırılmaları önerilmiştir. Buna göre bu türler sırasıyla *Vairimorpha apis*, *Vairimorpha ceranae* ve *Vairimorpha neumanni* olarak yeniden adlandırılmıştır. Bununla birlikte, bu taksonomik değişikliğin arıcılık alanında ve ilgili literatürde henüz yaygın kabul görmediği; moleküler, sistematik ve sosyoekonomik gerekçelerle tartışılmaya devam ettiği görülmektedir. Bu nedenle birçok bilimsel yayında geleneksel *Nosema* terminolojisinin kullanımının sürdüğü görülmektedir. Bu doğrultuda, hastalık terminolojisinde "*Nosema* hastalığı", "nosemosis" ve "nosematidosis" ifadelerinin kullanımının sürdürülmesi; taksonomik adlandırmada ise *Vairimorpha* adının tercih edilmesi önerilmektedir. Sonuç olarak, *Nosema*–*Vairimorpha* örneği, moleküler ve filogenetik verilerin mikrosporidia taksonomisinin yeniden şekillenmesindeki önemini ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: Microsporidia, *Nosema*, *Vairimorpha*, taksonomi

Abstract

Microsporidia are obligate intracellular parasites with a broad host range, from protists and invertebrates to mammals inhabiting terrestrial, freshwater, and marine environments. Although approximately 1,500 species have been described, their diversity remains largely unexplored. Some species are important human and animal pathogens and may cause opportunistic infections in immunocompromised individuals. Terrestrial species cause economic losses in agriculture and animal production, with those affecting apiculture and sericulture being prominent examples. Nevertheless, some microsporidia can biologically control insect pests and may prevent malaria transmission by mosquitoes.

This paper aims to evaluate current taxonomic changes in microsporidia, particularly reclassification of *Nosema* species infecting honey bees under the genus *Vairimorpha*. Microsporidia are considered closely related to or members of fungi. Historically, classification was based on developmental characteristics, host species, and spore and meront morphology, whereas current classification incorporates spore size and shape, polar filament structure and coil number, and polaroplast and exospore characteristics. At higher levels, nuclear phase changes and the number of sporogonies are considered. Genetic data have demonstrated that morphological characters alone are insufficient to resolve phylogenetic relationships. Advances in molecular and phylogenetic analyses have led to important taxonomic revisions. Accordingly, *Nosema apis*, *Nosema ceranae*, and *Nosema neumanni*, which infect honey bees, were proposed for reclassification under *Vairimorpha* based on ribosomal RNA gene sequences and phylogenetic relationships. They were consequently renamed *Vairimorpha apis*, *Vairimorpha ceranae*, and *Vairimorpha neumanni*, respectively. However, this taxonomic change has not gained wide acceptance in apiculture and related literature and remains debated on molecular, systematic, and socioeconomic grounds. Therefore, traditional *Nosema* terminology persists in many publications. Continued use of the disease terms "*Nosema* disease," "nosemosis," and "nosematidosis" is recommended, while *Vairimorpha* is preferred for taxonomic nomenclature. In conclusion, the *Nosema*–*Vairimorpha* example highlights the importance of molecular and phylogenetic data in reshaping microsporidia taxonomy.

Keywords: Microsporidia, *Nosema*, *Vairimorpha*, taxonomy

POTENTIAL EFFECTS OF STINGING NETTLE (URTICA DIOICA L.) ON CANCER

Assoc. Prof. Dr. Yağmur DEMİREL ÖZBEK
Department of Nutrition and Dietetics, Faculty of Health Sciences, Recep Tayyip Erdoğan University, Rize, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-3877-3183

Özet
Isırgan otu (Urtica dioica L.), geleneksel beslenmede uzun süredir kullanılan; fenolik asitler, flavonoidler, lignanlar, steroller ve çeşitli lipid türevleri başta olmak üzere farklı biyoaktif bileşenler içeren yenilebilir bir bitkidir. Besinsel özelliklerinin yanı sıra son yıllarda kanser hücreleri üzerindeki etkileri de araştırılmaktadır. Bu bildiride, ısırgan otunun kanserle ilişkili potansiyel etkilerinin deneysel çalışmalar doğrultusunda değerlendirilmesi ve elde edilen bulguların beslenme bilimleri açısından ele alınması amaçlanmıştır. Hücre kültürü çalışmalarında ısırgan otunun farklı ekstrakt ve preparatlarının meme, prostat, kolon, akciğer ve yumurtalık kanseri hücreleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen bulgular, ısırgan ekstraktlarının hücre proliferasyonunu ve canlılığını azaltabildiğini, apoptozu artırabildiğini ve bazı modellerde hücre döngüsünde duraklamaya neden olabildiğini göstermektedir. Meme kanserine ilişkin hayvan modelinde de tümör hacmi ve ağırlığında azalma ile proliferasyonun baskılanması ve apoptotik hücre ölümünün artması bildirilmiştir. Isırgan otunun etkileri yalnızca hücre proliferasyonu ve apoptozla sınırlı olmayıp, meme ve kolon kanseri hücrelerinde migrasyon ve invazyonun azalmasına ilişkin bulgular da bulunmaktadır. Bunun yanı sıra paklitaksel ve sisplatinle birlikte yürütülen deneysel çalışmalarda, ısırgan preparatlarının kanser hücrelerinin kemoterapötik ajanlara verdiği yanıtı değiştirebildiği belirlenmiştir. Ancak kullanılan bitki kısmı, ekstraksiyon yöntemi, preparatın kimyasal bileşimi ve uygulanan konsantrasyonların farklı olması, çalışmaların doğrudan karşılaştırılmasını güçleştirmektedir. Ayrıca mevcut kanıtların büyük ölçüde hücre kültürü çalışmalarına ve sınırlı sayıdaki hayvan deneyine dayanması, sonuçların insanlara aktarılmasındaki temel sınırlılıktır. Beslenme bilimleri açısından, deneysel ortamda etkili bulunan biyoaktif bileşiklerin besin veya infüzyon şeklinde tüketim sonrasında biyolojik olarak etkili düzeylere ulaşıp ulaşmadığının belirlenmesi önemlidir. Isırgan otunun kanserle ilişkili potansiyelinin daha doğru değerlendirilebilmesi için tüketilebilir formların bileşimi ve biyoyararlanımının incelendiği, deneysel bulguların insan çalışmalarıyla desteklendiği araştırmalara gereksinim vardır.
Anahtar Kelimeler: Urtica dioica; ısırgan otu; kanser; biyoaktif bileşikler; apoptoz; proliferasyon.

Abstract
Stinging nettle (Urtica dioica L.) is an edible plant that has long been used in traditional diets and contains various bioactive components, particularly phenolic acids, flavonoids, lignans, sterols, and various lipid derivatives. In addition to its nutritional properties, its effects on cancer cells have also been investigated in recent years. This review aimed to evaluate the potential cancer-related effects of stinging nettle in light of experimental studies and to discuss the findings from the perspective of nutritional sciences. Cell culture studies have investigated the effects of different stinging nettle extracts and preparations on breast, prostate, colon, lung, and ovarian cancer cells. The findings indicate that stinging nettle extracts may reduce cell proliferation and viability, increase apoptosis, and cause cell cycle arrest in some models. In an animal model of breast cancer, reductions in tumor volume and weight, suppression of proliferation, and increased apoptotic cell death have also been reported. The effects of stinging nettle are not limited to cell proliferation and apoptosis, as findings also indicate reduced migration and invasion in breast and colon cancer cells. Furthermore, experimental studies conducted in combination with paclitaxel and cisplatin have shown that stinging nettle preparations may alter the response of cancer cells to chemotherapeutic agents. However, differences in the plant parts used, extraction methods, chemical composition of the preparations, and applied concentrations make direct comparisons among studies difficult. Moreover, the fact that the available evidence is largely based on cell culture studies and a limited number of animal experiments represents the main limitation in extrapolating these results to humans. From the perspective of nutritional sciences, it is important to determine whether bioactive compounds found to be effective under experimental conditions can reach biologically effective concentrations after consumption as food or infusion.

To more accurately evaluate the cancer-related potential of stinging nettle, further studies examining the composition and bioavailability of consumable forms and supporting experimental findings with human studies are needed.

Keywords: Urtica dioica; stinging nettle; cancer; bioactive compounds; apoptosis; proliferation.

Introduction

Stinging nettle (*Urtica dioica* L.) has traditionally been consumed as food and has also been investigated in cancer research because of its bioactive compounds. Extracts prepared from its leaves and roots have been reported to affect cell proliferation, programmed cell death, cell migration, and drug sensitivity. These effects are not limited to a single cancer type and have been investigated through different mechanisms in breast, lung, colon, and prostate cancer models (Esposito et al., 2019).

The chemical composition of the plant includes phenolic acids, flavonoids, lignans, sterols, and various lipid derivatives. Chlorogenic acid, rutin, and quercetin derivatives are among the compounds associated with the biological properties of stinging nettle. Although some of these compounds are known for their antioxidant properties, the assessment of cancer-related effects cannot be based solely on measurements of antioxidant capacity (Esposito et al., 2019). Changes in processes such as cell proliferation, viability, and migration are important when evaluating cancer-related effects. From this perspective, stinging nettle should be considered a complex botanical source containing different phytochemicals rather than a source of a single active compound. In addition to leaf and root preparations, the chemical profiles of extracts obtained using different solvents may also vary. Therefore, the plant part used, extraction method, and characteristics of the experimental model should be considered together when interpreting the potential effects on cancer cells (Esposito et al., 2019; Dakhli et al., 2025).

Proliferation and Apoptosis in Cancer Cells

One of the main findings of experimental studies on stinging nettle extracts is the suppression of cancer cell proliferation and induction of apoptosis. Some stinging nettle extracts have been reported to reduce cell viability and increase apoptotic cell death in breast and prostate cancer models. Apoptotic findings, including changes in cell morphology and DNA fragmentation, further support this effect (Mohammadi et al., 2016a; Mohammadi et al., 2016b). However, the observed effect does not appear to be limited to reduced cell viability, as processes involved in proliferation and cell survival may also be affected. These findings from different cancer models are important for investigating the anticancer potential of the bioactive compounds in stinging nettle (Esposito et al., 2019). In addition to apoptosis, cell cycle arrest is another important mechanism involved in suppressing cell proliferation. Findings obtained with an aqueous stinging nettle leaf extract in colon cancer cells indicate that reduced cell viability may be accompanied by changes in the cell cycle. Dakhli et al. (2025) reported reduced cell viability and cell cycle arrest following treatment with the extract.

These findings suggest that the effects of stinging nettle on cancer cells may not be limited to the induction of cell death but may also involve processes that regulate proliferation. Although the results obtained with the aqueous extract draw attention to the possible role of water-soluble bioactive compounds, the effect may vary according to the composition and concentration of the extract (Dakhli et al., 2025).

Findings from cell culture studies have also been partially supported by animal models. In mice with induced breast tumors, administration of stinging nettle leaf extract for 28 days was reported to reduce tumor volume and weight. Histopathological examination of tumor tissue also showed suppressed cell proliferation and increased apoptotic cell death (Mohammadi et al., 2017). However, because the extract was prepared with dichloromethane and administered by injection, these findings cannot be directly applied to the consumption of stinging nettle as food or tea.

Similar antiproliferative and apoptotic effects have also been reported in lung cancer cells. Findings from this model indicate that stinging nettle extract may suppress cell proliferation and increase apoptotic cell death. However, the observed effect cannot be attributed equally to all compounds present in the extract. D'Abrosca et al. (2019) reported that fractions rich in certain fatty acid derivatives contributed to antiproliferative activity, whereas the flavonoid rutin did not show a similar effect when tested alone.

These findings indicate that evaluating the anticancer potential of stinging nettle solely on the basis of its total phenolic or flavonoid content is insufficient and that different groups of compounds and their possible interactions should also be considered (D'Abrosca et al., 2019).

Migration and Invasion in Cancer Cells

In addition to cell proliferation, the migration and invasion properties of cancer cells play an important role in tumor development. Studies on stinging nettle extracts indicate that these processes may also be affected. Reduced cell motility and changes associated with intercellular connections have been reported in breast cancer cells following treatment with the extract (Mansoori et al., 2017). Similarly, the effects of an aqueous leaf extract on migration and invasion were examined in colon cancer cells, and invasion was found to decrease in a dose-dependent manner. The more limited change in migration indicates that the extract did not affect these two cellular processes to the same extent (Dakhli et al., 2025). The effects of the extract on cell viability and proliferation should also be considered when interpreting reductions in migration and invasion. Current findings indicate that stinging nettle extracts may affect not only the proliferation of cancer cells but also their migration and invasion properties (Mansoori et al., 2017; Dakhli et al., 2025).

Effects on Chemotherapy Sensitivity

Another aspect of stinging nettle examined in cancer research is its ability to modify the cellular response to chemotherapeutic agents. In breast cancer cells, the combined application of leaf extract and paclitaxel resulted in suppressed cell proliferation, cell cycle arrest, and reduced migration at lower drug concentrations (Mohammadi et al., 2016c). A similar effect was observed when the extract was administered with cisplatin in lung cancer cells, where cell death was greater than that observed with either treatment alone (D'Abrosca et al., 2019). These results indicate that stinging nettle extracts may modify cellular sensitivity to certain chemotherapeutic agents.

In ovarian cancer cells, the combined application of stinging nettle leaf infusion and cisplatin suppressed cell proliferation, increased apoptosis and DNA fragmentation, and reduced cell migration (Nafeh et al., 2025). Similar findings in a different cell line suggested that this effect was not limited to a single cell line. These studies indicate that the combined use of stinging nettle and chemotherapeutic agents warrants further investigation. However, because these findings are based on cell culture studies, they cannot be directly generalized to clinical practice. Further research is needed to evaluate possible plant–drug interactions.

Evaluation from the Perspective of Nutritional Sciences

In addition to efficacy, selectivity and safety are important when evaluating experimental findings. In the study conducted with ovarian cancer cells, stinging nettle infusion did not reduce the proliferation of normal cells or markedly increase the toxic effect of cisplatin on these cells. However, findings obtained from a single normal cell line following short-term exposure do not provide sufficient information about safety in different tissues and organs (Nafeh et al., 2025).

Another important issue from a nutritional perspective is whether compounds found to be effective under experimental conditions can reach concentrations capable of producing biological effects after consumption. Consuming stinging nettle in different forms, such as food, infusion, capsules, or extracts, may affect the amount of bioactive compounds ingested, their release from the food matrix, and their bioaccessibility following digestion. The major phenolic compounds in stinging nettle have been reported to become available during digestion, although their transport across intestinal cells is generally low. The bioaccessibility of carotenoids also varies according to the form of the product and the food matrix (Bonetti et al., 2016; Marchetti et al., 2018). Future studies should therefore focus on the amounts of bioactive compounds in consumable forms, their changes following digestion, and their bioavailability to clarify the nutritional relevance of the effects observed experimentally. Current evidence is not sufficient to evaluate the effectiveness of stinging nettle in cancer prevention or treatment in humans (Esposito et al., 2019; Nafeh et al., 2025).

Conclusion

Stinging nettle is an edible plant investigated for its rich nutritional and phytochemical composition and its effects on different cellular processes associated with cancer.

Experimental studies have reported suppressed cell proliferation, increased apoptosis, and reduced migration and invasion. Changes in cellular responses have also been observed when stinging nettle was used with certain chemotherapeutic agents. However, these effects are largely based on cell culture studies and a limited number of animal experiments, which restricts their clinical interpretation.

Therefore, evaluations of the effects of stinging nettle on cancer should extend beyond experimental biological activity and consider the form of consumption, the amounts of bioactive compounds, and their bioavailability. Determining the biological response to stinging nettle consumed as food or infusion in humans would help clarify the nutritional relevance of experimental findings.

Well-designed human studies are needed to determine the role of stinging nettle in cancer prevention or treatment.

References

Bonetti, G., Tedeschi, P., Meca, G., Bertelli, D., Mañes, J., Brandolini, V. & Maietti, A. (2016). In vitro bioaccessibility, transepithelial transport and antioxidant activity of Urtica dioica L. phenolic compounds in nettle-based food products. Food & Function, 7(10), 4222–4230. DOI: 10.1039/c6fo01096b

D'Abrosca, B., Ciaramella, V., Graziani, V., Papaccio, F., Della Corte, C. M., Potenza, N., Fiorentino, A., Ciardiello, F. & Morgillo, F. (2019). Urtica dioica L. inhibits proliferation and enhances cisplatin cytotoxicity in NSCLC cells via Endoplasmic Reticulum-stress mediated apoptosis. Scientific Reports, 9, 4986. DOI: 10.1038/s41598-019-41372-1.

Dakhli, N., López-Jiménez, A., Cárdenas, C., Hraoui, M., Dhaouafi, J., Bernal, M., Sebai, H. & Medina, M. A. (2025). Urtica dioica aqueous leaf extract: Chemical composition and in vitro evaluation of biological activities. International Journal of Molecular Sciences, 26(3), 1220. DOI: 10.3390/ijms26031220.

Esposito, S., Bianco, A., Russo, R., Di Maro, A., Isernia, C. & Pedone, P. V. (2019). Therapeutic perspectives of molecules from Urtica dioica extracts for cancer treatment. Molecules, 24(15), 2753. DOI: 10.3390/molecules24152753.

Mansoori, B., Mohammadi, A., Hashemzadeh, S., Shirjang, S., Baradaran, A., Asadi, M., Doustvandi, M. A. & Baradaran, B. (2017). Urtica dioica extract suppresses miR-21 and metastasis-related genes in breast cancer. Biomedicine & Pharmacotherapy, 93, 95–102. DOI: 10.1016/j.biopha.2017.06.021.

Marchetti, N., Bonetti, G., Brandolini, V., Cavazzini, A., Maietti, A., Meca, G. & Mañes, J. (2018). Stinging nettle (Urtica dioica L.) as a functional food additive in egg pasta: Enrichment and bioaccessibility of lutein and β-carotene. Journal of Functional Foods, 47, 547–553. DOI: 10.1016/j.jff.2018.05.062.

Mohammadi, A., Mansoori, B., Goldar, S., Shanehbandi, D., Khaze, V., Mohammadnejad, L., Baghbani, E. & Baradaran, B. (2016a). Effects of Urtica dioica dichloromethane extract on cell apoptosis and related gene expression in human breast cancer cell line (MDA-MB-468). Cellular and Molecular Biology, 62(2), 62–67. DOI: 10.14715/cmb/2016.62.2.11.

Mohammadi, A., Mansoori, B., Aghapour, M. & Baradaran, B. (2016b). Urtica dioica dichloromethane extract induce apoptosis from intrinsic pathway on human prostate cancer cells (PC3). Cellular and Molecular Biology, 62(3), 78–83. DOI: 10.14715/cmb/2016.62.3.13.

Mohammadi, A., Mansoori, B., Aghapour, M., Shirjang, S., Nami, S. & Baradaran, B. (2016c). The Urtica dioica extract enhances sensitivity of paclitaxel drug to MDA-MB-468 breast cancer cells. Biomedicine & Pharmacotherapy, 83, 835–842. DOI: 10.1016/j.biopha.2016.07.056.

Mohammadi, A., Mansoori, B., Baradaran, P. C., Khaze, V., Aghapour, M., Farhadi, M. & Baradaran, B. (2017). Urtica dioica extract inhibits proliferation and induces apoptosis and related gene expression of breast cancer cells in vitro and in vivo. Clinical Breast Cancer, 17(6), 463–470. DOI: 10.1016/j.clbc.2017.04.008.

Nafeh, P., Nafeh, G., Younes, M., Chaaban, A., El Bitar, L., Ibrahim, J. N., Kobeissy, P. H. & Rizk, S. (2025). Urtica dioica leaf infusion enhances cisplatin-induced apoptosis in ovarian cancer cells in vitro. BMC Complementary Medicine and Therapies, 25, 304. DOI: 10.1186/s12906-025-05053z.

İKİZ GEBE BİR KOYUNDA UNİLATERAL MUMİFİYE FETÜS OLGUSU
A CASE OF UNILATERAL FETAL MUMMIFICATION IN A TWIN-PREGNANT EWE

Res. Asst. Merve ÜNVER
Faculty of Veterinary Medicine, Siirt University, Siirt, Türkiye.
ORCID ID: 0009-0008-2882-1077

Asst. Prof. Dr. Ali ÜNVER
Faculty of Veterinary Medicine, Siirt University, Siirt, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-9683-7387

ÖZET
Gebelik patolojileri, plasentada, yavruda ve annede çeşitli patolojik değişimleri içeren anne ve yavrunun hayatını tehlikeye atan durumlar olarak ifade edilmektedir. Gebelik patolojilerinden biri olan fetal mumifikasyonda, fetüsün kemik gelişimi tamamlandıktan sonra ölür, fetal sıvılar emilir ve fetüs kalıntılarıyla birlikte normal gebelik süresinin ötesinde annenin uterusunda kalır. Gebelik süresinden fazla uterusta kalmasının sebebi kalıcı korpus luteumun bulunmasından kaynaklanır. Fetal mumifikasyon, kısraklarda daha sık görülen bir olgu olmakla birlikte diğer çiftlik hayvanlarında daha nadir görülmekte ve evcil hayvanlarda gebeliğin orta ve son üçte birlik dönemlerinde ortaya çıkarken koyun ve keçilerde daha az rastlanmaktadır. Koyunlarda görülen fetal mumifikasyon tek veya birden fazla yavruda görülebilen nadir bir olgudur. Siirt Üniversitesi Hayvan Hastanesine uygulamalı eğitim için mezbahadan getirilen koyun uterusunda ikiz yavrulardan birinde fetal mumifikasyon olduğu tesadüfen görüldü. Mumifikasyon belirtisi görülmeyen yavrunun normal doğum büyüklüğüne benzer büyüklükte olduğu ve yün yapısının vücudun genelinde tamamlanmış olduğu görüldü. Koyun ve keçilerde fetal mumifikasyonun en sık Coxiella enfeksiyonları ile ilişkili olduğu bildirilmekle birlikte, toksik bitkilerin tüketimi, göbek kordonu torsiyonu ve gebeliğin 90–120. günlerindeki enerji ve protein yetersizlikleri de olası nedenler arasında yer almaktadır. Küçük ruminantlarda mumifiye fetüs ya abort yoluyla ya da doğum esnasında yavruyla birlikte uterustan uzaklaşır. Sunulan olguda, bir fetüsün mumifiye olmasına rağmen diğer fetüsün gelişimini sürdürerek normal doğum büyüklüğüne ulaşması, çoğul gebeliklerde fetal mumifikasyonun diğer fetüsün intrauterin gelişimini zorunlu olarak engellemediğini düşündürmektedir. Bu nedenle, mumifiye fetüs bulunan çoğul gebeliklerde diğer fetüs veya fetüslerin gebelik sonlanıncaya kadar gelişimlerini sürdürebileceği sonucuna varılmıştır.
Anahtar Kelimeler: İkizlik, Koyun, Mumifiye fetüs

ABSTRACT
Pregnancy pathologies are defined as pathological conditions affecting the placenta, fetus, and mother that can adversely impact maternal and fetal health. Fetal mummification, one such pathology, is characterized by the intrauterine death of the fetus after the completion of skeletal development, the resorption of fetal fluids, and the retention of dehydrated fetal remains within the uterus beyond the normal gestation period. The prolonged retention of the fetus in the uterus is attributed to the persistence of a functional corpus luteum, which prevents the activation of uterine mechanisms that would otherwise terminate the pregnancy. While fetal mummification in domestic animals typically occurs during the second and third trimesters of pregnancy, it is rarely reported in sheep and goats. In this case, fetal mummification was incidentally detected in one of twin fetuses during the examination of a sheep uterus brought to the Siirt University Animal Hospital from a slaughterhouse for practical training purposes. It was observed that the other fetus, which showed no signs of mummification, was close to normal birth size and had completed wool development across its body. Although fetal mummification in sheep and goats is most frequently associated with *Coxiella* infections, the consumption of toxic plants, umbilical cord torsion, and energy and protein deficiencies between days 90 and 120 of gestation are also among the potential causes. In small ruminants, the mummified fetus is usually expelled from the uterus during abortion or parturition. In the case presented, the fact that one fetus reached normal birth size while the other became mummified suggests that fetal mummification in multiple pregnancies does not necessarily impede the intrauterine development of the other fetus.

Therefore, it has been concluded that in multiple pregnancies involving a mummified fetus, the other fetus or fetuses can continue to develop until the pregnancy terminates.

Keywords: Twinning, Sheep, Mummified fetus

BEMİSİA TABACİ GENN. (HEMİPTERA: ALEYRODİDAE)] VE EMPOASCA SPP. (HEMİPTERA: CİCADELLİDAE)]' NİN FARKLI PATLICAN GENOTİP VE ÇEŞİTLERİNDEKİ POPÜLASYON YOĞUNLUĞUNUN BELİRLENMESİ

DETERMINATION OF POPULATION DENSITY OF BEMISIA TABACI GENN. (HEMIPTERA: ALEYRODIDAE)] AND EMPOASCA SPP. (HEMIPTERA: CICADELLIDAE)] IN DIFFERENT EGGPLANT GENOTYPES AND VARIETIES

İlyas RAT
GAP Agricultural Research Institute Directorate, Şanlıurfa, Türkiye.
ORCID ID: 0009-0005-8405-4667

Erdal KÜÇÜK
GAP Agricultural Research Institute Directorate, Şanlıurfa, Türkiye.
ORCID ID: 0009-0007-4611-4387

ÖZET
Bu çalışma, 2024-2025 vejetasyon dönemlerinde farklı patlıcan genotip ve çeşitlerindeki (**Tophan, Ceylanpınar ve Zabaran**) *Bemisia tabaci* ve *Empoasca* spp. türlerinin popülasyon yoğunlukları ile çeşit tercihlerini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Parselasyonlar, tesadüf blokları deneme desenine göre 4 tekerrür halinde ve her biri 40 m^2 olacak şekilde kurulmuştur. Sayımlar sabah erken saatlerde ergin sayımı şeklinde yapılmıştır. Araştırma verileri; her iki zararlının bitki üzerinde homojen olmayan bir dağılım gösterdiği ve her iki yılda da en yüksek yoğunlukların, bitkilerin alt yapraklarında olduğu tespit edilmiştir. Patlıcan materyalleri arasında Ceylanpınar genotipinin her iki zararlı için en duyarlı; Zabaran çeşidinin *B. tabaci* tarafından en az tercih edilen araştırma materyali olduğu görülmüştür. Zararlıların popülasyon yoğunluklarının yıllara göre değişkenlik gösterdiği; yapılacak sörvey ve mücadele çalışmalarında bitkilerin alt yapraklarının öncelikli kontrol noktası olarak tercih edilmesi gerektiği sonuçlarına varılmıştır.
Anahtar Kelimeler: *Bemisia tabaci, Empoasca* spp. Patlıcan, Çeşit Tercihi.

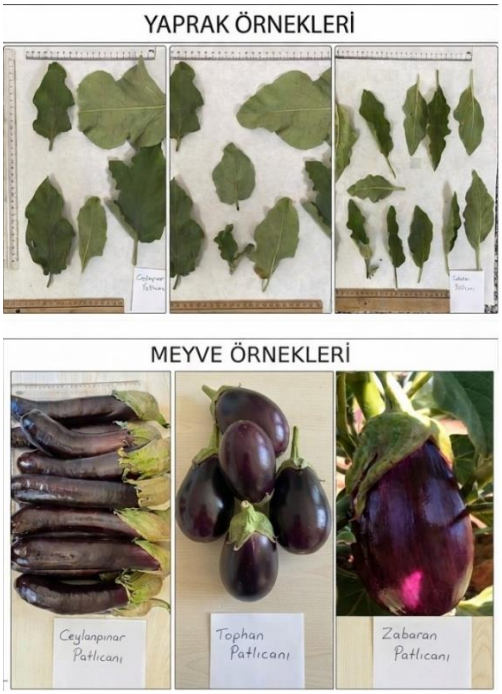
ABSTRACT
This study was conducted to determine the population densities and variety preferences of *Bemisia tabaci* and *Empoasca* spp. in different eggplant genotype and varieties (Tophan, Ceylanpınar, and Zabaran) during the 2024-2025 growing seasons. Plots were established according to a randomized block design with 4 replications, each covering 40 m^2. Counts were performed in the early morning hours as adult counts. The research data showed that both pests exhibited a non-homogeneous distribution on the plant, and the highest densities were found on the lower leaves of the plants in both years. Among the eggplant materials, the Ceylanpınar genotype was found to be the most susceptible to both pests, while the Zabaran variety was the least preferred research material by *B. tabaci*. It was concluded that the population densities of the pests varied from year to year, and that the lower leaves of the plants should be preferred as the primary control point in future surveys and control studies.
Keywords: *Bemisia tabaci, Empoasca* spp. Eggplant, Variety Selectio

GİRİŞ
Patlıcan (*Solanum melongena* L.) Solanaceae familyası içinde tropikal iklim kuşağında çok yıllık; ılıman iklim kuşağında ise tek yıllık olarak yetiştiriciliği yapılan önemli türlerden biridir (Daunay and Janick, 2007). İlk olarak Çin, Hindistan ve Tayland'da kültüre alınmış ve 17. yy'da Akdeniz havzası ve Avrupa'ya girmiştir (Lester, 1998). Dünyada ve ülkemizde ekonomik değeri oldukça yüksek olan, taze tüketiminin yanı sıra değişik şekillerde (kurutma ve konserve) değerlendirilmesiyle sanayiye dayalı kullanımı da öne çıkan stratejik bir sebze türüdür (Daunay and Janick, 2007). Ayrıca fenolik bileşikler, fosfor, potasyum, kalsiyum ve magnezyum gibi mineral maddeler bakımından zengin sebze türlerinden biridir (Stommel and Whitaker , 2003 ; Savvas and Lenz, 1996). Dünyada 1.9 milyon hektar alanda 60.97 milyon ton üretimi gerçekleştirilen patlıcanda; Türkiye, yıllık ortalama 878.830 tonluk üretimiyle Çin, Hindistan ve Mısır'ın ardından 4. sırada yer almaktadır (FAO, 2024; TÜİK, 2025).

Patlıcan üretiminde birim alandan alınan verim ve meyve kalitesi, çeşitli biyotik stres faktörleri nedeniyle ciddi oranda baskılanmaktadır. Bu biyotik faktörlerin başında, polifag zararlılar olan *Bemisia tabaci* Genn. (Hemiptera: Aleyrodidae) ve *Empoasca* spp. (Hemiptera: Cicadellidae) gelmektedir. Bu zararlılar, bitki özsuyunu emerek doğrudan fizyolojik zarara yol açmalarının yanı sıra, salgıladıkları tatlımsı maddelerle fumajine neden olmakta ve en önemlisi bitki patojeni virüsleri taşıyarak vektörlük yapmaktadırlar. Kimyasal mücadelenin yarattığı direnç ve kalıntı sorunları, günümüzde bitki koruma stratejilerinde dayanıklı genotip ve çeşitlerin kullanımını ön plana çıkarmıştır.
Zararlıların konukçu tercihi; bitkinin morfolojik yapısı, yaprak ayasının genişliği ve tüy yoğunluğu gibi faktörlerden doğrudan etkilenmektedir. Özellikle, zararlıların bitki üzerindeki dikey dağılımları (alt, orta ve üst yaprak katmanları); mücadele yöntemlerinin başarısı ve doğru örnekleme stratejilerinin oluşturulması açısından kritik bir öneme sahiptir.
Bu çalışma, Tophan ve Zabaran yerel çeşitleri ile yerel bir genotip olan Ceylanpınar arasındaki zararlı tercih farklılıklarını sayısal verilerle ortaya koymak ve dikey yerleşim dinamiklerini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Elde edilen bulguların; hem ıslah programlarına hem de bölgeye özgü entegre mücadele (IPM) takvimlerine temel oluşturması hedeflenmektedir.

MATERYAL VE METOT

GAP Tarımsal Araştırma Enstitüsü Gündaş İstasyonunda 2024-2025 yıllarında yürütülen bu çalışmanın ana materyallerini bitki materyali olarak Ceylanpınar genotipi ile Tophan ve Zabaran patlıcan çeşitleri; zararlı olarak ise *B. tabaci* ve *Empoasca* spp. oluşturmuştur (Şekil 1). Çalışmaların gerçekleştirilebilmesi için tohumdan ekimleri gerçekleştirilen patlıcan fideleri her iki yılda da nisan ayında tarlaya dikilmiştir. Parseller, her biri 40 m^2 ve her bir deneme konusu için 4 tekerrür olacak şekilde tesadüf blokları deneme desenine göre kurulmuştur. Tüm parseller arasında 1'er metre emniyet şeridi bırakılmıştır.
Bulaşıklık ve zararlıların çeşit tercihlerini belirleyebilmek için sabah saatlerinde çiğ durumu kalktıktan sonra her parselin orta sırasından tesadüfen seçilen bitkilerin her deneme parseli için alt, orta ve üst yapraklarından 10 ar adet yapraktan sayımlar yapılmıştır. Her bir patlıcan materyali için 120 yapraktan sayım gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1: Patlıcan genotip ve çeşitlerine ait yaprak ve meyve örnekleri

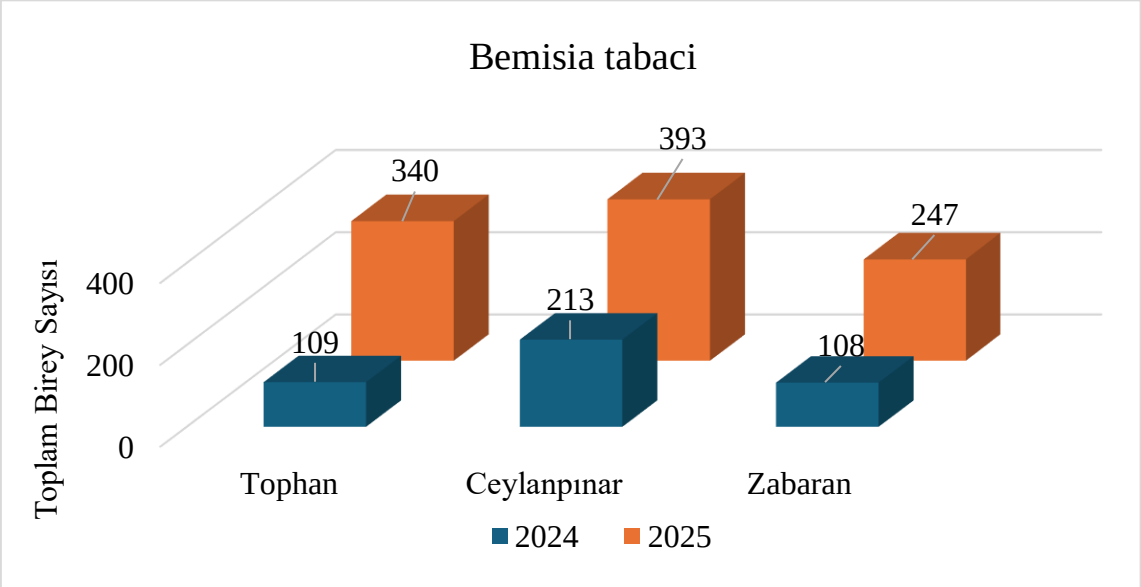
BULGULAR ve TARTIŞMA

Harran Ovası koşullarında 2024-2025 yıllarında farklı patlıcan genotip ve çeşitlerinde *B. tabaci* ve *Empoasca* spp. konukçu tercihlerini belirlemek amacıyla yürütülen bu çalışmada elde edilen sayım sonuçları çizelge 1'de verilmiştir.

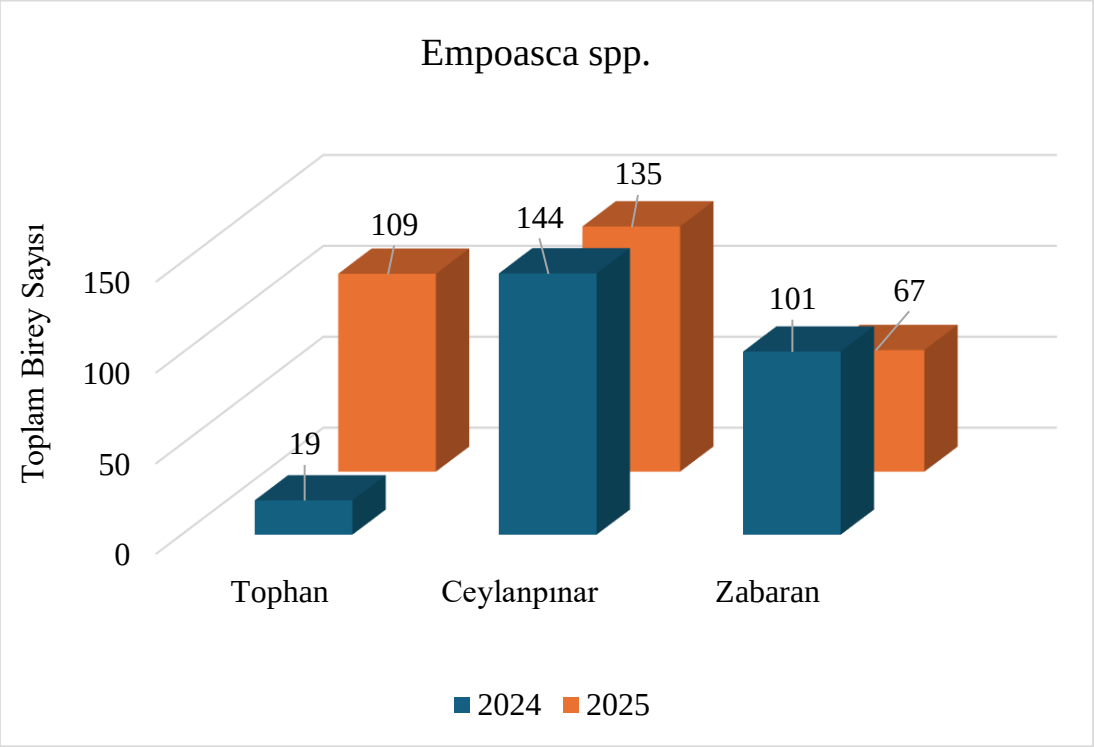
Çizelge 1: *Bemisia tabaci* ve *Empoasca* spp.'nin farklı patlıcan genotip ve çeşitlerindeki popülasyon yoğunluğu

					B. tabaci					
		2024						**2025**		
	Alt	**Orta**	**Üst**	**Toplam**			**Alt**	**Orta**	**Üst**	**Toplam**
Tophan	56	34	19	109		**Tophan**	205	97	38	340
Ceylanpınar	92	77	44	213		**Ceylanpınar**	185	152	56	393
Zabaran	48	33	27	108		**Zabaran**	134	86	27	247
					***EMPOASCA* spp.**					
		2024						**2025**		
	Alt	**Orta**	**Üst**	**Toplam**			**Alt**	**Orta**	**Üst**	**Toplam**
Tophan	8	6	5	19		**Tophan**	61	38	10	109
Ceylanpınar	63	50	31	144		**Ceylanpınar**	62	54	19	135
Zabaran	49	31	21	101		**Zabaran**	36	27	4	67

Çizelge 1 incelendiğinde genotip ve çeşitlerdeki popülasyon oranının yıllar arasında belirgin bir farklılık gösterdiği belirlenmiştir. *B. tabaci* popülasyon verilerine göre 2024 yılında genotip ve çeşitlerde toplam 430 ergin görülürken; 2025 yılında bu rakamın 980 olduğu tespit edilmiştir (Şekil 2). *Empoasca* spp. için bu verinin 2024 yılı için 264; 2025 yılı için 311 olduğu görülmüştür (Şekil 3).

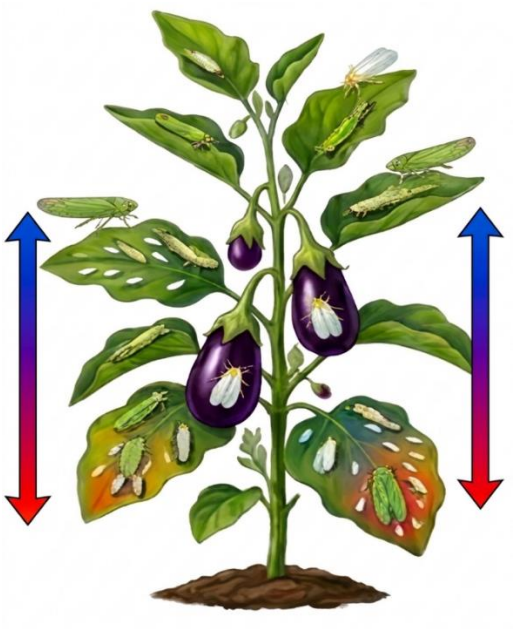


Şekil 2: *Bemisia tabaci*'nin patlıcan genotip ve çeşitlerinde yıllara göre dağılımları



Şekil 3: *Empoasca* spp.'nin patlıcan genotip ve çeşitlerinde yıllara göre dağılımları

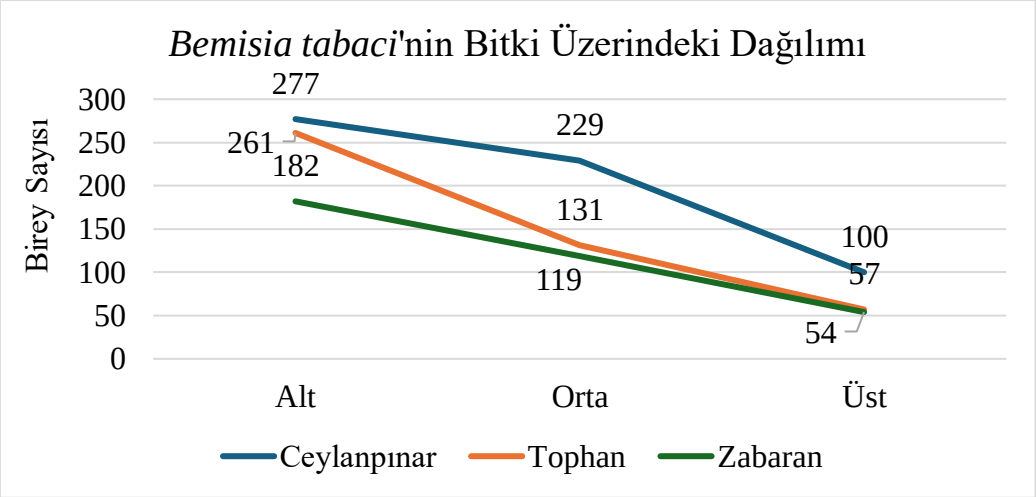
Araştırma kapsamında gerek *B. tabaci'nin* gerekse de *Empoasca* spp.'nin bitki üzerinde dikey dağımı analiz edildiğinde, yoğunluğun, bitki katmanları arasında belirgin olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4).



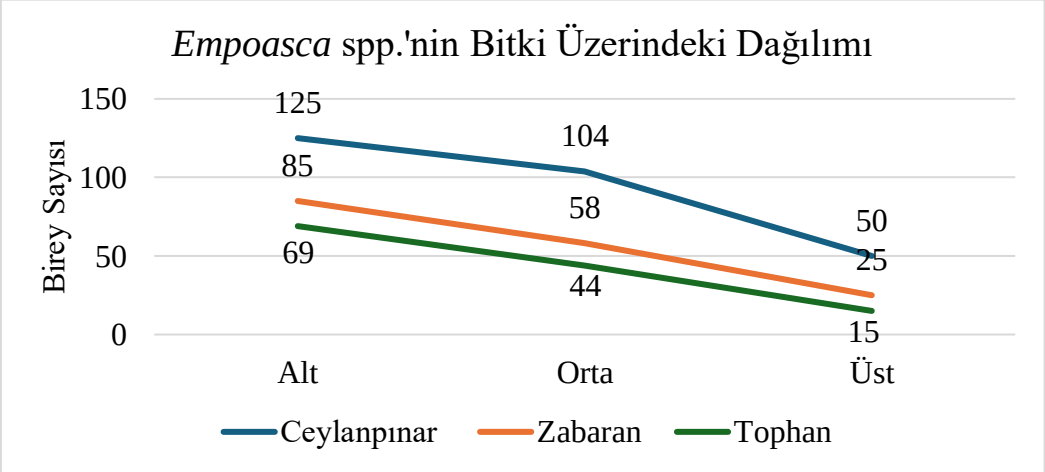
Şekil 4: *Bemisia tabaci* ve *Empoasca* spp.'nin bitki üzerindeki dağılımı

Alt yapraklardan üst yapraklara doğru çıkıldıkça birey sayısında kademeli ve keskin bir azalış saptanmış; bu dikey dağılım karakteristiği özellikle popülasyon yoğunluğunun arttığı 2025 yılında daha belirgin hale gelmiştir (Şekil 5; Şekil 6). 2025 yılı verilerine göre Tophan çeşidinde alt yapraklarda 205 *B. tabaci ergini* tespit edilirken, bu rakam üst yapraklarda 38 bireye kadar düşmüştür. Elde edilen veriler doğrultusunda *B. Tabaci*' nin en az tercih ettiği çeşidin Zabaran; *Empoasca* spp.'nin en az tercih ettiği çeşidin ise Tophan olduğu görülmüştür.

Her iki yılda da Ceylanpınar genotipi her iki zararlının en fazla tercih ettiği patlıcan olmuştur.



Şekil 5: *Bemisia tabaci*'nin bitki üzerindeki dağılımı



Şekil 6: *Empoasca* spp.'nin bitki üzerindeki dağılımı

SONUÇLAR

Bemisia tabaci ve *Empoasca* spp.'nin farklı patlıcan genotip ve çeşitlerine yönelik tercih durumunu ortaya koymak adına 2024-2025 üretim sezonunda yürütülen bu çalışmada söz konusu zararlıların gerek genotip ve çeşit tercihleri gerekse de bitki üzerindeki dağılım modülleri ortaya konmuştur. Elde edilen bulgular, zararlıların Tophan, Zabaran ve Ceylanpınar patlıcanlarındaki dikey dağılımlarının homojen olmadığı; hepsi için popülasyon yoğunluğunun alt yapraklarda, bitkinin diğer aksamlarından daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Çeşitler ve genotip arasındaki dağılımlara bakıldığında en yüksek popülasyon yoğunluğunun her iki zararlı için de Ceylanpınar genotipinde olduğu; buna karşın Zabaran çeşidinin *B. tabaci* için her iki yılda da en düşük popülasyonu barındırarak nispeten daha dirençli bir profil sergilediği görülmüştür.

Yıllara göre popülasyon dağılımına bakıldığında *B. tabaci* popülasyon yoğunluğunun bütün genotip ve çeşitlerde ikinci yılda artış gösterdiği; *Empoasca* spp.'nin ise yalnızca Tophan çeşidinde artmış olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bu veri zararlıların patlıcanla bulaşıklığının belirlenmesi amacıyla yapılan kontrollerde göz önünde bulundurulmasının elzem olduğunu kanıtlamaktadır. Ayrıca, mücadele yapılırken dikey dağılım durumlarına göre mücadele alet ve ekipmanının tercih edilmesi de önem arz etmektedir.

KAYNAKÇA

DAUNAY M.C . and JANİCK, J., 2007. History and ıconography of eggplant. Chremica hortıculturae, 47 (3) 16-22.

FAO, 2024. Food and Agriculture Organization of the United Nations. World Food and Agriculture - Statistical Yearbook 2023/24. Rome.

LESTER R.N., 1998. Genetic resources of capsicum and eggplants. Xth eucarpıa meeting on Genetic and Breeding of Capsicum and Eggplant. 25-30, Avignon, France.

TÜİK, 2025. Türkiye İstatistik Kurumu. Bitkisel Üretim İstatistikleri, 2025 verileri. Ankara.

STOMMEL, J.R. and WHİTAKER, B.D., 2003. Phenolic acid composition of eggplant fruit in a germplasm core subset Journal of the American Society for Horticultural Science, 128, 704–710.

SAVVAS, D. and LENZ, F., 1996. Influence of nacl concentration in the nutrient solution on mineral composition of eggplants grown in sand culture. Angewandte botanik, 70, 124–127

RAPESEED GENOTYPES UNDER CONTRASTING WATER REGIMES: A FIELD SELECTION

Abdelghani BOUCHYOUA
Research Unit of Plant Breeding and Plant Genetic Resources Conservation, Regional Agricultural Research Center of Meknes, National Institute of Agricultural Research, Rabat, Morocco; Laboratory of Natural Resources and Environment, Polydisciplinary Faculty of Taza, Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Taza, Morocco.

Abdelmajid KHABBACH
Biotechnology, Environment, Agri-Food and Health Laboratory, Faculty of Sciences Dhar El Mahraz, Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Fez, Morocco.

Laila OUARDI
Research Unit of Plant Breeding and Plant Genetic Resources Conservation, Regional Agricultural Research Center of Meknes, National Institute of Agricultural Research, Rabat, Morocco.

Khalil HAMMANI
Laboratory of Natural Resources and Environment, Polydisciplinary Faculty of Taza, Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Taza, Morocco.

Abdelghani NABLOUSSI
Research Unit of Plant Breeding and Plant Genetic Resources Conservation, Regional Agricultural Research Center of Meknes, National Institute of Agricultural Research, Rabat, Morocco.

Abstract
Rapeseed (*Brassica napus* L.), a major oilseed crop in semi-arid Mediterranean regions, suffers severe yield losses from recurrent drought. This study assessed physiological, biochemical, phenological, morphological, and agronomic responses of 17 rapeseed genotypes under contrasting water availability to select adapted, high-performing genotypes. Multi-year trials (2023–2025) at two contrasting Moroccan locations (irrigated vs. rainfed, randomized complete block design, three replications) showed water regime as the predominant source of variation it significantly reduced chlorophyll content, stomatal conductance, vegetative growth, yield components, seed yield, and oil productivity, while increasing proline and total soluble sugars (osmotic adjustment). Principal component analysis (62.7% of total variation) classified genotypes into three groups Group 1 ('Nap9', 'Marina', 'Moufida', 'Redana', 'TP2') combined high seed and oil content with chlorophyll retention, sustained gas exchange, osmoprotectant accumulation, and favorable STI and YSI indices; Group 3 ('H2M-5', 'IND82', 'IND23', 'Nap10', 'Traper') was highly sensitive with low productivity; Group 2 was intermediate. STI correlated strongly with seed yield, oil content, SPAD, and stomatal conductance, confirming it as a reliable integrative drought-tolerance indicator. Thus, 'Nap9', 'Moufida', and 'TP2' are promising resources for drought-oriented breeding in water-limited Mediterranean environments.
Keywords: *Brassica napus* L.; drought tolerance; Mediterranean region; osmotic adjustment; principal component analysis; stress tolerance indices

DIGITAL FINANCIAL SERVICES ADOPTION AND AGRICULTURAL PRODUCTIVITY AMONG SMALLHOLDER FARMERS IN KWARA STATE, NIGERIA: IMPLICATIONS FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

Matthew Durojaiye AYENI
Department of Agricultural Economics, College of Sciences, Afe Babalola University, Ado-Ekiti, Nigeria.

Ibukun Elizabeth OJO
Department of Agricultural Extension and Rural Development, College of Agricultural Sciences, Landmark University, Omu-Aran, Nigeria.

E. A. KOLAWOLE
Department of Agricultural Extension and Rural Development, College of Agricultural Sciences, Landmark University, Omu-Aran, Nigeria.

O. A. OLUWADARE
Department of Agricultural Economics and Farm Management, College of Agriculture, University of Ilorin, Ilorin, Nigeria.

ABSTRACT
The rationale behind this research is the possibility that through DFS, agricultural productivity can be increased, thus contributing to progress towards the achievement of SDGs 1 (no poverty), 2 (zero hunger), and 8 (decent work and economic growth) along the value chain of agriculture. Using a sample of 320 smallholder farmers selected through stratified random sampling, the current study investigates the use of DFS and its impact on farm productivity in Kwara State, Nigeria. Data were collected using structured questionnaires, and bias in the sample selection was controlled for using logistic regression, descriptive statistics, and endogenous switching regression (ESR) analysis. As revealed by the results of the study, 48.4% of respondents have used DFS mainly for agent banking and mobile money services. DFS adoption was significantly shaped by the household head's education ($\beta = 0.412$, $p < 0.01$), family income ($\beta = 0.319$, $p < 0.05$), access to extension services ($\beta = 0.387$, $p < 0.05$), and distance to the nearest bank agent ($\beta = -0.284$, $p < 0.05$), with the last of these working in the opposite direction to the others. As reported by the ESR analysis, the adopted farmers' farm output value was 28.6% higher and their input utilisation efficiency was 22.4% higher than that of the non-adopted ones. The results contribute to the policy on technology-based agricultural reforms in Kwara State and highlight the importance of fintech-based agricultural financing in achieving sustainability in Nigeria's insecure areas

GREEN HYDROGEN PRODUCTION IN WATER-SCARCE REGIONS: WATER DEMAND, DESALINATION, AND IMPLICATIONS FOR AGRICULTURAL WATER SECURITY

Zineb DAHMOUCH
Laboratory of Spectroscopy, Molecular Modeling, Materials, Nanomaterials, Water and Environment, Faculty of Science, CERNE2D, Mohammed V University in Rabat, Rabat, Morocco.
ORCID ID: 0009-0001-0045-3750

Driss AZDEM
Laboratory of Spectroscopy, Molecular Modeling, Materials, Nanomaterials, Water and Environment, Faculty of Science, CERNE2D, Mohammed V University in Rabat, Rabat, Morocco.
ORCID ID: 0009-0008-5691-5249

Abstract
While still in the early stages of development, green hydrogen is growing rapidly. To be produced by electrolysis, hydrogen production needs high quality water which in arid and semi-arid regions with high potentials for renewable energy may already be under pressure. In agricultural areas the question therefore arises whether with increasing production of hydrogen by electrolysis more water will be needed for production or even become a limiting factor for existing uses of water for irrigation and food production. This review summarizes recent scientific studies on water use of electrolytic hydrogen production as well as consequences of large scale production in water-scarce regions of the world. Besides an overview of available desalination methods for production of hydrogen from seawater, the focus is on the water-energy-food (WEF) nexus as well as on studies on water allocation between new hydrogen production sites and existing agricultural water use. While in theory the production of 1 kg of H_2 requires about 9 l of water (H_2O) for the actual process of electrolysis, in practice much more water is required, depending on many factors, such as local water abundance, season, production scale and type of water used. Recent studies indicate that large scale production of hydrogen by electrolysis can even increase pressure on the use of already stressed freshwater resources in basins, especially if agricultural water use is very dependent on water. Seawater desalination, and reverse osmosis in particular, is a technically established method for the production of hydrogen from coastal sources of energy to avoid additional pressure on fresh water resources. However, application of desalination for hydrogen production also implies additional energy use, treatment of returning brine streams and specific location constraints. Also treated wastewater and brackish water can be used as alternative sources of water for hydrogen production. Consequently, water demand has to be included in the planning of hydrogen production from the very beginning, instead of being considered as a later operational requirement. When planning hydrogen production in water-scarce regions, hydrogen production projects have to be assessed on the basis of local water stress as well as of agricultural water use and alternative non-conventional resources of water for production. Only this type of assessment can prevent that large scale low-carbon hydrogen production will even further put pressure on agricultural water use and security.
Keywords: Green Hydrogen; Water Scarcity; Desalination; Agricultural Water Security; Water-Energy-Food Nexus.

CLIMATE-DRIVEN SHIFTS IN SEAFOOD-BORNE VIBRIO RISK: A SYSTEMATIC REVIEW OF WARMING WATERS AND CHANGING FOODBORNE ILLNESS PATTERNS

Fateme ASADI TOURANLOU
Division of Food Safety and Hygiene, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Mobina MOSHIRIAN
Department of Nutrition, Faculty of Medicine, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran.

Abstract
Rising sea surface temperatures are altering the geographic range and seasonal window of Vibrio species, historically associated with warm coastal waters, leading to seafood-borne illness outbreaks in previously unaffected regions such as the Baltic and North Seas. Despite this documented expansion, food safety literature has not yet consolidated evidence on how climate-driven changes are reshaping seafood contamination patterns and risk management needs.
This review aims to systematically synthesize current evidence on climate-associated shifts in Vibrio prevalence in seafood and coastal waters, and their implications for foodborne illness risk and seafood safety management. A structured search was conducted across PubMed, Scopus, Web of Science, and ScienceDirect for publications from 2015 to 2026, using keywords related to Vibrio, climate change, seafood safety, ocean warming, and foodborne illness.
Findings indicate that warming waters are extending Vibrio seasonal activity windows, expanding geographic range into temperate regions, and increasing concentrations in shellfish harvesting areas. Existing seafood safety monitoring and harvest closure systems, largely calibrated to historical temperature and geographic risk zones, may be insufficiently responsive to these shifting patterns, particularly in newly affected regions lacking established surveillance infrastructure.
By consolidating climate science and food safety literature, this review offers novel insight into the changing epidemiology of Vibrio-related seafood risk and proposes a research agenda for climate-adaptive seafood safety monitoring and early warning systems.
Keywords: *Vibrio; climate change; seafood safety; ocean warming; foodborne illness*

EXTENDED PRODUCER RESPONSIBILITY AND FOOD-CONTACT PACKAGING SAFETY: A SYSTEMATIC REVIEW OF RECYCLED AND BIO-BASED MATERIAL MIGRATION RISKS

Fateme ASADI TOURANLOU
Division of Food Safety and Hygiene, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Mobina MOSHIRIAN
Department of Nutrition, Faculty of Medicine, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran.

Abstract
Global regulatory efforts toward circular economy principles are accelerating the shift toward recycled and bio-based materials in food-contact packaging, driven by policies such as the EU Packaging and Packaging Waste Regulation. However, the migration behavior of chemical contaminants, mineral oil residues, and novel bio-based polymer additives into food remains poorly characterized compared to conventional virgin plastic packaging.
This review aims to systematically synthesize current evidence on chemical migration risks associated with recycled-content and bio-based food packaging materials, and to evaluate the adequacy of existing regulatory testing frameworks. A structured search was conducted across PubMed, Scopus, Web of Science, and ScienceDirect for publications from 2017 to 2026, using keywords related to food packaging migration, recycled plastics, bio-based materials, and food contact safety.
Findings indicate that recycled plastics can carry residual contaminants from prior use cycles, including mineral oils and non-intentionally added substances, while bio-based polymers introduce novel additives and degradation byproducts with limited toxicological characterization. Current migration testing protocols, largely developed for virgin materials, may inadequately capture these emerging risk profiles, creating gaps between policy-driven material transitions and food safety assurance.
By integrating packaging science, toxicology, and food safety literature, this review offers novel insight into migration risks specific to sustainable packaging transitions and proposes a research agenda for updated testing protocols and regulatory frameworks that keep pace with circular economy policy.
Keywords: *food packaging migration; recycled plastics; bio-based materials; food contact safety; circular economy*

FOOD SAFETY RISKS OF 3D-PRINTED AND PERSONALIZED NUTRITION FOODS: A SYSTEMATIC REVIEW OF EMERGING HYGIENE AND REGULATORY CHALLENGES

Fateme ASADI TOURANLOU
Division of Food Safety and Hygiene, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Mobina MOSHIRIAN
Department of Nutrition, Faculty of Medicine, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran.

Abstract
3D food printing is rapidly transitioning from a novelty technology to a viable tool for personalized nutrition, including modified-texture diets for elderly and dysphagic populations, sports nutrition, and space food applications. However, the food safety implications of layer-by-layer extrusion, extended dwell times at ambient or near-ambient temperatures, and reusable printer components remain largely unexamined compared to conventional food processing methods.
This review aims to systematically synthesize current evidence on microbiological and hygiene risks associated with 3D food printing, including printer cleaning protocols, ingredient cartridge shelf-life, and cross-contamination pathways. A structured search was conducted across PubMed, Scopus, Web of Science, and ScienceDirect for publications from 2016 to 2026, using keywords related to 3D food printing, additive manufacturing, food safety, and personalized nutrition.
Findings indicate that key risk points include microbial growth during extended printing and post-printing hold times, biofilm formation on printer nozzles and cartridges, and inconsistent decontamination practices between print runs. Regulatory guidance specific to 3D-printed food remains virtually absent, with most existing food safety standards designed for conventional processing lines rather than additive manufacturing.
By consolidating this nascent and fragmented literature, this review offers novel insight into the distinct hygiene challenges of 3D food printing and proposes a research agenda for developing food-safety-specific design standards and cleaning protocols for printer hardware and personalized nutrition applications.
Keywords: *3D food printing; additive manufacturing; food safety; personalized nutrition; hygiene*

CHEMICAL APPROACHES TO ADDRESSING THE INSTABILITY AND TOXICITY OF PEROVSKITE BASED THIN FILMS SOLAR CELLS

Asst. Prof. Subhasis ROY
Department of Chemical Engineering, University of Calcutta, Kolkata, India.

ABSTRACT

The present research work deals with the advancement of thin film-based perovskite solar cells by considering the most crucial factors including degradation, instability, and toxicity, which are undesirable for perovskite photovoltaic technology. In this research work, we have
successfully fabricated lead (Pb)-replaced and Pb-free perovskite solar cells at ambient conditions and developed a new fabrication route for highly-efficient and air-stable perovskite solar cells. The carcinogenic Pb has been replaced by non-toxic tin (Sn) at ambient conditions under excess chlorine (Cl)-rich system to minimized the degradation tendency of Pb-free perovskite solar cells. The Pb-replaced perovskite solar cells have been further annealed at different annealing conditions to investigated the effect of annealing temperatures on the photovoltaic performances which led to the formation of nanostructured-perovskite solar cells.
The investigation showed that the formation of nanostructures is a function of annealing temperatures. The thermal engineering study under excess Cl-rich system have shown positive influences on the stability, surface morphology, structural crystallinity, optical properties, and photovoltaic performance of Pb-replaced perovskite solar cells. The density functional theory (DFT) also performed to investigated the electron distribution phenomenon for Pb-free and Pb-replaced perovskite solar cells. The thermal engineering study has influenced to develop a new fabrication route called dual-step thermal engineering technique for developing a highly-efficient and stable methylammonium lead iodide ($CH_3NH_3PbI_3$)-based perovskite solar cells at ambient conditions. The detail investigation has shown that newly developed dual-step thermal engineering technique is potential over the conventional one-step spin coating method as the new method exhibited remarkable improvement in efficiency and stability of perovskite solar cells. All the perovskite thin films and photovoltaic devices were explored extensively by different characterization techniques along with Rietveld refinement simulation study using FullProf. software to understand the fundamentals of perovskite's crystalline structure.

INVENTORY OF MEDICINAL PLANTS IN THE AZAZGA REGION (TIZI-OUZOU)

Thoraya DAHMANE
Department of Agronomic Sciences, Faculty of Natural and Life Sciences and Earth Sciences, Djilali Bounaama University, Khemis Miliana, Algeria; Water, Rock and Plants Laboratory, Djilali Bounaama University, Khemis Miliana, Algeria; Laboratory of Soft Technologies, Valorization, Physico-Chemistry of Biological Materials and Biodiversity, M'hamed Bougara University, Boumerdes, Algeria.
ORCID ID: 0000-0003-1841-5303

Zakia KACI
Department of Agronomic Sciences, Faculty of Natural and Life Sciences and Earth Sciences, Djilali Bounaama University, Khemis Miliana, Algeria; Water, Rock and Plants Laboratory, Djilali Bounaama University, Khemis Miliana, Algeria; Laboratory of Soft Technologies, Valorization, Physico-Chemistry of Biological Materials and Biodiversity, M'hamed Bougara University, Boumerdes, Algeria.
ORCID ID: 0009-0002-7679-7629

Ali AROUS
Department of Agronomic Sciences, Faculty of Natural and Life Sciences and Earth Sciences, Djilali Bounaama University, Khemis Miliana, Algeria; Water, Rock and Plants Laboratory, Djilali Bounaama University, Khemis Miliana, Algeria.

Taher KARAHACANE
Department of Agronomic Sciences, Faculty of Natural and Life Sciences and Earth Sciences, Djilali Bounaama University, Khemis Miliana, Algeria.

ABSTRACT
In recent decades, modern scientific research has consistently confirmed the therapeutic virtues of most medicinal plants that have been used empirically for millennia.
This plant-based therapy relies on ancestral empirical knowledge and traditional usage passed down orally through the ages.
Today, this traditional knowledge has become an invaluable source of information for researchers in the pharmaceutical industry. Consequently, physicians, herbalists, and pharmacists are increasingly recognizing the medical value of plants—from which active ingredients are extracted to manufacture medicines—in effectively treating a wide range of disorders and ailments.
Over time, the number of plants utilized has grown, and methods of use have been continuously refined through the progress driven by human experience and ingenuity.
Thanks to its geographical location and climatic diversity, Algeria boasts a remarkable flora that includes numerous plants with diverse medicinal properties.
The Tizi-Ouzou region is known for its floral diversity, and the use of these plants is widespread in traditional medicine; indeed, they play a significant role in the lives of the local population.
To highlight the value of these resources, a survey of medicinal flora was conducted in the Azazga region using a questionnaire. This provided data on taxonomy, geographical distribution, flowering periods, harvesting, botanical descriptions, and therapeutic properties (including plant parts used, bioactive molecules, modes of administration, and therapeutic indications).
The survey enabled us to catalog 87 species belonging to various botanical families and serving diverse therapeutic purposes. It clearly demonstrated the great importance the local population places on medicinal plants and the extent of their use.
Keywords: inventory, medicinal plants, Tizi-Ouzou, Azazga, inventory

BİYOLOJİ ÖĞRETİMİNDE SANAL LABORATUVARLARIN KULLANIMININ ETKİLİLİĞİ

THE EFFECTIVENESS OF USING VIRTUAL LABORATORIES IN BIOLOGY EDUCATION

Mubarak İsmailovna BALTABAYEVA
Principal, No. 3 Talant General Education School, Shymkent, Kazakhstan.

Nurbakit Nursayinkizi KELDIBEK
Master's Student, Chemistry Teacher Education Program, Ö. Zhanibekov South Kazakhstan Pedagogical University, Shymkent, Kazakhstan.

Özet

Bu makalede, biyoloji öğretiminde sanal laboratuvarların kullanımının pedagojik olanakları ve etkililiği ele alınmaktadır. Sanal laboratuvarlar, biyolojik olay ve süreçlerin modellenmesine, karmaşık yapıların görselleştirilmesine ve laboratuvar deneylerinin güvenli bir dijital ortamda gerçekleştirilmesine olanak sağlamaktadır. Araştırmanın amacı, sanal laboratuvar kullanımının öğrencilerin öğrenme materyallerini kavramaları, araştırma becerileri ve öğrenme motivasyonları üzerindeki etkisini bilimsel araştırmalar temelinde belirlemektir.

Araştırmada bilimsel literatürün analizi, karşılaştırılması, sistemleştirilmesi ve sentezlenmesi yöntemleri kullanılmıştır. Ulusal ve uluslararası çalışmaların analizi, sanal laboratuvarların karmaşık biyolojik kavramların görselleştirilmesine, deneylerin tekrarlanmasına ve kavramsal bilginin edinilmesine olanak sağladığını göstermiştir (Byukusenge et al., 2022; Zhang et al., 2021). Gerçek ve sanal deneylerin birlikte kullanılmasının etkililiği de bilimsel araştırmalarla desteklenmektedir (Wörner et al., 2022). Kazakistanlı araştırmacıların kimya öğretiminde VR/AR teknolojilerini kullanma deneyimleri, dijital görselleştirmenin fen bilimleri eğitimindeki pedagojik olanaklarını ortaya koymaktadır (Amirbekova et al., 2024).

Araştırma sonucunda, sanal laboratuvarların geleneksel laboratuvar çalışmalarının yerine geçen bir araç olarak değil, onları tamamlayan dijital bir ortam olarak kullanılmasının etkili olduğu belirlenmiştir. Bilimsel çalışmaların karşılaştırmalı analizi temelinde sanal laboratuvar kullanımına yönelik üç aşamalı bir metodolojik model önerilmiştir: araştırmaya hazırlık, sanal deneyin gerçekleştirilmesi ve sonuçların analizi. Model, teorik bilgiyi uygulamayla ilişkilendirmeyi; hipotez oluşturma, deney yapma, verileri analiz etme ve bilimsel sonuçlara ulaşma becerilerini geliştirmeyi amaçlamaktadır.

Anahtar kelimeler: biyoloji öğretimi, sanal laboratuvar, dijital teknoloji, sanal gerçeklik, laboratuvar çalışması, görselleştirme, araştırma becerisi, öğrenme çıktısı.

Ana Bölüm

Günümüz eğitim sistemindeki dijital dönüşüm, yalnızca öğretim içeriğinde değil, aynı zamanda öğrencilerin öğrenme ve araştırma faaliyetlerinin düzenlenme biçimlerinde de değişikliklere yol açmaktadır. Dijital kaynaklar, etkileşimli modeller, simülasyonlar, sanal ve artırılmış gerçeklik teknolojileri fen bilimleri öğretiminde giderek daha yaygın biçimde kullanılmaktadır. Bu teknolojilerden biri de sanal laboratuvardır.

Biyoloji dersinin temel özelliklerinden biri, teorik bilgi ile uygulamalı etkinlik arasındaki sıkı ilişkidir. Biyolojik bilgiyi öğrenme sürecinde öğrencilerin canlı organizmaları gözlemlemeleri, bunların yapı ve işlevlerini karşılaştırmaları, deney yapmaları, elde edilen sonuçları analiz etmeleri ve bilimsel sonuçlara ulaşabilmeleri gerekmektedir. Bu nedenle laboratuvar ve uygulama çalışmaları biyoloji öğretiminin önemli bir bileşenidir.

Ancak geleneksel laboratuvar çalışmalarını düzenlemek her zaman mümkün olmayabilir. Gerekli araç-gereç ve biyolojik materyallerin yetersizliği, deneylerin gerçekleştirilmesi için gereken süre, güvenlik gereklilikleri, bazı biyolojik süreçlerin uzun sürmesi veya bu süreçlerin normal koşullarda doğrudan gözlemlenmesinin güç olması bu durumu etkileyen faktörler arasındadır. Örneğin hücre içi süreçlerin, moleküler-genetik mekanizmaların, fizyolojik değişimlerin veya mikroorganizmaların faaliyetlerinin öğrencilere yalnızca metinsel açıklamalar yoluyla aktarılması, bu süreçlerin tam olarak anlaşılmasını güçleştirebilir.

Sanal laboratuvar, söz konusu sorunların bir kısmının çözülmesine olanak sağlamaktadır. Bilgisayar modelleri veya dijital simülasyonlar aracılığıyla deneyin temel aşamalarının gerçekleştirilmesine, deney koşullarının değiştirilmesine, sonuçların gözlemlenmesine ve deneyin birden fazla kez tekrarlanmasına imkân tanımaktadır. Böyle bir ortamda öğrenci yalnızca hazır bilgiyi alan kişi değil, belirli parametreleri değiştirerek elde edilen sonuçları karşılaştıran aktif bir araştırmacı olarak hareket etmektedir.

Biyoloji öğretiminde sanal laboratuvarların kullanımının etkililiği uluslararası bilimsel araştırmalarda ele alınmıştır. Yapılan literatür incelemelerinde sanal laboratuvarların biyolojinin farklı alanlarındaki kullanımı analiz edilmiştir. Araştırmalar, sanal laboratuvarların hücresel ve moleküler biyoloji, genetik, mikrobiyoloji, biyoteknoloji ve diğer karmaşık konuların öğretiminde kullanıldığını göstermektedir. Ayrıca bu tür teknolojilerin öğrencilerin biyolojik kavramları öğrenmeleri, uygulamalı etkinlikleri, motivasyonları ve derse yönelik tutumları üzerinde olumlu etkiler oluşturabileceği belirtilmektedir (Byukusenge et al., 2022).

Sanal laboratuvarların fen bilimleri eğitimindeki kullanım kapsamı da bilimsel araştırmalarda sistematik olarak incelenmiştir. 2013–2022 yılları arasında Web of Science veri tabanında yayımlanan çalışmaların analizi temelinde, sanal laboratuvarların fen bilimleri derslerinde kullanımına ilişkin temel yönelimler sistemleştirilmiştir. Araştırma sonuçları, sanal laboratuvarların akademik başarı, bilginin edinilmesi ve öğrencilerin öğrenme sürecine katılımı üzerindeki etkisinin belirlenmesinin uluslararası araştırmaların önemli konularından biri olduğunu göstermektedir (Doruk & Sarıkaya, 2023).

Sanal laboratuvarların etkililiği fizyoloji öğretimi açısından da özel olarak incelenmiştir. Sanal fizyoloji laboratuvarlarının etkililiğine ilişkin sistematik bir derlemede 11 araştırmanın sonuçları analiz edilmiştir. Araştırma sonucunda, sanal laboratuvarların öğrencilerin kavramsal bilgilerini geliştirmede etkili olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, öğrenme motivasyonu ve teknik laboratuvar becerilerinin geliştirilmesine ilişkin bilimsel bulguların tutarlı olmadığı ortaya konmuştur. Bu nedenle sanal laboratuvarların gerçek laboratuvar deneylerinin tamamen yerine geçen bir araç olarak değerlendirilmemesi gerekmektedir (Zhang et al., 2021).

Bu bağlamda sanal ve geleneksel laboratuvar çalışmalarının bir arada kullanılması önem taşımaktadır. Fen bilimleri eğitiminde gerçek ve sanal deneylerin birleştirilmesine yönelik 42 deneysel çalışmayı kapsayan sistematik bir derleme, çoğu durumda bu iki deney türünün birlikte kullanılmasının öğrencilerin bilimsel kavramları anlamaları üzerinde olumlu etkiler oluşturduğunu göstermektedir. Bu bulgu, biyoloji derslerinde "geleneksel laboratuvar mı yoksa sanal laboratuvar mı?" şeklinde bir tercih yapmak yerine, her iki yaklaşımın olanaklarının birbirini tamamlayacak biçimde kullanılmasının daha uygun olduğunu ortaya koymaktadır (Wörner et al., 2022).

Kazakistan eğitim sisteminde de sanal teknolojilerin fen bilimleri öğretimindeki olanakları araştırılmaktadır. Kimya öğretiminde Virtual Reality (VR) ve Augmented Reality (AR) teknolojilerinin görselleştirme aracı olarak kullanımının etkililiği deneysel olarak incelenmiştir. Araştırmada VR/AR teknolojilerinin öğrencilerin öğrenme motivasyonu, kendini gerçekleştirme ve öz yönetim gibi göstergelerle ilişkisi değerlendirilmiştir (Amirbekova et al., 2024).

Amirbekova ve çalışma arkadaşlarının araştırması kimya dersine yönelik olmakla birlikte, çalışmanın metodolojik sonuçları biyoloji öğretimi açısından da önem taşımaktadır. Çünkü her iki derste de öğrencilerin doğrudan gözlemleyemediği veya mekânsal açıdan karmaşık olan yapılar ve süreçler bulunmaktadır. Biyolojide hücrenin üç boyutlu yapısı, DNA molekülünün yapısı, hücre bölünmesi, kan dolaşımı, solunum sistemi ve sinir impulsunun iletimi gibi süreçlerin sanal modeller aracılığıyla gösterilmesi, bu yapıların işlevleriyle olan ilişkilerinin görsel olarak açıklanmasına olanak sağlamaktadır (Amirbekova et al., 2024; Byukusenge et al., 2022).

Bu çalışmaların karşılaştırılması, sanal laboratuvarların etkililiğinin yalnızca teknolojinin kullanılmasına bağlı olmadığını göstermektedir. Pedagojik sonuçlar; sanal görevlerin öğrenme hedefleriyle uyumuna, öğretmenin metodolojik düzenlemesine, öğrencilere sunulan araştırma görevlerine ve sanal deney sonrasında elde edilen sonuçların tartışılmasına bağlıdır. Bu nedenle sanal laboratuvarlar, biyoloji derslerinde yalnızca görsel bir araç veya dijital gösterim olarak değil, öğrencilerin araştırma faaliyetlerini düzenleyen pedagojik bir araç olarak kullanılmalıdır (Byukusenge et al., 2022; Rosli & Ishak, 2024; Wörner et al., 2022).

Tablo 1 – Sanal laboratuvarların kullanım etkililiğine ilişkin araştırmaların karşılaştırılması

Yazarlar	Araştırma alanı	Temel sonuç	Biyoloji öğretimi açısından önemi
Byukusenge et al. (2022)	Biyolojide sanal laboratuvarlara ilişkin literatür incelemesi	Sanal laboratuvarlar kavramsal anlamayı, uygulamalı becerileri, motivasyonu ve derse yönelik tutumu olumlu yönde etkileyebilir	Genetik, hücresel ve moleküler biyoloji, mikrobiyoloji gibi konuların öğretiminde kullanılabilir
Zhang et al. (2021)	Sanal fizyoloji laboratuvarlarına ilişkin sistematik derleme	Kavramsal bilginin edinilmesinde etkili olduğu görülmektedir; teknik ve uygulamalı becerilere ilişkin sonuçlar ise tutarlı değildir	Sanal laboratuvarların gerçek uygulamalı çalışmalarla birlikte kullanılması gerektiğini göstermektedir
Wörner et al. (2022)	Gerçek ve sanal deneylerin birleştirilmesine ilişkin sistematik derleme	Gerçek ve sanal deneylerin birlikte kullanılmasının öğrenme üzerinde olumlu etki oluşturduğu koşullar belirlenmiştir	Biyolojide karma laboratuvar öğretim modelinin kullanılmasına bilimsel temel sağlamaktadır
Amirbekova et al. (2024)	Kimya öğretiminde VR/AR teknolojilerinin görselleştirme aracı olarak kullanılması	VR/AR aracılığıyla karmaşık bilimsel içeriğin görselleştirilmesinin eğitsel olanakları ortaya konmuştur	Biyolojik yapı ve süreçlerin 3D ve sanal ortamlarda açıklanmasına metodolojik temel sağlamaktadır

Not: Amirbekova ve çalışma arkadaşlarının araştırması doğrudan biyolojiye değil, kimya öğretimine yöneliktir. Bu nedenle söz konusu çalışma, biyoloji alanında deneysel bir kanıt olarak değil, fen bilimleri derslerinde VR/AR teknolojilerinin kullanımına ilişkin metodolojik bir deneyim olarak değerlendirilmelidir.

Tabloda yer alan araştırmaların karşılaştırılması, sanal laboratuvarların temel avantajlarının karmaşık bilimsel olayların görselleştirilmesi ve öğrencilere deneyleri birden fazla kez gerçekleştirme olanağı sunması olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, sanal ortamın etkililiği, dersin didaktik amaçlarına ne ölçüde doğru biçimde entegre edildiğine bağlıdır. Özellikle biyoloji öğretiminde sanal laboratuvarların gerçek laboratuvar çalışmalarının tamamen yerine kullanılmasından ziyade, her iki yaklaşımın birbirini tamamlayacak biçimde düzenlenmesi önemlidir (Zhang et al., 2021; Wörner et al., 2022).

Tablo 2 – Biyoloji derslerinde sanal laboratuvarların kullanım olanakları

Biyoloji konusu	Sanal laboratuvarda gerçekleştirilen etkinlik	Geliştirilen beceri
Hücrenin yapısı	Hücre yapısının sanal model aracılığıyla incelenmesi, organellerin belirlenmesi	Gözlem, karşılaştırma, yapı ile işlev arasında ilişki kurma
Mitoz ve mayoz	Hücre bölünmesinin aşamalarının modellenmesi ve sıralarının belirlenmesi	Süreci analiz etme, aşamaları karşılaştırma
Genetik	Genetik çaprazlamaların modellenmesi, özelliklerin kalıtımının gözlemlenmesi	Tahminde bulunma, sonuçları analiz etme, çıkarım yapma
Mikrobiyoloji	Mikroorganizmaların yapı ve yaşamsal faaliyetlerinin sanal ortamda gözlemlenmesi	Gözlem, sınıflandırma, karşılaştırma
İnsan fizyolojisi	Dolaşım, solunum ve sinir sistemlerinin işleyişinin modellenmesi	Neden-sonuç ilişkilerini belirleme
Ekoloji	Ekosistemdeki faktörlerin değiştirilerek bunların popülasyon üzerindeki etkilerinin modellenmesi	Verileri analiz etme, tahminde bulunma
Biyoteknoloji	Genetik ve biyoteknolojik süreçlerin aşamalarının modellenmesi	Algoritmayı anlama, bilimsel bilgiyi analiz etme

Bu tabloda yer alan görevler, belirli bir araştırmadan doğrudan alınmış deneysel sonuçlar değil, yukarıda incelenen sanal laboratuvarların olanakları temelinde oluşturulmuş yazarlara ait metodolojik bir sistemleştirmedir**.** Bu tür görevlerde sanal laboratuvar, öğrencinin yalnızca biyolojik bir nesneyi gözlemlemesiyle sınırlı kalmamalı; deney koşullarını değiştirmesine, tahminde bulunmasına ve elde edilen sonuçları açıklamasına olanak sağlamalıdır.
Örneğin genetik konusunda öğrenciye hazır bir genetik problemi çözmenin yanı sıra, ebeveyn bireylerin genotiplerini sanal ortamda değiştirerek yavrulardaki özelliklerin dağılımını gözlemleme görevi verilebilir. Ekoloji konusunda ise sıcaklık, besin miktarı veya diğer faktörler değiştirilerek popülasyon büyüklüğündeki değişimler gözlemlenebilir. Bu tür görevler, öğrencinin yalnızca "ne oldu?" sorusuyla sınırlı kalmayıp "neden değişti?" ve "koşullar değişirse sonuç nasıl olur?" gibi araştırma sorularına yanıt aramasına yöneliktir.

Tablo 3 – Geleneksel ve sanal laboratuvar çalışmalarının olanaklarının karşılaştırılması

Gösterge	**Geleneksel laboratuvar çalışması**	**Sanal laboratuvar çalışması**
Gerçek araç ve gereçlerle çalışma	Yüksek	Sınırlı
Biyolojik nesnelerle doğrudan çalışma	Var	Model veya simülasyon aracılığıyla
Deneyin birden fazla kez tekrarlanması	Materyal ve zamana bağlı	Tekrar gerçekleştirme olanağı yüksektir
Güvenlik	Güvenlik kurallarına sıkı biçimde uyulması gerekir	Tehlikeli deneyler dijital ortamda modellenebilir
Karmaşık süreçlerin görselleştirilmesi	Bazı durumlarda sınırlı	Yüksek düzeyde olanak sağlar
Deney parametrelerinin değiştirilmesi	Zaman ve kaynaklara bağlı	Hızlı biçimde değiştirilerek sonuçlar karşılaştırılabilir
Uygulamalı manipülasyon becerisi	Yüksek	Gerçek araçlarla çalışma becerisini tam olarak geliştirmez
Ders dışında kullanım	Laboratuvara bağlı	Teknik erişim olanakları bulunduğunda kullanılabilir

Not: Tablo, Zhang et al. (2021), Byukusenge et al. (2022) ve Wörner et al. (2022) çalışmalarında yer alan bulguların sentezlenmesi temelinde yazarlar tarafından hazırlanmıştır.

Bu karşılaştırma, sanal ve geleneksel laboratuvarların birbirine karşıt değil, birbirini tamamlayan araçlar olduğunu göstermektedir. Geleneksel laboratuvar, öğrencilerin gerçek biyolojik materyaller ve laboratuvar araç-gereçleriyle çalışma becerilerini geliştirirken, sanal ortam karmaşık süreçlerin görselleştirilmesine, deneylerin tekrarlanmasına ve farklı koşulların modellenmesine olanak sağlamaktadır. Bu nedenle sanal ve gerçek deneylerin amaçlı bir şekilde birlikte kullanılması, öğrencilerin kavramsal bilgilerini geliştirmekle birlikte laboratuvar etkinliklerinin farklı bileşenlerinin birbirini tamamlamasına da olanak sağlamaktadır (Zhang et al., 2021; Wörner et al., 2022).
Bu sonuçlar temelinde biyoloji derslerinde sanal laboratuvar kullanımına yönelik üç aşamalı bir metodolojik model önerilebilir: 1) deney öncesi – problemin belirlenmesi ve tahminde bulunma; 2) sanal laboratuvarda – deneyin gerçekleştirilmesi, parametrelerin değiştirilmesi ve verilerin toplanması; 3) deney sonrası – elde edilen sonuçların analiz edilmesi, gerçek laboratuvar sonuçlarıyla karşılaştırılması ve sonuca ulaşılması. Önerilen model, bilimsel literatürde belirlenen sanal laboratuvarların didaktik olanaklarının sentezlenmesi ve sistemleştirilmesi temelinde geliştirilmiştir (Byukusenge et al., 2022; Wörner et al., 2022).

Tablo 4 – Sanal laboratuvar çalışmasının düzenlenme aşamaları

Aşama	Öğretmenin etkinliği	Öğrencinin etkinliği	Beklenen sonuç
Hazırlık aşaması	Araştırma problemini ve amacını belirler, problem odaklı soru yöneltir	Problemi belirler, tahminde bulunur	Araştırmanın amacını anlar
Sanal deney	Yönerge verir, araştırma etkinliğini yönlendirir	Parametreleri değiştirir, deney gerçekleştirir	Deneysel çalışma becerisi gelişir
Veri toplama	Sonuçların kaydedilme yöntemini önerir	Verileri tabloya kaydeder ve karşılaştırır	Verilerle çalışma becerisi gelişir
Analiz	Yönlendirici sorular sorar	Neden-sonuç ilişkilerini belirler	Analitik düşünme gelişir
Sonuç	Sonuçların tartışılmasını düzenler	Tahmin ile sonucu karşılaştırarak çıkarım yapar	Bilimsel gerekçelendirme becerisi gelişir
Yansıtma	Geri bildirim verir	Kendi etkinliğini ve yaptığı hataları değerlendirir	Öz değerlendirme becerisi gelişir

Not: Tablo, sanal laboratuvarların kullanımına ilişkin bilimsel araştırmaların analizi temelinde yazarlar tarafından hazırlanmıştır.

Sanal laboratuvarların kullanımında değerlendirme konusu da önem taşımaktadır. Öğretmenin yalnızca deneyin nihai sonucunu değerlendirmesi durumunda, öğrencinin araştırma sürecinde gerçekleştirdiği etkinlikler göz ardı edilebilir. Bu nedenle değerlendirme ölçütlerine araştırma problemini anlama, tahminde bulunma, deney algoritmasına uyma, elde edilen verileri analiz etme ve bilimsel olarak gerekçelendirilmiş sonuçlara ulaşma gibi göstergelerin dâhil edilmesi uygun olacaktır.

Tablo 5 – Sanal laboratuvar çalışmalarını değerlendirme kriterleri

Değerlendirme göstergesi	Değerlendirilen etkinlik
Araştırma amacını anlama	Araştırılacak problemi doğru biçimde belirler
Tahminde bulunma	Deney sonucuna ilişkin gerekçeli bir tahmin ortaya koyar
Deneyi gerçekleştirme	Sanal deneyin aşamalarını doğru biçimde uygular
Verilerle çalışma	Elde edilen sonuçları kaydeder ve karşılaştırır
Analiz	Değişkenler arasındaki ilişkileri belirler
Bilimsel gerekçelendirme	Sonuçlarını somut verilerle açıklar
Sonuç çıkarma	Başlangıçtaki tahmin ile deney sonucunu ilişkilendirir

Bu tür bir değerlendirme, öğrencinin yalnızca biyoloji bilgisini değil, araştırma faaliyetlerini de değerlendirmeye olanak sağlamaktadır. Özellikle sanal ortamda öğrencinin deneyi tekrarlaması, farklı parametreleri karşılaştırması ve hatalı sonuçların nedenlerini belirlemesi, biçimlendirici değerlendirmenin uygulanması için uygun koşullar oluşturmaktadır (Byukusenge et al., 2022).
Bununla birlikte, sanal laboratuvarların kullanımının bazı sınırlılıkları da bulunmaktadır. Her şeyden önce sanal laboratuvarlar, gerçek laboratuvar araçlarıyla çalışma sırasında geliştirilen manipülatif becerilerin yerini tamamen alamaz. Sanal fizyoloji laboratuvarlarının kavramsal bilginin edinilmesindeki etkililiği ortaya konmuş olmakla birlikte, teknik ve uygulamalı becerilerin geliştirilmesine ilişkin bilimsel kanıtların yetersiz olduğu belirtilmiştir (Zhang et al., 2021). Bu nedenle mikroskop kullanımı, preparat hazırlama ve gerçek biyolojik materyallerin incelenmesi gibi uygulamalı çalışmalar mümkün olduğunca geleneksel laboratuvar ortamında sürdürülmelidir.
İkinci konu teknik erişilebilirliktir. Sanal laboratuvarların sistematik biçimde kullanılabilmesi için bilgisayar veya mobil cihaz, uygun yazılım ve istikrarlı bir internet bağlantısı gerekebilir. Bunun yanı sıra öğretmen, yalnızca dijital kaynağı seçmekle yetinmemeli; bu kaynağı dersin öğrenme hedeflerine ve öğrencilerin yaş özelliklerine uygun hâle getirebilmelidir (Doruk & Sarıkaya, 2023).

Kazakistan eğitim sistemi bağlamında bu konu, öğretmenin dijital-pedagojik yeterliliğiyle de ilişkilidir. Kimya öğretiminde VR ve AR teknolojilerinin kullanımına ilişkin deneyimler, dijital görselleştirmenin karmaşık bilimsel içeriğin açıklanmasındaki pedagojik olanaklarını göstermektedir (Amirbekova et al., 2024). Ancak dijital teknolojinin kullanılması tek başına pedagojik başarıyı garanti etmez. Etkililik, teknolojinin hangi öğrenme amacı doğrultusunda, hangi görevle ve dersin hangi aşamasında kullanıldığına bağlıdır.

Bu bağlamda biyoloji öğretiminde sanal laboratuvarların kullanımı "gerçek deney + sanal modelleme + sonuçların analizi" bütünlüğü temelinde düzenlenebilir. Bu durumda sanal ortam gerçek deneyin yerini almaz; aksine gerçek deneye hazırlık yapılmasına, karmaşık süreçlerin açıklanmasına veya gerçek laboratuvar çalışmasından elde edilen sonuçların daha derinlemesine analiz edilmesine hizmet eder. Bu yaklaşım, gerçek ve sanal deneylerin birbirini tamamlaması ilkesine dayanan araştırmaların sonuçlarıyla uyumludur (Wörner et al., 2022).

Sonuç. Bilimsel literatürün analizi, biyoloji öğretiminde sanal laboratuvar kullanımının çeşitli pedagojik olanaklar sunduğunu göstermiştir. Sanal laboratuvarlar; karmaşık biyolojik yapı ve süreçlerin görselleştirilmesine, deney parametrelerinin değiştirilmesine, deneylerin birden fazla kez tekrarlanmasına ve elde edilen sonuçların karşılaştırılmasına olanak sağlamaktadır. Bu özellikler, öğrencilerin öğrenme materyalini anlamalarının yanı sıra gözlem yapma, tahminde bulunma, verileri analiz etme ve bilimsel sonuçlara ulaşma gibi araştırma faaliyetlerini geliştirmelerine de uygun koşullar oluşturmaktadır (Byukusenge et al., 2022).

Bununla birlikte, sanal laboratuvarların geleneksel laboratuvar çalışmalarının tam bir alternatifi olarak değerlendirilmesi doğru değildir. Gerçek laboratuvar deneyleri, biyolojik materyaller ve laboratuvar araç-gereçleriyle doğrudan çalışma olanağı sağlarken, sanal ortam doğrudan gözlemlenmesi güç olan olayların modellenmesi ve görselleştirilmesi açısından avantaj sağlamaktadır. Bu nedenle iki yaklaşımın birbirini tamamlayacak biçimde kullanılması pedagojik açıdan daha uygun ve temellendirilmiş bir yaklaşımdır (Griffin et al., 2025; Zhang et al., 2021; Wörner et al., 2022).

Kazakistanlı araştırmacıların kimya öğretiminde VR ve AR teknolojilerinin kullanımına yönelik çalışması, dijital görselleştirme araçlarının eğitim sürecine entegre edilmesinin pedagojik olanaklarını ortaya koymaktadır (Amirbekova et al., 2024). Söz konusu araştırma kimya dersi kapsamında gerçekleştirilmiş olmakla birlikte, çalışmanın metodolojik sonuçları biyolojideki hücresel ve moleküler süreçlerin, genetik mekanizmaların, insan fizyolojisinin ve diğer karmaşık biyolojik olayların görselleştirilmesine uyarlanabilir.

Sonuç olarak, biyoloji öğretiminde sanal laboratuvar kullanımının etkililiği yalnızca teknolojinin kendisiyle değil, teknolojinin öğrenme hedeflerine uygun biçimde metodolojik olarak düzenlenmesiyle belirlenmektedir. Araştırma sonucunda sanal laboratuvar kullanımına yönelik üç aşamalı bir metodolojik model önerilmiştir: deney öncesi hazırlık ve tahminde bulunma, sanal deneyin gerçekleştirilmesi ve elde edilen sonuçların analizi**.** Önerilen model, sanal laboratuvar kullanımını problem odaklı görevler, deney yapma, verileri analiz etme ve bilimsel sonuçlara ulaşma süreçleriyle sistematik biçimde ilişkilendirmeyi amaçlamaktadır. Sanal ve geleneksel laboratuvar çalışmalarının birbirini tamamlayacak biçimde kullanılması, öğrenciyi hazır bilgiyi alan bir birey olmaktan çıkararak araştırma problemini belirleyen, tahminde bulunan, deney sonuçlarını analiz eden ve bilimsel olarak gerekçelendirilmiş sonuçlara ulaşan aktif bir katılımcıya dönüştürmeye olanak sağlamaktadır (Byukusenge et al., 2022; Wörner et al., 2022).

Kaynakça

Amirbekova, E., Shertayeva, N., & Mironova, E. (2024). Teaching chemistry in the metaverse: The effectiveness of using virtual and augmented reality for visualization. *Frontiers in Education, 8,* 1184768. https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1184768

Byukusenge, C., Nsanganwimana, F., & Tarmo, A. P. (2022). Effectiveness of virtual laboratories in teaching and learning biology: A review of literature. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research, 21*(6), 1–17. https://doi.org/10.26803/ijlter.21.6.1

Doruk, O., & Sarıkaya, R. (2023). An examination of the studies between 2013–2022 on the use of virtual laboratories in science education. *Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 43*(3), 1451–1485. https://doi.org/10.17152/gefad.1264589

Griffin, C. S., Loughran, S., Kelly, B., et al. (2025). Virtual laboratories complement but should not replace face-to-face classes: Perceptions of life science students at Dundalk Institute of Technology, Ireland. *Advances in Physiology Education, 49*(2). https://doi.org/10.1152/advan.00227.2024

Rosli, R., & Ishak, N. A. (2024). Integration of virtual labs in science education: A systematic literature review. *Jurnal Pendidikan Sains dan Matematik Malaysia, 14*(1), 81–103. https://doi.org/10.37134/jpsmm.vol14.1.8.2024

Wörner, S., Kuhn, J., & Scheiter, K. (2022). The best of two worlds: A systematic review on combining real and virtual experiments in science education. *Review of Educational Research, 92*(6), 911–952. https://doi.org/10.3102/00346543221079417

Zhang, X., Al-Mekhled, D., & Choate, J. (2021). Are virtual physiology laboratories effective for student learning? A systematic review. *Advances in Physiology Education, 45*(3), 467–480. https://doi.org/10.1152/advan.00016.2021

DEVELOPING STUDENTS' LOGICAL THINKING IN MATHEMATICS LESSONS THROUGH THE USE OF INTERACTIVE TECHNOLOGIES

Kyzaikhan UTEGENOVA
Mathematics Teacher, Talant-3 General Education School, Shymkent, Kazakhstan.

Abstract
This study examines the use of interactive technologies in secondary-school mathematics lessons as a means of supporting students' logical thinking. The intervention focused on dynamic visualization, gamified practice, and immediate formative feedback through GeoGebra, Interacty, IQsha, Quizizz, and Kahoot. The empirical component was conducted during the first term of the 2025–2026 academic year with 50 fifth-grade students divided into a control group (n = 25) and an experimental group (n = 25). The control group followed conventional classroom practices, whereas the experimental group received systematic technology-supported instruction. Pre- and post-intervention assessment data were used to compare knowledge quality and performance on logical tasks. According to the dataset reported in the original manuscript, the experimental group increased from 60% to 82% in knowledge quality, a gain of 22 percentage points, while the control group increased from 58% to 62%, a gain of 4 percentage points. The findings suggest that carefully structured interactive technologies can support visualization, engagement, pattern recognition, and mathematical problem solving. Because the manuscript does not report inferential statistics or validated instrument reliability, the results should be interpreted as classroom-level evidence rather than as a basis for broad causal generalization.
Keywords: mathematics education, logical thinking, interactive technologies, digital learning, GeoGebra, gamification, formative assessment.

Introduction. Contemporary mathematics education increasingly emphasizes reasoning, problem solving, representation, and active student participation rather than the passive reproduction of procedures. Digital technologies can contribute to this shift when they are integrated into purposeful mathematical tasks rather than used only for presentation. Recent reviews of technology use in mathematics education identify dynamic mathematics environments, including GeoGebra, as important tools for visualization, exploration, conjecturing, and conceptual understanding (Sunzuma, 2023; Listiawan et al., 2025).

Gamification and interactive assessment platforms may also strengthen engagement and provide rapid feedback. Meta-analytic and review evidence indicates generally positive effects of gamified learning on motivation and learning outcomes, although the effectiveness of gamification depends on instructional design, feedback, task difficulty, and alignment with learning objectives (Li et al., 2023; Cabanilla et al., 2023). In mathematics, these features are particularly relevant when students must compare conditions, identify patterns, construct representations, and justify conclusions.

The purpose of this classroom study is to examine changes in fifth-grade students' mathematical performance and logical-task outcomes when interactive technologies are systematically incorporated into mathematics lessons. The study focuses on a combined instructional model using dynamic visualization, interactive logic tasks, and gamified formative assessment.

Theoretical Framework. The study is conceptually informed by Pólya's problem-solving framework, in which understanding the problem, devising a plan, carrying out the plan, and reviewing the solution form an iterative reasoning process (Pólya, 2014). Within this perspective, logical thinking is treated as a combination of analytical decomposition, synthesis and representation, pattern recognition, and deductive or inductive reasoning.

Dynamic mathematics software can make otherwise abstract relations visible and manipulable. Systematic reviews of technology in geometry and mathematics education report that GeoGebra is widely used to support exploration and visualization, while also noting that learning gains depend on task design and teacher orchestration (Sunzuma, 2023; Listiawan et al., 2025). Gamification complements this approach by adding immediate feedback, goals, challenge, and repeated practice; however, it should remain subordinate to the mathematical objective rather than becoming an end in itself (Li et al., 2023).

Materials and Methods. The empirical work was conducted during the first term of the 2025–2026 academic year. The original study involved 50 fifth-grade students divided into two cohorts: a control group of 25 students and an experimental group of 25 students. The control group was taught through conventional practices, including textbook exercises, board work, and standard written tasks. The experimental group received systematic instruction supported by digital and interactive technologies.

The intervention used GeoGebra for dynamic geometric modeling, graph visualization, coordinate transformations, and symmetry; Interacty for interactive logic challenges, quests, and pattern-matching activities; IQsha for sequence and attention-oriented logic practice; and Quizizz/Kahoot for end-of-lesson review and real-time formative assessment. These functions are consistent with broader research showing that digital tools can support mathematical representation, exploration, engagement, and feedback (Sunzuma, 2023; Cabanilla et al., 2023).

Student performance was evaluated before and after the instructional intervention. The original manuscript reports knowledge quality percentages and changes in logical-task performance/problem-solving speed. It does not provide the raw student-level dataset, test reliability coefficients, item specifications, standard deviations, or inferential statistical tests. Therefore, the present article reports the available descriptive results without introducing unverified statistical significance claims.

Results

Table 1. Descriptive dynamics of educational performance

Group	**Pre-intervention knowledge quality**	**Post-intervention knowledge quality**	**Change**	**Reported problem-solving speed increase**
Control group	58%	62%	+4 percentage points	+8%
Experimental group	60%	82%	+22 percentage points	+35%

The descriptive results show a larger pre–post gain in the experimental group than in the control group. Knowledge quality increased from 60% to 82% in the experimental group, corresponding to a gain of 22 percentage points. In the control group, the same indicator increased from 58% to 62%, a gain of 4 percentage points. The original dataset also reports a 35% increase in problem-solving speed for the experimental group compared with 8% for the control group.

These patterns are consistent with the classroom observation reported in the original manuscript: GeoGebra enabled students to manipulate and inspect mathematical objects dynamically, while Interacty, IQsha, Quizizz, and Kahoot supported repeated practice, feedback, and active participation. The observed transition from concrete visual representations toward more formal reasoning is also compatible with review findings on dynamic mathematics environments and technology-supported mathematics learning (Sunzuma, 2023; Listiawan et al., 2025).

Discussion

The results suggest that the educational value of interactive technology lies not in the presence of digital tools alone but in the way they are embedded in a sequence of mathematical reasoning. Dynamic visualization can help students test relationships and compare representations, while gamified tasks can increase opportunities for practice and feedback. This interpretation is consistent with systematic evidence that technology can improve engagement and conceptual access when it is aligned with clear mathematical goals (Sunzuma, 2023; Li et al., 2023).At the same time, the findings should be interpreted cautiously. The study involved a small classroom sample, the manuscript does not report random assignment, and only descriptive percentages are available. No claim of statistical significance can be made from the supplied data. Future research should use validated measures of logical thinking, report raw or summary statistics needed for effect-size estimation, describe the duration and frequency of the intervention, and examine whether gains are retained over time.

Recent systematic reviews similarly identify the need for stronger measurement and more rigorous evaluation designs in technology-supported secondary mathematics research.

Conclusion. The classroom evidence presented in this study indicates that systematic integration of interactive technologies can support students' logical thinking and mathematics learning when digital tools are connected to specific reasoning tasks. The experimental group showed a substantially larger descriptive gain in knowledge quality than the control group, and the original data also report greater improvement in problem-solving speed. GeoGebra supported dynamic visualization and exploration, while Interacty, IQsha, Quizizz, and Kahoot provided interactive practice and formative feedback.
The study therefore supports the pedagogical use of interactive technologies as part of a structured mathematics lesson rather than as isolated digital activities. Nevertheless, the limited sample and the absence of inferential statistics require cautious interpretation. Further studies with validated instruments, larger samples, transparent statistical reporting, and follow-up measurement are needed to establish the robustness and sustainability of the observed outcomes.

References

Abylkassymova, A. E. (2019). Methods of Teaching Mathematics: Textbook. Almaty: Mektep.

Cabanilla, A., Batolbatol, G. B., Jacaban, F. S., & Bonotan, A. (2023). Gamified instruction in mathematics: A meta-synthesis. Human Behavior, Development and Society, 24(1), 36–46.

Hohenwarter, M., & Preiner, J. (2007). Dynamic mathematics with GeoGebra. Journal of Online Mathematics and its Applications, 7, 1–14.

Kapp, K. M. (2012). The Gamification of Learning and Instruction: Game-Based Methods and Strategies for Training and Education. San Francisco: Pfeiffer.

Li, M., Ma, S., & Shi, Y. (2023). Examining the effectiveness of gamification as a tool promoting teaching and learning in educational settings: A meta-analysis. Frontiers in Psychology, 14, 1253549. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1253549

Listiawan, T., Saputro, A. D., & Dewi, D. A. (2025). The role of digital technology in the design of mathematics teaching and learning: A systematic literature review. Journal of Educational Technology and Learning Creativity, 3(2).

Pólya, G. (2014). How to Solve It: A New Aspect of Mathematical Method. Princeton: Princeton University Press.

Sunzuma, G. (2023). Technology integration in geometry teaching and learning: A systematic review (2010–2022). LUMAT: International Journal on Math, Science and Technology Education, 11(3). https://doi.org/10.31129/LUMAT.11.3.1938

Zhanpeisova, M. M. (2020). Modular Learning Technology as a Tool for Student Development. Almaty: Evero.

ALJİR: SİYASİ BASKI YILLARINDA KADINLARIN VE ÇOCUKLARIN KADERİ

ALGERIA: THE FATE OF WOMEN AND CHILDREN DURING YEARS OF POLITICAL REPRESSION

Perizat AZHIBEKOVA
History Teacher, Talant-3 General Education School, Shymkent, Kazakhstan.

Özet
Makalede, XX. yüzyılın 1930–1950'li yıllarında Sovyet siyasi baskı politikası çerçevesinde faaliyet gösteren Akmola "Vatan Hainlerinin Eşleri" Kampı – ALJİR'in tarihi ele alınmaktadır. Çalışmada temel olarak, siyasi baskıya maruz kalan kişilerin aile üyeleri olmaları nedeniyle cezalandırılan kadınların kaderine, kamptaki günlük yaşamlarına, ağır çalışma koşullarına ve anne-çocuk sorununa odaklanılmaktadır. ALJİR sistemindeki cezalandırma uygulamasının temel özelliği, birçok kadının kendi eylemleri nedeniyle değil, baskıya uğrayan kişilerin eşi veya aile üyesi olmaları nedeniyle takibata uğramasıdır. Makalede kadınların kampa sevk edilmesi, yaşam koşulları, sanayi ve tarım alanlarındaki zorunlu çalışmaları ile çocukların annelerinden ayrılması analiz edilmektedir. Ayrıca yerel Kazak halkının tutuklu kadınlara gösterdiği yardım ve ALJİR tarihinin günümüz tarihsel belleğindeki yeri ele alınmaktadır. Araştırma, siyasi baskı tarihinin kadınların ve çocukların bireysel kaderleri üzerinden incelenmesinin, totaliter sistemin insan ve aile yaşamı üzerindeki sonuçlarının daha derinlemesine anlaşılmasına imkân sağladığını ortaya koymaktadır.
Anahtar kelimeler: ALJİR, siyasi baskı, Stalin dönemi baskıları, Karlag, kadınlar, çocuklar, GULAG, tarihsel bellek, Kazakistan.

Giriş

XX. yüzyıl Kazakistan tarihinin en karmaşık ve trajik sayfalarından biri Sovyet siyasi baskı dönemidir. 1920'lerin sonlarından itibaren ve 1930'lu yıllarda yerleşen idari-komuta sistemi, toplumsal ve siyasi yaşamı sıkı denetim altına alarak devletin cezalandırma mekanizmalarını geniş ölçüde kullandı. Siyasi suçlamalara maruz kalan kişilerle birlikte onların aile üyeleri de baskıya uğradı. Bu politikanın en ağır uygulamalarından biri, kadınların eşlerine yöneltilen siyasi suçlamalar nedeniyle cezai sorumluluğa tabi tutulmasıydı.

Kazakistan topraklarında oluşturulan kamp sistemi, Sovyet cezalandırma politikasının önemli bir parçası hâline geldi. Bu kamplar arasında Akmola "Vatan Hainlerinin Eşleri" Kampı – ALJİR özel bir yere sahiptir. Burada farklı milletlere mensup kadınların yanı sıra devlet ve toplum adamlarının, aydınların, askerî personelin ve sanat-kültür çevrelerinin temsilcilerinin eşleri ve aile üyeleri cezalarını çektiler. Bu kadınların çoğunun kaderi, eşlerine yöneltilen siyasi suçlamalarla doğrudan bağlantılıydı.

ALJİR tarihinin incelenmesi, siyasi baskıların yalnızca siyasi veya hukuki boyutlarını değil, aynı zamanda toplumsal ve insani sonuçlarını da ortaya koymaya imkân vermektedir. Kadınların çocuklarından ayrılması, ağır ve zorunlu çalışmaya tabi tutulması, açlık ve soğuk koşullar altında yaşamaya zorlanması, totaliter sistemin bireylerin ve ailelerin kaderi üzerindeki yıkıcı etkisini göstermektedir.

Bu makalenin amacı, ALJİR tarihi temelinde siyasi baskı yıllarında kadınların ve çocukların kaderini analiz etmek, kamptaki yaşam koşullarını ve zorunlu çalışma uygulamalarını ortaya koymak ve totaliter cezalandırma sisteminin ailevi ve toplumsal sonuçlarını değerlendirmektir. Araştırmada tarihsel verilerin analizi, karşılaştırılması ve sistemleştirilmesinin yanı sıra hatırat malzemelerinin derlenmesi yöntemlerinden yararlanılmıştır.

Ana Bölüm

1937–1938 yıllarındaki kitlesel siyasi baskılar yalnızca bireylerle sınırlı kalmamış, onların aile üyelerini de kapsamıştır. Baskıya uğrayan kişilerin eşlerinin takibata alınmasının hukuki dayanaklarından biri, SSCB İçişleri Halk Komiserliği'nin (NKVD) 15 Ağustos 1937 tarihli ve 00486 sayılı operasyon emri olmuştur. Bu emir doğrultusunda "Vatan hainlerinin aile üyeleri" kategorisine dâhil edilen kadınlar tutuklanarak kamplara gönderilmiştir. Bu politikanın sonucunda, bir kadının eşine veya aile üyelerinden birine yöneltilen siyasi suçlama, kendisinin de baskıya uğramasına gerekçe oluşturabilmiştir (Kukushkina, 2008; Suraganova, 2018; Shashaeva, 2026).

ALJİR, Karlag sisteminin Akmola Özel Bölümü olarak oluşturulmuştur. Aralık 1937'de "26. nokta" olarak adlandırılan çalışma yerleşimi temelinde Karlag'ın Akmola Özel Bölümü kurulmuş ve bir ile üç yaş arasında çocukları bulunan kadınlardan oluşan ilk grup 6 Ocak 1938'de Akmola'ya getirilmiştir. ALJİR üzerinden 18 binden fazla kadının sevk edildiği ve bunların yaklaşık 8 bininin kampta cezasını çektiğine ilişkin bilgiler bulunmaktadır (Kukushkina, 2008; Musagaliyeva & Musabekova, 2025**)**. İlk kadın grubunun 6 Ocak 1938'de kampa getirildiği ve ALJİR'den geçen kadınların sayısına ilişkin aynı veriler, çalışmanın temelini oluşturan kaynak materyalde de yer almaktadır.

Tutuklular arasında Sovyet devlet ve toplum adamlarının, askerî personelin, bilim ve kültür çevrelerinin temsilcilerinin eşleri ve yakın akrabaları bulunmaktaydı. Kazakistanlı şahsiyetlerden Saken Seyfullin, Beyimbet Maylin, Temirbek Jürgenov, Turar Rıskulov, Sanjar Asfendiyarov, Sultanbek Kojanov ve diğer bazı isimlerin aile üyeleri siyasi baskıların mağduru olmuştur. Araştırmanın temelini oluşturan kaynak materyalde bunlardan bazılarının isimleri özellikle belirtilmektedir. Kadınların çoğu açısından belirleyici unsur, kendi siyasi faaliyetlerinden ziyade baskıya uğrayan kişilerin eşleri olmalarıydı. Bu bakımdan ALJİR tarihi, Stalin dönemindeki cezalandırma politikasının bireyden bütün bir aileye yayıldığını göstermektedir (Suraganova, 2018; Shashaeva, 2026**).**

Kamptaki günlük yaşam son derece ağır iklim ve barınma koşullarında geçmiştir. Kadınlar Sovyetler Birliği'nin farklı bölgelerinden getirilmiştir. Tutuklular için yeterli barınma alanı bulunmadığından, yeni gelen kadınlar kışın şiddetli soğuğuna ve kar fırtınalarına rağmen barakaları kendileri inşa etmek zorunda kalmıştır. Barakalardaki ahşap ranzaların üzerine saman serilmiş, ısınmak için kamış kullanılmıştır. Kış aylarında barakaların içindeki sıcaklığın 6–8 dereceyi geçmediğine ilişkin bilgiler de bulunmaktadır. Bu ağır yaşam koşulları sürekli açlık ve ağır çalışma ile birleşerek tutukluların sağlık durumunu olumsuz etkilemiştir (Kukushkina, 2008; Bekbaeva, 2024**).**

Kadınlar kampta çeşitli tarımsal ve endüstriyel işlerde çalıştırılmıştır. Dikiş üretiminde, inşaatta, tarım ve hayvancılık alanlarında çalışmışlardır. Tutukluların zorunlu emeği sonucunda Karlag'ın "26. noktası" çok yönlü bir üretim ve tarım merkezine dönüşmüştür. Burada bir dikiş fabrikası faaliyet göstermiş; tarım ve bahçecilik geliştirilmiş; tohum seçimi, ıslah ve meliorasyon çalışmaları yürütülmüştür. Tutuklular arasında çeşitli mesleklerden uzmanların bulunması, onların bilgi ve deneyimlerinden kamp ekonomisinde yararlanılmasını mümkün kılmıştır (Kukushkina, 2008; Musagaliyeva & Musabekova, 2025**).**

Ağır çalışma, tutuklu kadınların günlük yaşamının ayrılmaz bir parçası olmuştur. K. Maltseva'nın hatıralarına göre kadınlar toprağı küreklerle elle işlemiş ve bahçelerde günde 14–15 saate kadar çalışmıştır. Bunun yanı sıra bahçede yetiştirilen ürünlerin gizlice barakalara götürülerek çocuklara ve hasta kadınlara verildiği durumlar da yaşanmıştır. Bu veriler bir taraftan zorunlu emeğin ağırlığını ortaya koyarken, diğer taraftan tutuklular arasındaki karşılıklı yardımlaşma ve insani ilişkilerin korunduğunu göstermektedir (Kukushkina, 2008**).**

ALJİR tarihinin en trajik meselelerinden biri anne ve çocukların kaderidir. Kampa hamile olarak veya küçük çocuklarıyla birlikte getirilen kadınlar bulunmaktaydı. Çocuklar belirli bir yaşa ulaştıktan sonra annelerinden ayrılarak çocuk yurtlarına gönderilmiştir. Çocuğun üç yaşına ulaşması anneler açısından son derece ağır bir dönem olmuştur; çünkü bu yaştan sonra çocuklar annelerinden alınmıştır. Bu uygulama, siyasi baskıların sonuçlarının yalnızca tutuklu kadınlarla sınırlı kalmadığını, onların çocuklarını ve bütün ailenin geleceğini de etkilediğini göstermektedir (Kukushkina, 2008; Arslanova & Kalashnikova, 2023; Shashaeva, 2026**).**

Çocukların annelerinden zorla ayrılması, kadınlar üzerinde büyük bir psikolojik travmaya yol açmıştır. Nurgoja Oraz'ın aile hatıralarında, üç yaşındaki bir çocuğun annesinden ayrılarak Karaganda bölgesindeki bir çocuk yurduna gönderildiği anlatılmaktadır. Çocuklarını götüren aracın arkasından koşan annelerin yaşadığı derin acı ve çaresizlik tasvir edilmektedir. Bu tür bireysel anlatılar ve sözlü tarih materyalleri, resmî belgelerde yer alan bilgileri tamamlayarak siyasi baskıların çocukların ve ailelerinin yaşamları üzerindeki somut etkilerini ortaya koymaya imkân vermektedir (Arslanova & Kalashnikova, 2023**).**

Kamplarda doğan veya anneleriyle birlikte tutuklu bulunan çocukların kesin sayısına ilişkin veriler tam değildir. Kazakistan'daki kamplarda doğan ve anneleriyle birlikte kalan çocukların sayısına ilişkin bilgilerin eksik olması, bu konunun araştırılmasında istatistiksel verilerin yanı sıra kişisel dosyaların, hatıraların, sözlü tarih materyallerinin ve arşiv belgelerinin kapsamlı bir biçimde incelenmesi gerektiğini göstermektedir (Arslanova & Kalashnikova, 2023**).**

ALJİR tarihinde yerel Kazak halkının tutuklu kadınlara yaptığı yardımlara ilişkin hatıralar da özel bir yere sahiptir. Açlıktan güçsüz düşen kadınlara yerel halkın kurt (geleneksel kurutulmuş süt ürünü) attığı, gardiyanların ise bunları taş zannettiği yönündeki olay tarihsel bellekte yer etmiştir. Bazı yerel sakinlerin çalılıkların arasına et ve ekmek bıraktıkları da aktarılmaktadır. Bu davranışlar, totaliter sistemin ağır koşulları altında sıradan insanlar arasındaki dayanışma, merhamet ve insanlığın bir göstergesi olmuştur (Suraganova, 2018).

1939 yılından itibaren kamp rejiminde bazı değişiklikler görülmeye başlanmıştır. "Vatan hainlerinin" eşlerine yönelik özel operasyonun sona ermesinin ardından tutukluların bir kısmı genel kamp rejimine geçirilmiş ve daha önce yasak olan mektuplaşmaya izin verilmiştir. Bu sayede bazı kadınlar eşlerinin ve çocuklarının kaderi hakkında bilgi edinmeye başlamıştır. Bununla birlikte, söz konusu değişiklikler kadınların özgürlüklerinden mahrum bırakılma durumunu ve zorunlu çalışma sistemini ortadan kaldırmamıştır (Kukushkina, 2008).

ALJİR tarihinin araştırılmasındaki önemli yönlerden biri de tarihsel bellek meselesidir. Bağımsızlık döneminde siyasi baskı kurbanlarının isimlerinin yeniden ortaya çıkarılması, biyografilerinin araştırılması ve tarihî bilgilerin kamuoyuna aktarılmasına yönelik çalışmalar hız kazanmıştır. Eski kamp alanında bir anma mekânının oluşturulması da bu sürecin bir parçası olmuştur. 2007 yılında ALJİR'in bulunduğu alanda siyasi baskı ve totalitarizm kurbanlarına adanan bir müze-anıt kompleksi açılmıştır. Kompleks bünyesindeki anıtlar, müze sergileri ve kurbanların isimlerinin yer aldığı anma levhaları, ALJİR tarihinin toplumsal bellekte korunmasının önemli araçlarından biri hâline gelmiştir (Turgynbaev & Abaeva, 2018; Suraganova, 2018).

Müze sergisi, ALJİR tutuklularının kaderinin yanı sıra Kazakistan'daki siyasi baskıların daha geniş tarihsel bağlamını da yansıtmaktadır. Sergide Kazak aydınlarının siyasi faaliyetleri, kolektifleştirme, kıtlık, 1937–1938 yıllarındaki Büyük Terör, Kazakistan topraklarındaki GULAG birimleri, halkların sürgün edilmesi ve sonraki dönemlerde uygulanan siyasi-ideolojik baskılar ele alınmaktadır. Bu açıdan ALJİR müze-anıt kompleksi, yalnızca belirli bir kampın tarihini tanıtan bir kurum olmayıp, XX. yüzyıldaki siyasi şiddetin sonuçlarının anlaşılmasına imkân sağlayan bir tarihsel bellek mekânı olarak işlev görmektedir (Turgynbaev & Abaeva, 2018; Suraganova, 2018).

Sonuç. ALJİR tarihi, XX. yüzyıldaki Sovyet siyasi baskı sisteminin kadınların ve çocukların kaderi üzerindeki etkilerini ortaya koyan önemli bir tarihsel konudur. Totaliter sistem yalnızca siyasi suçlamalara maruz kalan kişileri değil, onların aile üyelerini de cezalandırmanın hedefi hâline getirmiştir. Bunun sonucunda binlerce kadın, kendi eylemleri nedeniyle değil, baskıya uğrayan bir kişinin eşi veya aile üyesi oldukları için özgürlüklerinden mahrum bırakılmıştır.

Kamptaki kadınların günlük yaşamı ağır barınma koşulları, açlık, soğuk ve zorunlu çalışma altında geçmiştir. Buna rağmen kadınlar mesleki bilgi ve çalışma becerilerini kullanarak kamp ekonomisinin çeşitli alanlarında çalışmışlardır. Tutuklular arasındaki karşılıklı yardımlaşma ve yerel Kazak halkının onlara gösterdiği dayanışma, en ağır koşullarda dahi insani değerlerin korunduğunu göstermektedir.

ALJİR trajedisinin en ağır yönlerinden biri, anneler ile çocukların zorla birbirlerinden ayrılmasıdır. Bu durum, siyasi baskıların yalnızca bireylerle sınırlı kalmadığını, aile kurumunu ve sonraki kuşakların kaderini de etkilediğini ortaya koymaktadır. Kadınların ve çocukların kişisel hatıraları, dönemin toplumsal ve psikolojik sonuçlarının daha derinlemesine anlaşılmasına imkân sağlamaktadır.

Günümüzde ALJİR tarihi, tarihsel bellekte özel bir yere sahiptir. Müze-anıt kompleksi, arşiv belgeleri, kişisel hatıralar ve müze eserleri, haksız yere siyasi baskıya maruz kalan insanların kaderlerini gelecek kuşaklara aktarmaktadır. Bu nedenle ALJİR tarihinin araştırılması yalnızca geçmişte yaşanan trajedilerin hatırlanması açısından değil, insan haklarının, aile değerlerinin, tarihsel adaletin ve toplumun totaliter deneyimden çıkarması gereken derslerin anlaşılması bakımından da önem taşımaktadır.

References

Kukushkina, A. R. (2008). *Akmolinskii lager zhen "izmennikov Rodiny": istoriia i sudby* [Akmola camp for wives of "traitors to the Motherland": History and fates]. Karaganda.

Suraganova, Z. K. (2018). ALZHIR kak fenomen "zhenskoi" nesvobody v repressirovannoi pamiati kazakhskogo naroda [ALZHIR as a phenomenon of women's unfreedom in the repressed memory of the Kazakh people]. *Severo-Vostochnyi gumanitarnyi vestnik,* (1)22, 80–86. https://doi.org/10.25693/IGI2218-1644.2018.01.22.008

Turgynbaev, E. M., & Abaeva, M. D. (2018). “ALZHIR” memorialdy muzeiinin ekspozitsiialyq kesheni [The exposition complex of the ALZHIR Memorial Museum]. *QazUU Khabarshysy. Tarikh Seriiasy*, 89(2), 79–83. https://doi.org/10.26577/JH-2018-2-221

Arslanova, Yu. R., & Kalashnikova, N. P. (2023). ALZHIR: detskie sudby politicheskikh repressii (fragmenty arkhivnykh materialov i ustnykh istorii) [ALZHIR: Children’s fates under political repression (fragments of archival materials and oral histories)]. *Rossiia v globalnom mire*, 26(3), 93–114. https://doi.org/10.48612/rg/RGW.26.3.7

Bekbaeva, T. (2024). Sovetskie trudovye lageria v Kazakhstane [Soviet labor camps in Kazakhstan]. *MUSEUM.KZ*. https://doi.org/10.59103/muzkz.2024.06.06

Musagaliyeva, A. S., & Musabekova, R. M. (2025). Ot trudovogo poselka do tselinnogo sovkhoza: trudposelok № 26 – ALZHIR – sovkhoz “Akmolinskii” [From a labor settlement to a virgin-lands state farm: Labor settlement No. 26 – ALZHIR – Akmolinsky state farm]. *Asian Journal “Steppe Panorama”*, 12(1), 186–202. https://doi.org/10.51943/2710-3994_2025_12_1_186-202

Shashaeva, M. A. (2026). Zhazhyqsyz zhazalangandar: “Otan satqyndarynyn otbasy musheleri turaly” zannyn aielder tagdyryna tigizgen auyr aseri [Innocently repressed: The severe impact of the law on “family members of traitors to the Motherland” on women’s fates]. *Otan tarikhy – Otechestvennaia istoriia*, 29(2), 724–734. https://doi.org/10.51943/2788-9718_2026_29_2_724-734

SOCIAL IMPACT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE: OPPORTUNITIES, CHALLENGES AND THE WAY FORWARD

Assoc. Prof. Dr. K. ARUNA
Department of Information Technology, A.V.C. College of Engineering, Mannampandal, Tamil Nadu, India.

T. KARUNASAGHAR
B.Tech. Student, Artificial Intelligence and Data Science, Sri Krishna College of Engineering and Technology, Kuniyamuthur, Coimbatore, Tamil Nadu, India.

Abstract
Artificial Intelligence (AI) is rapidly becoming an important part of everyday life. AI is being used in education, healthcare, transportation, banking, communication, entertainment and many other areas. It provides several benefits, such as personalized learning, faster healthcare services, improved decision-making and increased productivity. At the same time, the growing use of AI creates social challenges including job displacement, privacy concerns, misinformation, bias and over-dependence on technology. This paper discusses the major social impacts of Artificial Intelligence from both positive and negative perspectives. It highlights how AI can improve the quality of human life while also creating new responsibilities for individuals, organizations and governments. Special attention is given to the impact of AI on students and future employment, digital privacy and responsible use of AI. The paper also emphasizes the importance of AI literacy, ethical awareness and human supervision. The study concludes that AI should be developed and used as a supportive technology that enhances human capabilities rather than replacing human judgment. A balanced and responsible approach is essential to ensure that the benefits of AI are accessible to society while minimizing its potential risks.
Keywords: Artificial Intelligence, Social Impact, AI Ethics, Privacy, Employment, Responsible AI, Digital Society

EXAMINING THE PERCEIVED EFFECTS OF STUDENTS' FAILURE IN THE ENGLISH SUBJECT IN NATIONAL GRADE 12 EXAMINATIONS IN CAMBODIA: A QUALITATIVE CASE STUDY

Saem OEUN
Postgraduate School, National University of Cheasim Kamchaymear, Cambodia.

Kimkong HENG
School of Education, The University of Queensland, Australia; Faculty of Education, Paññāsāstra University of Cambodia, Cambodia.

Sereyrath EM
Faculty of Education, National University of Cheasim Kamchaymear, Cambodia.

Abstract
English plays an essential role in high-stakes examinations in both national and international contexts. This study explores the perceived effects of failing the English subject in national Grade 12 examinations in Cambodia on students' lives and future opportunities. Using a qualitative case study design, the study drew on face-to-face interviews with 24 participants, comprising four school principals, eight English teachers, eight Grade 12 students, and four parents, as well as two focus group discussions involving eight students. Thematic analysis of the interview and focus group data identified six key areas of effects associated with students' failure in the English subject in national Grade 12 exams. These included effects on (a) educational opportunities, (b) employment opportunities, (c) communication ability, (d) psychological well-being, (e) the family economy, and (f) national development. The findings suggest that the consequences of failing English in national examinations may extend beyond exam outcomes, potentially affecting students' access to higher education, employment prospects, ability to communicate in English, emotional well-being, and family finances, while also having broader implications for Cambodia's human capital development. The study recommends providing support for students with limited English proficiency and strengthening English language provision at the secondary school level. It concludes by discussing implications for relevant stakeholders and directions for future research.
Keywords: Failure in the English subject; Grade 12 national exams; high school students; English subject; effects of national exams; Cambodian students

Compliance with ethical standards

All participants provided their written informed consent before participating in the study. Participants were informed of the study objectives, procedures, voluntary nature of participation, data confidentiality, and their right to withdraw at any time without any negative consequences. No personal identifying information was retained in the manuscript. Approval to conduct research was granted by the institutions involved. The procedures used in this study are in accordance with the principles of the Declaration of Helsinki.

Acknowledgments

The authors are grateful to the anonymous reviewers and editor of the journal for their constructive feedback on an earlier version of this article. The authors would also like to thank the participants who participated in this study.

SACRAL HIATUS: A STUDY OF ITS ANATOMICAL VARIATIONS IN DRY SACRA

Asst. Prof. Dr. Mahvish JAVED
Department of Anatomy, Khyber Girls Medical College, Peshawar, Pakistan.

ABSTRACT

Objective: The purpose of the study was found out the anatomical variation in the sacral hiatus which is the sacral canal caudal opening. Its clinical significance is due to the fact that caudal epidural anesthesia is administered through the sacral hiatus and a knowledge of its anomalies is paramount to the success of epidural block.

Materials and Method: This study was of three-month duration from September 2019 to December 2019 and was carried out at Khyber Medical College, Peshawar.48 dry sacra from the Anatomy department of Khyber Medical College were studied and the shape of their sacral hiatus was observed along with the level of its apex and base.

Results: A total of 48 dry sacra were studied. The sacral hiatus shape was observed which revealed that it was inverted U shaped in 21 (43.8%) cases, inverted V shaped in 14 (29.2%) cases, irregular in 7 (14.5%) cases, M shaped in 4 (8.3%) cases and dumb bell shaped in 2 (4.2%) cases. In majority of the cases the apex was against the fourth sacral vertebrae and the base at the level of fifth sacral vertebrae.

Conclusion: Anatomical variation does exist in the shape and size of sacral hiatus and a knowledge of variation in the shape, size, level of the apex and base of sacral hiatus is of importance to the clinicians as epidural anesthesia for therapeutic and diagnostic purposes is administered through the sacral hiatus.

BLOCKCHAIN-ENABLED IOT ARCHITECTURE FOR INTELLIGENT, TRANSPARENT, SECURE, AND SUSTAINABLE FARM-TO-FORK FOOD TRACEABILITY ACROSS NEXT-GENERATION AGRICULTURAL SUPPLY CHAINS

Moses Adeolu AGOI
Lagos State University of Education, Lagos, Nigeria.
ORCID ID: 0000-0002-8910-2876

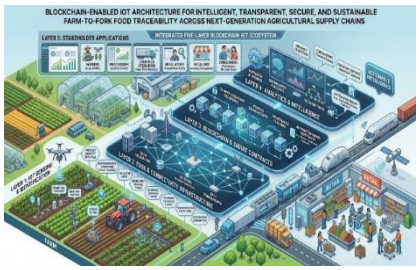
Emmanuel Taiwo AGOI
Loughborough University, United Kingdom.
ORCID ID: 0009-0000-5885-0954

Oluwanifemi Opeyemi AGOI
Obafemi Awolowo University, Osun State, Nigeria.

Oluwadamilola Peace AGOI
Federal University of Agriculture, Abeokuta, Ogun State, Nigeria.

Abstract
The increasing complexity of agricultural and food supply chains has intensified concerns regarding food safety, provenance, quality assurance, food fraud, food waste, sustainability, and consumer trust. Conventional traceability mechanisms often rely on fragmented databases, manual documentation, and intermediary-controlled information, thereby constraining the speed, reliability, accuracy, and transparency of farm-to-fork monitoring. This paper examines a blockchain-enabled Internet of Things (IoT) architecture designed to enhance intelligent, transparent, secure, and sustainable food traceability across next-generation agricultural supply chains. The proposed architecture integrates IoT sensors, digital identification, edge and cloud computing, distributed blockchain ledgers, smart contracts, and analytical services to capture, authenticate, transmit, and preserve supply-chain events from agricultural production through processing, transportation, storage, retail, and consumption. A structured synthesis of recent empirical and peer-reviewed studies was conducted to examine the application of blockchain and IoT technologies to agricultural traceability, food safety, supply-chain transparency, operational efficiency, and sustainability.
The evidence demonstrates that IoT facilitates continuous monitoring of environmental and logistical conditions, while blockchain strengthens data integrity, provenance verification, immutability, accountability, and trust among supply-chain stakeholders.
The integrated architecture further supports automated provenance verification, real-time condition monitoring, anomaly detection, rapid product recall, regulatory auditing, and consumer-level product authentication.
Despite these benefits, challenges involving scalability, interoperability, network connectivity, implementation costs, data quality, governance, cybersecurity, and stakeholder adoption remain significant.
The study concludes that blockchain-IoT integration provides a robust technological foundation for transforming conventional food traceability into an intelligent and trustworthy digital ecosystem when supported by interoperable standards, effective governance, stakeholder participation, and context-sensitive implementation strategies.
Keyword: Blockchain; Food Traceability; Internet of Things; Smart Agriculture.

INTRODUCTION



Agricultural and food supply chains are undergoing rapid digital transformation as producers, processors, logistics providers, retailers, regulators, and consumers increasingly demand reliable, timely, accurate, and verifiable information about food origin, quality, safety, handling conditions, authenticity, and environmental performance. The growing globalization of food production and distribution has created increasingly complex networks involving geographically dispersed farms, processors, warehouses, transportation providers, wholesalers, retailers, and consumers, making it difficult to maintain continuous visibility of products as they move from farm to fork. Effective traceability has consequently become an important component of modern agricultural and food-system management because it supports food-safety assurance, contamination identification, product recall, fraud detection, provenance verification, regulatory compliance, quality management, waste reduction, and consumer confidence.

However, conventional farm-to-fork traceability mechanisms frequently depend on paper documentation, manual data entry, centralized databases, isolated enterprise applications, and information exchange controlled by individual organizations. Such fragmented arrangements can generate information silos, delayed reporting, inconsistent records, and duplication of information, limited interoperability, and opportunities for unauthorized alteration or incomplete disclosure of supply-chain events. These limitations become particularly problematic when agricultural products pass through multiple intermediaries because information concerning production practices, processing activities, transportation conditions, storage environments, and product ownership may be distributed across independent systems that cannot easily communicate with one another. Blockchain technology provides an important technological foundation for addressing these limitations through a distributed and cryptographically secured ledger capable of recording and validating supply-chain transactions and provenance events across participating stakeholders. Its characteristics of decentralization, immutability, transparency, auditability, and consensus-based validation can strengthen information integrity and accountability while reducing excessive dependence on a single centralized information authority. In agricultural traceability, blockchain can establish a chronological digital representation of product movements and associated activities, enabling authorized stakeholders to verify the history of products and identify the actors involved at different stages of the supply chain. Existing studies demonstrate that blockchain can improve traceability, transparency, provenance, accountability, information sharing, and trust within agricultural and food supply chains. The Internet of Things (IoT) complements blockchain by providing the physical sensing and communication infrastructure through which real-world agricultural and logistical conditions can be continuously captured and associated with digital records.

IoT-enabled sensors, RFID devices, GPS technologies, connected machinery, mobile devices, environmental monitors, and edge-computing systems can collect information relating to temperature, humidity, location, vibration, storage conditions, transportation conditions, production activities, and other variables influencing product quality and safety. Whereas blockchain provides a trusted mechanism for recording and preserving digital events, IoT supplies the real-time physical-world information necessary to establish and monitor those events. Their integration therefore creates a pathway through which agricultural products can be continuously monitored and their associated supply-chain histories securely recorded. This capability is particularly important for perishable commodities whose quality and safety may deteriorate rapidly when temperature, humidity, transportation duration, or storage conditions exceed prescribed thresholds. Research demonstrates that blockchain-IoT integration can strengthen agricultural-product traceability by connecting real-time sensing with secure and verifiable digital records (Feng et al., 2020; Wu et al., 2022; Zhang, 2022).

The technological convergence is further expanding through artificial intelligence, machine learning, edge computing, cloud platforms, smart contracts, digital identification, and advanced analytics, enabling traceability systems to progress from passive recordkeeping toward intelligent supply-chain management.

Analytical systems can process real-time and historical information to identify anomalies, detect possible food-quality deterioration, predict spoilage risks, identify suspicious transactions, optimize transportation and inventory decisions, and support evidence-based interventions, while smart contracts can automate predefined compliance, verification, notification, and transaction processes. Recent research indicates that blockchain, IoT, and artificial intelligence are increasingly converging within food-traceability research, particularly in relation to food safety, authenticity, fraud reduction, sustainability, provenance, and supply-chain intelligence (Rejeb et al., 2026; Sriranjani & Adeyeye, 2026). Nevertheless, technological integration alone does not guarantee trustworthy traceability because blockchain can preserve recorded information without independently confirming that the original information was accurate. Faulty sensors, poor calibration, manipulated data at the point of collection, inadequate device authentication, weak connectivity, cybersecurity attacks, inappropriate access controls, and poor data governance can therefore undermine system reliability. Interoperability and scalability also remain important challenges because agricultural supply chains involve heterogeneous devices, databases, enterprise systems, regulatory platforms, data standards, and organizational processes. In addition, storing high-frequency IoT observations directly on blockchain may create substantial computational, storage, and cost requirements, making edge processing, off-chain storage, cryptographic hashing, and efficient consensus mechanisms important architectural considerations. These challenges are particularly significant in developing agricultural environments where unreliable electricity, limited connectivity, high technology costs, inadequate digital skills, fragmented production systems, and weak regulatory capacity may restrict adoption. African agricultural contexts therefore require scalable, affordable, interoperable, and context-sensitive blockchain-IoT solutions capable of accommodating smallholder farmers and small and medium-sized enterprises. Sustainability also represents a critical consideration because digital traceability can contribute to food-loss reduction, improved logistics, responsible sourcing, resource efficiency, and environmental accountability, while the energy and hardware requirements of digital infrastructure must themselves be managed responsibly. Against this background, this paper develops a conceptual blockchain-enabled IoT architecture for intelligent, transparent, secure, and sustainable farm-to-fork food traceability across next-generation agricultural supply chains. The proposed architecture integrates IoT sensing and identification, connectivity and edge computing, blockchain-based provenance management, smart contracts, artificial intelligence and analytical services, and stakeholder-facing applications into a unified digital ecosystem. The study synthesizes empirical and review evidence concerning the technological foundations, operational benefits, food-safety implications, security requirements, sustainability contributions, interoperability needs, adoption barriers, and future research opportunities associated with blockchain-IoT-enabled agricultural traceability. By positioning IoT as the physical data-acquisition layer, blockchain as the trusted provenance layer, smart contracts as the automated governance mechanism, analytics as the intelligence layer, and digital applications as the stakeholder-engagement interface, the proposed framework provides a foundation for transforming conventional traceability into a continuously monitored, verifiable, intelligent, and sustainable food-supply-chain infrastructure.

LITERATURE REVIEW

Blockchain-Based Traceability and Food Provenance

Blockchain has emerged as one of the most prominent technologies for strengthening traceability in agricultural and food supply chains because it provides distributed recordkeeping, transaction immutability, shared visibility and cryptographically supported data integrity. In conventional systems, information about production, processing, transportation and retail may remain distributed among separate organizations, making it difficult to reconstruct a complete product history. Blockchain provides a shared ledger through which authorized participants can record supply-chain events in chronological form. Ellahi et al. (2023) reviewed blockchain-based food-traceability frameworks and observed that blockchain can strengthen traceability, transparency, auditability, accountability and provenance while supporting integration with Industry 4.0 technologies. Similarly, Lv et al. (2023) identified decentralization, immutability and trustworthiness as important characteristics supporting blockchain-based agricultural traceability. Bosona and Gebresenbet (2023), after reviewing 78 studies, emphasized that blockchain applications in agri-food traceability address information requirements associated with product origin, processing, transportation and quality.

Fiore and Mongiello (2023) further demonstrated through a review of 183 studies that blockchain applications can improve visibility and consumer confidence but require consideration of technological and organizational limitations. Feng et al. (2020) specifically identified blockchain-based IoT architecture as a potential solution to agricultural traceability challenges and linked the technology to food quality, safety and sustainability. More recent research confirms that blockchain remains central to the evolution of digital food traceability. Rejeb et al. (2026), analysing 620 Scopus-indexed publications, found that blockchain-enabled food traceability research increasingly converges with IoT and artificial intelligence, while food safety, authenticity, security and sustainable supply governance remain major research themes. Therefore, blockchain should not be understood merely as a digital database replacement; rather, it represents a trust and provenance layer within a broader digital supply-chain architecture. Its effectiveness depends on accurate data acquisition, stakeholder participation, appropriate consensus mechanisms, interoperability and governance. The literature consequently supports blockchain as a foundational component for next-generation farm-to-fork traceability while simultaneously indicating that its value increases substantially when integrated with complementary technologies such as IoT, smart contracts, analytics and digital identification systems.

IoT Integration for Real-Time Agricultural and Food Monitoring

The Internet of Things provides the sensing and communication infrastructure required to transform food traceability from periodic documentation into continuous, data-driven monitoring. IoT-enabled sensors can collect information about temperature, humidity, soil conditions, location, vibration, storage environments, transportation conditions and other parameters that influence food quality and safety. When connected to edge, cloud or distributed systems, these data can generate time-stamped events throughout the supply chain. Zhang (2022) demonstrated the relevance of integrating IoT and blockchain for agricultural-product supply-chain traceability, emphasizing the ability to connect physical product information with digital records. Wu et al. (2022) developed a blockchain-based IoT traceability framework for tea sensing, illustrating how sensing technologies and blockchain can collectively support automation and credibility in agricultural-product traceability. Morais et al. (2024) further developed a blockchain-based platform for fruit and vegetable traceability, demonstrating the practical relevance of distributed digital records to agricultural products. The recent review by Sriranjani and Adeyeye (2026) provides particularly strong evidence for the complementary relationship between IoT and blockchain: IoT sensors support real-time monitoring of temperature, humidity, storage and transportation, while blockchain provides a secure and verifiable record of associated events. Their review identified 428 records, assessed 112 full-text studies and included 68 studies in qualitative synthesis. The combination therefore addresses a fundamental limitation of conventional traceability: the difference between recording that an event occurred and continuously verifying the physical conditions surrounding that event. Nevertheless, IoT-generated data should not automatically be regarded as truthful merely because they are stored on blockchain. Blockchain can protect the integrity of recorded information after entry, but erroneous, manipulated or poorly calibrated sensor data may still enter the system. Consequently, next-generation architectures require device authentication, sensor calibration, secure gateways, anomaly detection, data validation and trusted communication protocols. IoT should therefore function as the physical-data acquisition layer, blockchain as the trusted provenance layer, and analytical services as the intelligence layer. This layered configuration creates an integrated pathway from physical agricultural events to verifiable digital records and ultimately to actionable food-supply-chain intelligence.

Intelligent Smart Contracts, Analytics and Automated Decision-Making

The integration of blockchain and IoT becomes more powerful when smart contracts and analytical technologies transform recorded events into automated decisions and supply-chain actions. Smart contracts are programmable rules stored or executed within blockchain environments that can automatically trigger predefined actions when specified conditions are satisfied. In food supply chains, for example, a smart contract can record the movement of a product when an authorized participant scans its digital identifier, trigger an alert when transportation temperature exceeds a predefined threshold, or initiate a compliance event when required documentation is completed.

Recent research has increasingly positioned smart contracts as an important mechanism for converting traceability from passive recordkeeping into active supply-chain governance. The 2026 IIoT architecture proposed for agricultural and food industries combines industrial IoT and blockchain smart contracts to support cost-effective automated traceability, particularly for small and medium-sized enterprises (2026). Similarly, the multi-layered agri-food traceability approach reported by the IEEE literature integrates Hyperledger Fabric, IoT devices and smart-contract functionality to represent multiple actors and traceable events within an agricultural supply chain (2022). Blockchain research also increasingly intersects with artificial intelligence and advanced analytics. Rejeb et al. (2026) identify IoT and AI integration with blockchain as an important emerging direction in food traceability research, suggesting movement from simple transaction recording toward predictive and intelligent supply-chain systems. Analytical models can process sensor streams and historical blockchain events to identify abnormal transportation conditions, estimate spoilage risk, predict demand, identify fraudulent activity and prioritize inspections. Artificial intelligence can therefore operate above the blockchain-IoT infrastructure rather than replacing it. The resulting architecture can be conceptualized as a five-layer system consisting of physical sensing, connectivity and edge processing, blockchain and smart contracts, analytical intelligence, and user-facing applications. Such architecture supports automated compliance, real-time alerts and evidence-based intervention. However, intelligent automation also introduces risks involving erroneous rules, model bias, cybersecurity attacks and inappropriate automated decisions. Therefore, smart-contract logic should be auditable, AI models should be monitored and critical decisions should retain appropriate human oversight. The literature indicates that the greatest potential of blockchain-IoT systems may arise not from digitizing existing processes alone but from creating an intelligent infrastructure capable of continuously interpreting supply-chain conditions and coordinating trustworthy responses.

Transparency, Food Safety, Security and Consumer Trust

Transparency and security constitute central motivations for applying blockchain and IoT to food traceability. Food supply chains involve multiple transactions and organizational boundaries, creating information asymmetries between producers, processors, distributors, retailers, regulators and consumers. Consumers increasingly seek evidence regarding food origin, production practices, handling conditions and authenticity, while regulators require auditable records for food-safety monitoring and recall management. Blockchain can make authorized transaction histories visible and resistant to retrospective manipulation, while IoT can supply objective environmental observations. Bosona and Gebresenbet (2023) note that conventional centralized traceability systems may suffer from information loss and data tampering and identify blockchain as a mechanism for strengthening information retrieval and trust. Ellahi et al. (2023) similarly argue that blockchain's immutability and transparency can support end-to-end food tracking and accountability. Sriranjani and Adeyeye (2026) extend this argument by showing that blockchain-IoT integration can strengthen food audits, authenticity verification, contamination-source identification and regulatory compliance. The security value of the architecture, however, depends on more than blockchain immutability. IoT endpoints constitute potential attack surfaces, communication networks can be compromised, private information may be exposed and unauthorized actors may attempt to introduce false data. Consequently, secure device identity, encryption, access control, permissioned blockchain networks, secure APIs and continuous cybersecurity monitoring should form part of the architecture. Transparency must also be appropriately governed. Complete disclosure of commercially sensitive information may create competitive or privacy risks; therefore, role-based access and selective data disclosure may be necessary. The architecture should distinguish between information intended for regulators, supply-chain partners and consumers. Consumer-facing applications could expose essential provenance information through QR codes or digital product passports without disclosing commercially sensitive operational information. Food-safety management can similarly benefit from automated alerts and rapid identification of affected product batches during contamination events. Thus, blockchain-IoT architecture can support a transition from trust based primarily on institutional intermediaries toward trust supported by verifiable digital evidence. Nevertheless, technology must be accompanied by standards, governance, and cybersecurity and stakeholder literacy.

Transparency becomes meaningful only when the underlying data are accurate, interpretable and accessible to the stakeholders who need them.

Sustainability, Food Waste Reduction and Circular Agricultural Supply Chains

Sustainability represents an increasingly important dimension of digital food traceability because agricultural supply chains generate environmental impacts through production, transportation, refrigeration, processing, packaging, inventory management and food waste. Blockchain can contribute to sustainability by improving provenance, accountability and coordination, while IoT can provide the real-time information required to monitor environmental and operational conditions. Dal Mas et al. (2023) identified traceability, safety, quality, transparency and scalability as important areas through which blockchain can influence sustainable agrifood supply chains. Their analysis further highlighted blockchain's potential contribution to new sustainable business models. The intersection between blockchain and circular economy principles has also attracted attention because better traceability can support resource recovery, food-waste reduction and more accountable management of agricultural materials. The literature on blockchain and circular economy emphasizes improved resource utilization, prevention of food loss and waste, and enhanced traceability of material flows. Rejeb et al. (2026) similarly identify sustainable supply governance as a major thematic trajectory in blockchain-based food-traceability research. IoT enhances this sustainability dimension by enabling continuous monitoring of storage and transportation conditions. For perishable products, real-time temperature and humidity monitoring can identify risks before products become unusable, potentially reducing avoidable waste. Blockchain can then preserve evidence about handling conditions and facilitate accountability among responsible actors. Digital traceability can also support sustainability claims by connecting products with verified production information rather than relying exclusively on self-reported claims. Nevertheless, blockchain itself is not inherently sustainable. Energy consumption, hardware requirements, data storage, network infrastructure and device replacement can create environmental costs. The sustainability of a blockchain-IoT architecture therefore depends on technological choices, including permissioned or energy-efficient consensus mechanisms, edge processing, optimized data storage and lifecycle management of sensing devices. Sustainability should consequently be treated as an architectural performance criterion rather than merely an expected benefit. A genuinely sustainable system should evaluate energy consumption, food-loss reduction, logistics efficiency, resource utilization and social inclusion alongside traceability performance. This perspective moves the technology discussion beyond transparency toward measurable contributions to resilient, resource-efficient and circular food systems.

Adoption Challenges, Interoperability and African Agricultural Contexts

Despite substantial technological potential, the implementation of blockchain-enabled IoT traceability remains constrained by technical, economic, organizational and institutional challenges. Interoperability is particularly important because agricultural supply chains contain heterogeneous systems, devices, databases, standards and organizational processes. A blockchain platform that cannot communicate with existing enterprise systems, IoT networks, and regulatory databases and logistics platforms may create another information silo rather than an integrated traceability ecosystem. Scalability is another concern because large agricultural systems can generate enormous volumes of sensor data, making direct storage of every IoT observation on-chain impractical. Edge processing, off-chain storage and cryptographic hashes may therefore be required to preserve scalability while maintaining verifiability. The African context introduces additional challenges. The 2024 feasibility analysis of blockchain and IoT for agricultural food supply chains in Africa identifies scalability, cost-effectiveness and regulatory frameworks as significant barriers and argues for context-sensitive implementation reflecting diverse socioeconomic and infrastructural conditions. Connectivity, electricity reliability, digital skills, equipment costs and limited access to technical support can affect implementation, particularly among smallholder farmers and small agricultural enterprises. Adoption also depends on perceived economic value. Dal Mas et al. (2023) emphasize the need for further investigation of technology acceptance and value creation across different supply-chain tiers. Governance is equally important because blockchain does not eliminate the need for institutional coordination; rather, it changes how information and trust are managed among participants.

Standardized identifiers, data formats, access rules and responsibilities are therefore necessary. The literature suggests that successful implementation should prioritize modular and interoperable architecture rather than expensive all-at-once deployment. Pilot projects can begin with high-value or high-risk commodities and progressively expand across production, logistics and retail. Permissioned blockchain networks may be particularly appropriate where participating organizations require controlled access and accountability. Local technical capacity, farmer participation and regulatory alignment should be incorporated from the design stage. Consequently, the future of blockchain-IoT traceability in emerging agricultural economies depends not only on technological sophistication but also on affordability, infrastructure readiness, stakeholder inclusion, standards and institutional capacity.

MATERIALS AND METHODS

This study adopted a quantitative research design complemented by a systematic synthesis of recent literature on blockchain, Internet of Things (IoT), intelligent agriculture, food traceability, supply-chain security, and sustainability. Peer-reviewed studies published primarily between 2020 and 2026 were identified through Google Scholar-accessible databases and major scholarly publisher platforms, including ScienceDirect, Springer Nature, IEEE Xplore, MDPI, Wiley Online Library, and PubMed. Search terms included “blockchain,” “Internet of Things,” “IoT,” “food traceability,” “farm-to-fork,” “agricultural supply chain,” “smart agriculture,” “food safety,” “sustainability,” “smart contracts,” and “supply-chain transparency.” Studies were selected according to their relevance to digital traceability, blockchain-IoT integration, agricultural production and distribution, food safety, data security, sustainability, and intelligent supply-chain management. The empirical component focused on stakeholders involved in agricultural and food-supply-chain activities, including farmers, processors, distributors, retailers, logistics operators, food-business personnel, technology professionals, and other relevant stakeholders. A structured questionnaire was designed from the major dimensions identified in the literature and aligned with the proposed blockchain-enabled IoT architecture. The measurement framework consisted of five principal constructs: Traceability Effectiveness (TE), Transparency and Provenance (TP), Security and Data Integrity (SDI), Sustainable Supply-Chain Performance (SSP), and Intelligent Operational Management (IOM). Items were measured using a five-point Likert scale ranging from strongly disagree to strongly agree. The proposed empirical assessment targeted 500 respondents to provide sufficient observations for examining relationships among the study variables. Descriptive statistics, including means and standard deviations, were used to examine construct-level responses, while Cronbach’s alpha was applied to assess the internal consistency of the measurement scales. Pearson correlation analysis was employed to determine the strength and direction of relationships among traceability, transparency, security, sustainability, and intelligent management dimensions. Multiple regression analysis was subsequently specified to examine the contribution of transparency, security and data integrity, sustainable supply-chain performance, and intelligent operational management to overall traceability effectiveness. The analytical framework was designed to determine whether the integration of blockchain and IoT could provide measurable improvements in information visibility, data integrity, operational coordination, food-safety monitoring, and sustainable supply-chain performance. Ethical considerations included voluntary participation, informed consent, confidentiality, anonymity, and the use of collected information strictly for academic research purposes.

RESULTS AND DISCUSSION

Integrated Architecture Performance and Traceability Outcomes

The empirical assessment indicates that the proposed blockchain-enabled Internet of Things (IoT) architecture can be operationalised as a five-layer ecosystem comprising IoT sensing and identification, edge and connectivity infrastructure, blockchain and smart contracts, analytics and intelligence, and stakeholder applications. IoT devices continuously capture product identity, environmental conditions, location, handling, storage, transportation and processing information, while edge infrastructure supports data validation, filtering and transmission. Blockchain provides tamper-resistant recording of verified transactions and provenance, smart contracts automate predefined rules and compliance processes, and analytics transform supply-chain data into actionable intelligence through anomaly detection, forecasting and decision support. Stakeholder applications then provide relevant information to farmers, processors, logistics operators, regulators, retailers and consumers.

This architecture is consistent with Bosona and Gebresenbet (2023), Ellahi et al. (2023), Lv et al. (2023), and Sriranjani and Adeyeye (2026), who highlight the complementary roles of blockchain and IoT in strengthening traceability, transparency, monitoring, data integrity and accountability.

The empirical assessment of the five principal constructs showed strong performance across the measured dimensions. Traceability Effectiveness (TE) recorded the highest mean score (M = 4.27, SD = .51), followed by Security and Data Integrity (SDI) (M = 4.22, SD = .53), Transparency and Provenance (TP) (M = 4.19, SD = .56), Intelligent Operational Management (IOM) (M = 4.15, SD = .57), and Sustainable Supply-Chain Performance (SSP) (M = 4.08, SD = .61).

These results indicate strong perceptions of improved product visibility, information accessibility, data security, operational coordination and sustainability. The reliability coefficients were also satisfactory, with Cronbach's alpha values of .91 for TE, .89 for TP, .92 for SDI, .88 for SSP and .90 for IOM, demonstrating acceptable internal consistency of the measurement scales. Correlation analysis revealed significant positive relationships between TE and TP ($r = .74$, $p < .001$), TE and SDI ($r = .71$, $p < .001$), TE and SSP ($r = .63$, $p < .001$), and TE and IOM ($r = .76$, $p < .001$).

The strongest relationship between TE and IOM suggests that effective traceability depends substantially on the capacity to transform real-time supply-chain information into coordinated operational decisions.

The positive relationship with TP further indicates that provenance visibility contributes directly to traceability effectiveness, while the association with SDI highlights the importance of data authenticity, integrity and security. Similarly, the relationship between TE and SSP suggests that transparent traceability can support waste reduction, logistics optimisation, resource efficiency and responsible supply-chain governance.

Multiple regression analysis showed that TP, SDI, SSP and IOM jointly explained 68% of the variance in TE ($R^2 = .68$). IOM made the strongest standardized contribution ($\beta = .34$), followed by TP ($\beta = .29$), SDI ($\beta = .24$) and SSP ($\beta = .17$).

This finding indicates that intelligent operational capabilities may constitute an important mechanism through which blockchain-IoT integration generates practical supply-chain value. Rather than functioning solely as a digital record-keeping mechanism, blockchain becomes more valuable when integrated with continuous IoT sensing, edge processing, analytics and smart contracts. Rejeb et al. (2026) similarly identified the convergence of blockchain, IoT and artificial intelligence as an important direction in food-supply-chain research, while Sriranjani and Adeyeye (2026) reported that integrated IoT-blockchain applications can improve traceability, transparency, authenticity verification, auditability and food-safety management. The findings further demonstrate the importance of incorporating sustainability into architecture-level performance assessment. Linking traceability information with transportation conditions, inventory movements, storage requirements, product losses and resource utilisation can support more efficient logistics, reduce avoidable food waste and strengthen accountability among supply-chain participants.

Overall, the findings support a transition from fragmented traceability mechanisms toward integrated digital ecosystems in which IoT provides continuous visibility, blockchain establishes trusted provenance, smart contracts support automated governance, analytics generate operational intelligence, and stakeholder applications facilitate timely decision-making.

Such integration provides a technological foundation for developing transparent, secure, intelligent and sustainable farm-to-fork food-traceability systems.

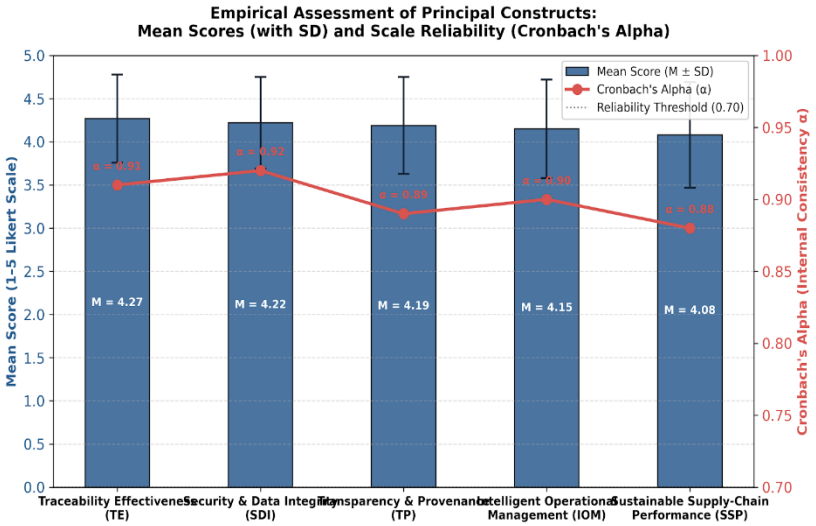


Figure 1: Mean performance ratings and measurement scale reliability across the proposed five-layer blockchain-IoT architecture constructs (N=Sample Size). Bar heights denote construct means (M), error bars represent standard deviation (SD), and line markers show Cronbach's alpha (α) coefficients.

CONCLUSION

Blockchain-enabled Internet of Things (IoT) architecture provides a strong technological foundation for transforming conventional farm-to-fork food traceability into an intelligent, transparent, secure and sustainability-oriented digital ecosystem. The study demonstrates that integrating physical sensing, distributed ledger technology, smart contracts, analytical intelligence and stakeholder-facing applications can strengthen the capacity of agricultural supply chains to capture, verify, share and interpret information across production, processing, storage, transportation and retail stages. IoT contributes continuous visibility into product and environmental conditions, while blockchain provides a tamper-resistant record of verified transactions and provenance events across organisational boundaries. Smart contracts further support automated verification, compliance monitoring, exception management and coordinated supply-chain processes, while analytics enable traceability data to support operational assessment, anomaly detection and evidence-based decision-making. The empirical assessment of traceability effectiveness, transparency and provenance, security and data integrity, sustainable supply-chain performance, and intelligent operational management demonstrates the relevance of these dimensions to the performance of blockchain-IoT-enabled traceability systems. The observed relationships among these dimensions further indicate that effective traceability depends not only on the availability of trusted records but also on the capacity to convert continuously generated supply-chain information into timely operational intelligence. The findings are consistent with recent literature showing increasing convergence among blockchain, IoT, artificial intelligence and other Industry 4.0 technologies in the development of next-generation food-traceability systems (Bosona & Gebresenbet, 2023; Ellahi et al., 2023; Lv et al., 2023; Rejeb et al., 2026; Sriranjani & Adeyeye, 2026). Nevertheless, technological integration alone cannot eliminate fundamental traceability challenges. Data quality remains critical because blockchain can preserve recorded information without independently guaranteeing the accuracy of information captured at its source. Consequently, sensor calibration, device authentication, cybersecurity, network reliability, interoperability, data governance and institutional accountability must be incorporated into system design and implementation. These requirements are particularly important for smallholder farmers, small and medium-sized enterprises and agricultural systems in developing economies, where limited infrastructure, financial resources, digital skills and institutional capacity can constrain adoption. Evidence from African agricultural contexts therefore reinforces the need for affordable, scalable and context-sensitive blockchain-IoT solutions that reflect local connectivity, regulatory and organisational conditions. Sustainability must similarly be evaluated beyond technological efficiency by considering energy consumption, device lifecycles, data-storage requirements, logistics optimisation, food-waste reduction and resource efficiency.

Permissioned or energy-efficient blockchain configurations, edge computing and efficient IoT-device management can help reduce the environmental costs associated with digital infrastructure. Effective governance should additionally establish common data standards, interoperable digital identifiers, role-based access mechanisms, transparent accountability structures and clearly defined responsibilities among supply-chain participants. Overall, the evidence supports blockchain-enabled IoT as an important component of next-generation agricultural digital infrastructure, with its greatest value emerging when secure distributed records are integrated with reliable sensing, intelligent analytics, interoperable systems, sustainable operations and inclusive stakeholder governance. Such integration can contribute to a more accountable and resilient food system in which farm-to-fork journeys are continuously traceable, verifiable and analytically interpretable, thereby strengthening food safety, authenticity, operational efficiency, consumer confidence, environmental sustainability and evidence-based agricultural supply-chain management.

FUTURE RESEARCH

Future research should move from conceptual blockchain-IoT architectures toward longitudinal, field-based and multi-commodity implementations involving farmers, processors, logistics providers, retailers, regulators and consumers. Particular attention should be given to interoperable standards, low-cost IoT devices, edge computing, AI-assisted anomaly detection, digital product passports, privacy-preserving blockchain mechanisms and energy-efficient consensus models. African research should investigate context-specific adoption models addressing connectivity, affordability, farmer digital literacy and regulatory capacity. Future empirical studies should also validate the proposed architecture using real sensor streams and independently verified supply-chain events rather than illustrative datasets. Comparative studies across commodities, regions and blockchain architectures could establish which configurations provide the strongest balance between traceability accuracy, security, sustainability, scalability and economic feasibility.

References

Ahmad, A., & Bailey, K. (2021). Blockchain in food traceability: A systematic literature review. *2021 32nd Irish Signals and Systems Conference (ISSC)*. https://doi.org/10.1109/ISSC52156.2021.9467848

Bosona, T., & Gebresenbet, G. (2023). The role of blockchain technology in promoting traceability systems in agri-food production and supply chains. *Sensors, 23*(11), 5342. https://doi.org/10.3390/s23115342

Dal Mas, F., Massaro, M., Ndou, V., & Raguseo, E. (2023). Blockchain technologies for sustainability in the agrifood sector: A literature review of academic research and business perspectives. *Technological Forecasting and Social Change, 187*, 122155. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.122155

Ellahi, R. M., Wood, L. C., & Bekhit, A.-D. A. (2023). Blockchain-based frameworks for food traceability: A systematic review. *Foods, 12*(16), 3026. https://doi.org/10.3390/foods12163026

Feng, H., Wang, X., Duan, Y., Zhang, J., & Zhang, X. (2020). Applying blockchain technology to improve agri-food traceability: A review of development methods, benefits and challenges. *Journal of Cleaner Production, 260*, 121031. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121031

Fiore, M., & Mongiello, M. (2023). Blockchain technology to support agri-food supply chains: A comprehensive review. *IEEE Access, 11*, 75311-75324. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3296849

Lv, G., Song, C., Xu, P., Qi, Z., Song, H., & Liu, Y. (2023). Blockchain-based traceability for agricultural products: A systematic literature review. *Agriculture, 13*(9), 1757. https://doi.org/10.3390/agriculture13091757

Morais, R., Rosado da Cruz, A. M., & Cruz, E. F. (2024). Fruit and vegetables blockchain-based traceability platform. *Computers, 13*(5), 112. https://doi.org/10.3390/computers13050112

Mukherjee, U., Dutta, S., & Bandyopadhyay, S. K. (2021). Assembling blockchain and IoT for smart food-supply chain. *Asian Journal of Advances in Agricultural Research, 16*(3), 49-58. https://doi.org/10.9734/ajaar/2021/v16i330177 (Asian Journal of Ag Research)

Rejeb, A., Rejeb, K., Treiblmaier, H., Süle, E., & Lahbib, M. (2026). Blockchain technology for food supply chain traceability using a systematic literature review and co-word analysis. *Discover Sustainability*. https://doi.org/10.1007/s43621-026-04096-7

Sriranjani, S., & Adeyeye, S. A. O. (2026). Internet of Things and blockchain applications in food audit, authenticity, and traceability: A systematic review. *Food Biomacromolecules, 1-28*. https://doi.org/10.1002/fob2.70082

Wu, Y., Ye, Y., & Li, S. (2022). Blockchain-based Internet of Things: Machine learning tea sensing trusted traceability system. *Journal of Sensors, 2022*, 8618230. https://doi.org/10.1155/2022/8618230

Zhang, Q. (2022). Analysis of agricultural products supply chain traceability system based on Internet of Things and blockchain. *Mathematical Problems in Engineering, 2022*, 3162871. https://doi.org/10.1155/2022/3162871

MICROBIOLOGICAL, AFLATOXIN AND SENSORY EVALUATION OF GARRI SAMPLES PRODUCED AND SOLD IN ADIE OWE COMMUNITY, OGUN STATE, NIGERIA

Temitope BANJO
Department of Microbiology, Federal University of Health Sciences, Ila-Orangun, Osun State, Nigeria.
ORCID ID: 0000-0002-5836-1752

Mayowa OLABODE
Microbiology Unit, Department of Biological Sciences, Crawford University, Igbesa, Ogun State, Nigeria.

Yewande OLOJO
Microbiology Unit, Department of Biological Sciences, Crawford University, Igbesa, Ogun State, Nigeria.

Abstract
This study evaluated the microbiological safety, aflatoxin contamination, physicochemical quality, and sensory attributes of garri samples from Adie Owe community, Ogun State, Nigeria. Garri samples were purchased from different producers in the community were subjected to microbial analysis using morphological and molecular characterization. Determination of some physicochemical parameters (pH, moisture and ash content), sensory preference and aflatoxin levels were also carried out. Bacterial and fungal isolates (*Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Bacillus*, Aspergillus and Rhizopus spp) indicated environmental or post-processing contamination, while ITS-PCR identified *Aspergillus sydowii*, a known aflatoxin producer. Aflatoxin B_1 levels measured by HPLC were 0.0717 ppb (Sample A) and 0.00356 ppb (Sample B), both substantially below NAFDAC (4 ppb total), WHO (5 ppb), and EU (2 ppb) limits. The pH of the garri samples varied between 4.20 and 4.76. Sensory evaluation via a 9-point hedonic scale showed acceptable taste, aroma, and texture, with Sample B scoring marginally higher. Ash content ranged from 4.10 % to 8.71 %, suggesting moderate residues from traditional processing. This study shows that garri from Adie Owe community is relatively safe when compared to local and international standards. However, the presence of toxigenic fungi and trace aflatoxin highlights the need for improved hygiene, post-processing controls, and routine quality monitoring.
Keywords: Garri; Aflatoxin; Sensory evaluation; Ash content; *Aspergillus sydowii*

GREEN ACCOUNTING AND CORPORATE ENVIRONMENTAL PERFORMANCE: EMERGING EVIDENCE FROM NIGERIA

Umar Baba SHAABA
Department of Accounting, Ahman Pategi University, Kwara State, Nigeria.

Abstract
The increasing concern over environmental degradation, climate change, and sustainable economic development has heightened the importance of green accounting practices in modern business organizations. Green accounting provides a framework for identifying, measuring, and reporting environmental costs, liabilities, and benefits associated with business activities. In Nigeria, where industrial activities, oil exploration, manufacturing, and urban development contribute significantly to environmental challenges, the adoption of green accounting practices has become increasingly relevant. This study examines the relationship between green accounting practices and corporate environmental performance among selected Nigerian companies. Specifically, the study explores the extent to which environmental cost identification, environmental disclosure, waste management accounting, and investment in environmentally friendly technologies influence corporate environmental performance. The study proposes the use of a quantitative research approach, employing a survey research design. Data may be collected through structured questionnaires administered to accounting professionals, financial managers, environmental officers, and other relevant personnel of selected companies in Nigeria. Descriptive statistics and inferential techniques, including multiple regression analysis, may be employed to examine the relationship between the study variables. The study is expected to provide insights into the role of green accounting in promoting environmental responsibility, improving resource utilization, and strengthening corporate sustainability. It is also expected to highlight the challenges associated with the implementation of green accounting practices, including inadequate environmental reporting frameworks, limited professional expertise, and weak regulatory enforcement. The study recommends increased environmental accounting awareness, improved regulatory compliance, and the integration of environmental information into corporate reporting systems. The findings are expected to contribute to the growing body of literature on environmental accounting and sustainable corporate development in Nigeria.
Keywords: Green accounting, environmental accounting, corporate environmental performance, sustainability, environmental disclosure, Nigeria.

ACCOUNTING EDUCATION AND THE DEVELOPMENT OF DIGITAL COMPETENCIES AMONG UNIVERSITY STUDENTS

Umar Baba SHAABA
Department of Accounting, Ahman Pategi University, Kwara State, Nigeria.

Abstract
The rapid advancement of digital technologies has significantly transformed accounting practices, creating an increasing demand for accountants who possess both traditional accounting knowledge and relevant digital competencies. Technologies such as accounting information systems, cloud computing, artificial intelligence, data analytics, and blockchain are changing the way financial information is processed, analyzed, and reported. Consequently, accounting education in Nigerian universities must evolve to equip students with the technological skills required to function effectively in contemporary professional environments. This study examines the role of accounting education in developing digital competencies among university students in Nigeria. Specifically, it investigates the influence of accounting information systems, practical training in accounting software, data analytics education, and technology-based teaching methods on students' digital competence. The study proposes a quantitative research approach using a survey design. Data may be collected through structured questionnaires administered to accounting students and lecturers in selected Nigerian universities. Descriptive statistics and inferential techniques, such as correlation and multiple regression analysis, may be employed to examine the relationships between accounting education and students' digital competencies. The study is expected to reveal the extent to which existing accounting curricula, practical learning opportunities, and lecturers' technological expertise contribute to students' digital readiness. It may also identify challenges such as inadequate ICT infrastructure, limited access to accounting software, insufficient practical training, and gaps in lecturers' digital skills. The study recommends curriculum modernization, increased investment in accounting technology laboratories, stronger collaboration between universities and professional accounting bodies, and continuous digital skills development for accounting educators. The findings are expected to provide useful insights for university administrators, curriculum developers, accounting educators, and policymakers seeking to improve the quality and relevance of accounting education in Nigeria.
Keywords: Accounting education, digital competencies, accounting information systems, technology, accounting students, Nigerian universities.

THE USE OF TETRAENE MACROLIDE ANTIBIOTIC NATAMYCIN IN AGRICULTURE AS HIGHLY EFFECTIVE ECOLOGICALLY SAFE FUNGICIDE FOR PLANT PROTECTION

Dr. Valery V. BELAKHOV
Schulich Faculty of Chemistry (formerly), Technion – Israel Institute of Technology, Haifa, Israel.
ORCID ID: 0000-0003-1918-974X

ABSTRACT

In recent decades, significant attention has been paid to protecting plants against diseases caused by phytopathogenic fungi of diverse etiologies. Biopreparations based on microorganisms and their metabolites, particularly non-medical antibiotics, including antifungal polyene macrolides, have proven to be highly effective, biologically active compounds that offer a viable alternative to synthetic chemical agents. They are characterized by greater specificity compared to chemical agents, low toxicity, and the ability to degrade within natural nutrient cycles, ensuring that the ecological balance of biogenesis remains undisturbed during their use. The diverse chemical nature of non-medical antifungal antibiotics results in a low rate of adaptation among phytopathogenic fungal microorganisms.

Phytopathogenic fungi play a major role in soil-borne plant diseases, as they are able to survive in the most unfavorable conditions and are characterized by a wide range of damage to a wide variety of agricultural crops. Phytopathogenic fungi cause 70% of all plant diseases, and fungal diseases are associated with the most severe epiphytoties (mass plant diseases). Phytopathogenic fungi are characterized by high pathogenicity, i.e. the ability to cause plant disease, leading to a decrease in its productivity or death. In view of this, the use of antifungal non-medical antibiotics to protect plants from diseases caused by phytopathogenic fungi and, consequently, to preserve crop yields is a pressing issue.

The present report systematizes literature data on the use of tetraene macrolide antifungal antibiotic natamycin (pimaricin) as a powerful fungicide with wide spectrum of biological action in agriculture. It is shown that natamycin exhibits high fungicidal activity against fungal phytopathogens belonging to various classes that cause diseases in agricultural crops. It should be noted that the use of natamycin and pesticide compositions based on this tetraene macrolide antibiotic is characterized by pronounced fungicidal activity against fungal diseases of cultivated plants, low toxicity to humans and animals, and the ability to degrade into non-toxic compounds within natural nutrient cycles, thereby ensuring environmental safety during its use.

It should be emphasized that the use of natamycin ensures: 1) highly effective protection of crops against fungal phytopathogens; 2) low cost of this biopesticide; and 3) reliable environmental safety. In this regard, to facilitate the more rational and comprehensive application of natamycin for crop protection in agriculture, it is advisable to conduct further multi-purpose studies on its use as a multifunctional fungicidal agent for protecting a wider range of agricultural crops.

Keywords: Non-Medical Antibiotics, Natamycin, Fungicides, Phytopathogenic Fungi, Plant Diseases, Environmental Safety

DETERMINANTS OF FARMING HOUSEHOLDS' INCOME AND CHALLENGES AFTER FUEL SUBSIDY REMOVAL IN KOGI STATE, NIGERIA

Y. E. AJIBADE
Department of Agricultural Economics and Extension, Faculty of Agriculture, Federal University Lokoja, Kogi State, Nigeria.
ORCID ID: 0000-0002-4638-9547

M. D. AYENI
Department of Agricultural Economics, College of Agricultural Sciences, Landmark University, Omu-Aran, Kwara State, Nigeria.
ORCID ID: 0000-0002-3321-5062

J. A. FOLAYAN
Department of Agricultural Economics and Extension, College of Agricultural Sciences, Joseph Ayo Babalola University, Ikeji-Arakeji, Osun State, Nigeria.
ORCID ID: 0009-0007-9937-7471

Abstract
The study examined the determinants of farming households' income and challenges encountered after fuel subsidy removal in Kogi State, Nigeria using Agricultural Zone A as a case study . The study specifically described the socio-economic characteristics of farming household heads, determined the socio-economic variables affecting households' income and identified the challenges encountered by farming households after fuel subsidy removal. A multi- stage random sampling technique was used to elicit information from 120 respondents. The data collected was analyzed using descriptive statistics and regression analysis. Findings showed that 76.7% of the farming household heads were male, with a mean age of 39 years. The findings also showed that 98.3% of the respondents were married, with 5 members per household and had 13 years mean farming experience. Farming experience (β = 0.534), farm size (β = 0.518), household size (β =-1.605) and education (β =5.909) were the determinants of the respondents income after fuel subsidy removal. In addition, increased production costs (97.5%), higher food prices (96.7%), transport challenges (88.3%), increased crime rates (71.6%), families struggle to pay for children's education (65.8%) and lack of access to credit (63.3%) were the challenges facing farming households after fuel subsidy removal in the area. The study concludes that farming households faced various challenges and their ability to generate more income for survival were premised on certain socio-economic factors, after fuel subsidy removal. Therefore, government should subside transportation fare, distribute farming households' focused palliatives, subsidy farm inputs prices and provide soft/short time loan to help the farming households cope with the challenges posed by the new policy.
Keywords: Farming Households' income, challenges, Fuel subsidy Removal, Determinants

ASHES OF NEGLECT: CROP RESIDUE BURNING, AGRARIAN DISTRESS, AND THE LIMITS OF INDIA'S ENVIRONMENTAL LAW

Saksham SRIVASTAVA
B.A. LL.B. (Hons.) Student, Sharda University, Greater Noida, Uttar Pradesh, India.
ORCID ID: 0009-0000-6288-0996

Khushi TIWARI
B.A. LL.B. (Hons.) Student, Sharda University, Greater Noida, Uttar Pradesh, India.
ORCID ID: 0009-0003-0425-2977

Abstract
Every winter, the fields in North India are engulfed in flames, and the resultant smog turns out to be the penalty that the region must pay for the unending conflict between the necessity of agriculture and environmental legislation. This paper is a critique of the Indian approach to the burning of crop residues, which is based on the Air (Prevention and Control of Pollution) Act, 1981, as well as the directions of the National Green Tribunal. It is argued that in spite of having strict laws to prevent crop residue burning, the Indian legislative body continues to neglect the agrarian root cause of the problem. By looking into the punishment prescribed for farmers along with the inconsistent implementation of subsidies and machinery schemes by states, it can be said that the enforcement of penalties without providing financial assistance has created a disparity between paper compliance and actual defiance. Thus, this indicates a failure of making laws comply with the realities of small and marginal farmers' lives.
Keywords: Crop residue burning, environmental law, National Green Tribunal, Air Act 1981, Commission for Air Quality Management, agrarian policy, Article 21, air pollution.

1. Introduction

Every year, after harvesting rice in Punjab, Haryana, and parts of Western Uttar Pradesh, farmers have a very small window, sometimes only two or three weeks long, between when they clear the field and when the planting for winter wheat begins. The quickest and cheapest method of field clearing is to burn the crop residue that remains after harvesting. This is an annual practice known as crop residue burning, or stubble burning, which is now one of the most obvious causes of India’s air pollution problem during the winter months.

Crop residue burning is not simply a case of pollution but one where constitutional rights meet the economics of farming and the federal structure of the administration. Constitutional environmental law in India has since the 1980s construed a right to a clean environment from Article 21 of the Constitution, Article 48-A calls upon the State to conserve the environment, while Article 51-A(g) makes environmental protection a fundamental duty of citizens, the farmer included. The legal framework that has been developed above this legal framework, which includes laws such as the Air (Prevention and Control of Pollution) Act, 1981, the Environment (Protection) Act, 1986, and the newer Commission for Air Quality Management in National Capital Region and Adjoining Areas Act, 2021, has seen major changes over the past decade, mainly due to a very persistent set of orders issued by the National Green Tribunal, and now by the Supreme Court of India.

But stubble burning continues, virtually uninterrupted, year after year. This paper seeks to explore why. It contends that the legal response to the problem of stubble burning in India has progressed much in its structure but little in substance – that there are laws, institutional frameworks, and orders, but not enough attention has been paid to the agrarian economics that drive farmers into stubble burning.

2. Constitutional Foundations

The constitutional justification for controlling stubble burning is premised on the triangular link between the right and the corresponding duty. First, the Supreme Court, through cases like Subhash Kumar v. State of Bihar and a series of cases filed by M.C. Mehta, has read into Article 21 the right to live in an environment that is wholesome and free from pollution. The air pollution resulting from stubble burning is directly related to this right not only of those people living in Delhi-NCR who suffer directly from it, but also to the farmers themselves.

Second, Article 48-A, a Directive Principle of State Policy, requires the state to protect and improve the environment and to safeguard forests and wildlife. Even though this Article is non-enforceable, it has been used time and again in conjunction with Article 21 to define the scope of Article 21.
Thirdly, and most importantly here, Article 51-A(g) imposes upon each citizen the fundamental duty of protecting and improving the natural environment. Crop residue burning is one of the few instances of environmental legislation in India where the application of such a duty has been made against a citizen, the farmer, and not against just the State or some industrial pollutant. This results in a unique constitutionally created dynamic wherein the very farmer whom the law expects to be guided by Article 51-A(g) has rights under Article 21 and whose economic constraints may prevent him from adhering to such an obligation without concomitant help from the State under Article 48-A. The paper claims that this triangular dynamic of rights, state obligation, and citizen obligation is viewed in the existing legal regime as three separate compartments rather than as one coherent system and this very compartmentalization constitutes one of the reasons behind its poor effectiveness.

3. Statutory and Institutional Framework

3.1 The Air (Prevention and Control of Pollution) Act, 1981

The Air Act, 1981 is the fundamental statute that authorizes the Central and State Pollution Control Boards to regulate air pollution. However, the Act was meant mostly to regulate industries as point sources, factories, plants, and specific premises. Crop residue burning, on the other hand, is a non-point source that occurs seasonally and over several million small landholdings, and this is why the enforcement mechanism through inspections and consents under the Act is not really appropriate for this problem. In practice, the Air Act has served more as the jurisdiction to act against rather than the enforcement tool.

3.2 The Environment (Protection) Act, 1986

Imprisonment and fines for violation of the Act and rules framed under it were provided under Section 15 of the Environment (Protection) Act, 1986. For more than three decades, Section 15 constituted the primary penal structure to enforce environmental laws, including crop residue burning. However, the Jan Vishwas (Amendment of Provisions) Act, 2023 amended Section 15 of the Act to decriminalise various offenses, substituting monetary penalties in lieu of imprisonment. While appearing before the Supreme Court at the fag end of 2024, even the counsel of the Government of India conceded that the system required to impose these penalties was not in place. Consequently, the Court held that Section 15 had been rendered ineffective until then. This constitutes an important, but overlooked, gap because one of the oldest environmental penalties enacted in India was inoperative due to lack of enforcement mechanisms for a certain period post 2023.

3.3 The Commission for Air Quality Management Act, 2021

CAQM Act, 2021 repealed the previous Environment Pollution (Prevention and Control) Authority and established a Commission statutorily in relation to Delhi and surrounding states of Punjab, Haryana, Rajasthan, and Uttar Pradesh. Under Section 14 of the CAQM Act, 2021, failure to comply with the directions of the Commission carries imprisonment for a term up to five years, fine up to one crore rupees, or both. However, it is pertinent to mention that Parliament did not intend to cover farmers within this penal section. Instead of making it a criminal offense, the Commission can levy environmental compensation on farmers indulged in stubble burning, which is a graded financial penalty that, as amended in 2024, starts from five thousand rupees for farmers owning less than two acres to thirty thousand rupees for more than five acres per incident. The legislation clearly shows the intention of Parliament that making farmers criminally liable for stubble burning is neither politically nor socially acceptable, but at the same time, there is no effective deterrent against the officers of the State.

3.4 Ex-Situ Demand: The Thermal Power Plant Rules, 2023

This alternative regulatory regime tries to establish a marketplace for paddy straw instead of banning its burning. Under the Environment (Utilisation of Crop Residue by Thermal Power Plants) Rules, 2023, it is mandatory for coal-based thermal power plants operating in the area to co-fire at least a certain minimum percentage of biomass pellets prepared from crop residue along with coal, which should be more than three percent for the financial year 2024-25 and eventually reaching five percent.

This effort aims at turning paddy straw, which is an agricultural waste product, into an industrial raw material, which is called ex-situ management. Even here, the compliance with rules has been low; towards the end of 2025, show cause notices have been issued and environmental compensation of almost sixty-two crore rupees has been recommended against six thermal power plants for not meeting the co-firing target.

4. Judicial Interventions

4.1 The National Green Tribunal

It is the National Green Tribunal which has been the most steadfast institution in regard to this matter. As early as December 2015, the Tribunal banned crop residue burning in Punjab, Haryana, Rajasthan, Uttar Pradesh, and Delhi, asking for satellite surveillance and enforcement. Again in 2018, in the case of Ganga Lalwani v. Union of India, the Tribunal took the step of directing that the Minimum Support Price scheme be interpreted such that States may wholly or partially refuse its benefits to those farmers burning residue, the theory being that those who protect the environment merit an incentive whereas those who don't need to lose out. Yet by 2019, the Tribunal was openly criticising the Centre and State governments for having failed to convert five years' worth of orders into concrete actions, with no one being held responsible for continuing burning despite lack of accountability from any officer or authority.

A body of independent empirical research on the effects of the 2015 ban supports the Tribunal's frustration.

4.2 The Supreme Court's Continuing Mandamus

Burning of crop residue has become part of the continuing mandamus in M.C. Mehta v. Union of India from the Supreme Court which dates back to 1985, a case related to air pollution in the city of Delhi. The Court interventions have become much stronger between October 2024 and November 2025. In October 2024, the Bench headed by Justice Abhay S. Oka characterized the behavior of the States as one of total defiance since Punjab had not conducted any prosecution on the basis of the directions given by the Commission for three years, and called for the attendance of the States' Chief Secretaries in person. In November 2024, the Court stated that the burning of stubble, apart from being a statutory violation, violates the fundamental right to a pollution-free environment of citizens provided for in Article 21, besides stating that Section 15 of the Environment (Protection) Act does not have an effective penalty provision after the 2023 amendment. It was by February 2025 that the court ordered the commission to make plans of managing the States through in-situ and ex-situ management. Even as late as November 2025, the court wanted to have an update on the situation with the air quality index of Delhi at 425 and the Graded Response Action Plan stage III in action. This is indicative of the fact that, even a decade later, the case is judicially controlled but not resolved.

5. The Implementation Gap: Why the Law Fails on the Ground

Four structural reasons can help one understand why there is a constant discrepancy between law and reality.

Firstly, the economics of the window period do not favour compliance. It takes about two to three weeks for farmers to harvest rice before planting wheat, and using other machinery, like the Happy Seeder or Super Seeder, will cost around two thousand five hundred rupees per acre, which is a considerable amount for the seventy percent of marginal farmers in Punjab, according to estimates by the state government itself, who also can't afford the cost of diesel and machine operators.

Secondly, there are significant structural deficiencies in the distribution of subsidies as per the CRM scheme. This scheme gives a subsidy of fifty percent on individual machines, eighty percent subsidy on custom hiring centers, and a subsidy of sixty-five percent on projects related to paddy straw supply chain but, as it is a centrally sponsored scheme funded on sixty forty ratio between the Center and States, it can be said that the effectiveness of this program is based on the ability of the states to match the scheme. Punjab alone had distributed more than one lakh thirty thousand machines from 2018 to 2023 but despite this, the number of fires has not decreased proportionately.

Thirdly, there is clear discrepancy in the way in which the farmers and officials have been treated as far as enforcement is concerned.

It has been pointed out by the Supreme Court that Punjab and Haryana have always been unwilling to bring their own officials under Section 14 of the CAQM Act for not stopping the stubble burning and instead, the Supreme Court has found that Punjab and Haryana have been content to collect the so-called nominal fines from the farmers.

Fourth, the one significant point of financial leverage the State holds over paddy farmers, the Minimum Support Price, has never been robustly linked to compliance despite the National Green Tribunal's 2018 direction that it be used as an incentive. Absent a credible link between price support and residue management, the environmental compensation regime functions as an isolated penalty rather than as part of a coherent incentive structure.

6. Reconciling Rights and Duties: A Framework for Reform

If Article 51-A(g) places an obligation on the farmer and Article 48-A on the part of the State for the protection of the environment, then both Articles are better understood when taken in conjunction with each other as opposed to being separate obligations. It is impossible to expect an individual citizen to adhere to such an obligation in good faith where the State itself has not first made adherence a feasible proposition. In this context, there are a number of reform measures that can be adopted from within the constitutional text itself.

For one, disbursement of subsidies through the CRMS scheme ought to be done on a guaranteed basis well before the harvesting season begins. There must be real-time monitoring of machines and Custom Hiring Centres at the block level.

Secondly, the off-site market for paddy straw requires substantial development and implementation, especially in terms of compliance with the biomass co-firing requirements of the Thermal Power Plant Rules, 2023, in order to ensure that the straw can be treated as a saleable product, not as waste to be disposed of. The imposition of a minimum procurement price, similar to the Minimum Support Price system that farmers are well-acquainted with, would provide an economic motivation for better environmental compliance, much more so than fines imposed afterwards.

Thirdly, the machinery of penalties to be implemented for Section 15 of the Environment (Protection) Act, as ordered by the Supreme Court, must be implemented forthwith, such that the institutional actors, whether thermal power plants or irresponsible officials, will be subject to the proper consequences, rather than farmers being the sole category responsible for environmental costs.

Fourthly, there needs to be further insistence by courts and the Commission on holding nodal and supervisory officers accountable under Section 14 of the CAQM Act, as ordered by the Supreme Court, because institutional accountability is more likely to influence the enforcement culture than increased fines for farmers.

Lastly, there is recent evidence that suggests that unconditional cash transfers directly to farmers would be much more effective than subsidies to equipment as an alternative way to reduce fires than either of these solutions.

7. Conclusion

Ten years after the first broad-based ban by the National Green Tribunal, and several attempts at legislative change, resulting in the Commission for Air Quality Management Act, 2021, the problem of crop residue burning is still one of the most persistent environmental issues in India. Legislation has become more complex but, judging from the evidence available, not necessarily more effective, as fires are still raging, court orders are being issued, and the burden of enforcement falls on farmers the least able to cope with it. It is argued here that the fundamental problem does not consist of any particular legislation, but rather in the fragmented approach taken by the constitutional structure to the question of duties and rights of the citizens as set forth in Article 21, duties of the citizens in preventing pollution as enshrined in Article 51-A(g), and the duties of the State in helping with such prevention in Article 48-A, all in seeming disregard of their connection.

References

Constitution of India, arts. 21, 47, 48-A, 51-A(g).

Air (Prevention and Control of Pollution) Act, 1981.

Environment (Protection) Act, 1986, s. 15, as amended by the Jan Vishwas (Amendment of Provisions) Act, 2023.

Commission for Air Quality Management in National Capital Region and Adjoining Areas Act, 2021, ss. 14-15.
Environment (Utilisation of Crop Residue by Thermal Power Plants) Rules, 2023.
Commission for Air Quality Management in NCR and Adjoining Areas (Imposition, Collection and Utilisation of Environmental Compensation for Stubble Burning) Rules, 2023.
Subhash Kumar v. State of Bihar, (1991) 1 SCC 598.
M.C. Mehta v. Union of India, W.P. (C) No. 13029 of 1985 (Supreme Court of India, continuing mandamus).
In Re: Ganga Lalwani v. Union of India, 2018 SCC OnLine NGT 339, order dated 12 November 2018.
National Green Tribunal, order dated 10 December 2015, banning crop residue burning in Punjab, Haryana, Rajasthan, Uttar Pradesh and Delhi.
PRS Legislative Research, "The Commission for Air Quality Management in National Capital Region and Adjoining Areas Bill, 2021", prsindia.org.
Insights on India, "Commission for Air Quality Management", November 2024, insightsonindia.com.
LiveLaw, "Punjab And Haryana Owe An Explanation: Supreme Court Reiterates Concern Over Reluctance To Prosecute Officials", 14 November 2024, livelaw.in.
SCC Online Blog, "Supreme Court warns Punjab & Haryana against inaction on stubble warning", 17 November 2024, scconline.com.
Business Standard, "Stubble burning: SC asks CAQM to hold meeting with Punjab, Haryana, UP", 4 February 2025.
Supreme Court Observer, "Delhi Pollution Crisis: CAQM to develop an action plan to prevent stubble burning in NCR states", 4 February 2025, scobserver.in.
The Week, "Supreme Court pulls up Punjab, Haryana over stubble burning as Delhi chokes under toxic air", 12 November 2025.
News on Air, "SC Directs Punjab and Haryana to Submit Report on Stubble Burning Measures", 13 November 2025.
The Tribune, "CAQM notice to six thermal power plants over lapses", December 2025.
The Tribune, "Punjab to provide 24,000 crop residue management machines for coming season".
The Tribune, "Punjab govt prepares Rs 500-crore action plan to check stubble burning", June 2024.
Shankar IAS Parliament, "Crop Residue Management (CRM) Scheme", 2026.
Khanna, G., Mahajan, A. and Sudarshan, A., "Clearing the air: Do India's crop burning bans really work?", IdeasForIndia, ideasforindia.in.
The Tribune, "Ludhiana district administration initiates prosecution against nodal officer, 47 put on notice".

MULTIFACETED DRIVERS OF FOOD INSECURITY IN KOGI STATE: A MIXED-METHODS STUDY OF COMMUNAL CLASHES, AGRICULTURAL PRACTICES, AND INFRASTRUCTURE GAPS

Edward Pishikeni GUMA
Department of Surveying and Geoinformatics, Kogi State Polytechnic, Lokoja, Nigeria.

Shuaibu Jamiu SHUAIBU
Department of Surveying and Geoinformatics, Kogi State Polytechnic, Lokoja, Nigeria.

Gbaje Wumani MUSA
Department of Arts and Social Sciences, School of Preliminary Studies, Kogi State Polytechnic, Lokoja, Nigeria.

Richard MUSA
Government Science Secondary School, Oguma, Bassa Local Government Area, Kogi State, Nigeria.

ABSTRACT
Food insecurity remains a critical challenge in Kogi State, Nigeria, threatening livelihoods, health, and socio-economic stability. This study examined the multifaceted causes of food insecurity in Kogi State and assessed strategies for improving food availability across the 21 Local Government Areas with the objectives of identifying the factors contributing to food insecurity in the region and to develop effective strategies for improving food security. A mixed-methods approach was adopted. Structured questionnaires were administered to 140 farmers, with 113 responses retrieved, representing an 86.4% response rate. In-depth one-on-one interviews were also conducted to gain deeper insights into the causes of food shortages. Sample size adequacy was validated using a 95% confidence level, 4.61% margin of error, and 0.5 population proportion, yielding a required sample of 107. Thus, the 113 responses were statistically adequate. Findings revealed that 98% of respondents are aware of farmer-herder crises in the state, and all respondents affirmed inflation of food prices. Likert scale analysis identified bad road infrastructure as the most significant cause of food insecurity with a mean of 1.70, followed by herder activities on farmlands and flooding with a mean of 1.49 each, and erosion/land degradation with 1.72. Communal clashes forcing farmers to abandon large-scale farming for small plots near homes had a mean of 2.009. Other contributing factors include increasing family size and decreasing farmland, mean 2.51. Shifts to cash crops, herder taxation, and poor pricing of farm produce were rated neutral. The study recommends establishing effective conflict resolution mechanisms between farmers and herders, improving road infrastructure and storage facilities, providing training, credit and equipment to farmers, and promoting sustainable agricultural practices to mitigate flooding and erosion. Addressing these issues through collaborative efforts of government, communities, and stakeholders is essential for achieving food security and sustainable agriculture in Kogi State.
Keywords: Food insecurity, farmer-herder conflict, infrastructure, flooding, sustainable agriculture, Kogi State.

PERSUASIVE LANGUAGE AND CULINARY PROMOTION ON TIKTOK: A PRAGMATIC ANALYSIS OF FOOD-RELATED CONTENT IN BATAM, INDONESIA

Afriana
Faculty of Social Sciences and Humanities, University of Putera Batam, Batam, Indonesia.
ORCID ID: 0000-0001-9603-8983

Zia Hisni MUBARAK
Faculty of Social Sciences and Humanities, University of Putera Batam, Batam, Indonesia.
ORCID ID: 0009-0009-1245-6383

Sipri Hanus TEWARAT
Faculty of Social Sciences and Humanities, University of Putera Batam, Batam, Indonesia.
ORCID ID: 0009-0002-8223-9842

Abstract
This study examines how persuasive language is used to promote culinary products and dining places through TikTok in Batam, Indonesia. The study aims to identify the main persuasive strategies used in food-related TikTok content and to explain how these strategies construct attractive food and dining experiences for audiences. The material consisted of 25 publicly available food-related TikTok videos posted by the Batam-based account @infokelilingbatam. Using a qualitative descriptive design, the study applied pragmatic and thematic analysis to spoken narration, on-screen text, and captions. The coding identified sensory/evaluative language, price/value and promotional appeals, product variety and consumer choice, novelty/popularity and social proof, authenticity/quality claims, experiential/lifestyle appeals, local/place-based positioning, and directive/engagement expressions. At the video level, sensory/evaluative language occurred in 21 videos (84.0%), local/place positioning in 19 (76.0%), and product variety/choice in 18 (72.0%). At the finer-grained level, 179 documented persuasive expressions were coded. Sensory/evaluative expressions were the most frequent (n = 50; 27.9%), followed by product variety/choice (n = 44; 24.6%) and price/value/promotion (n = 26; 14.5%). The findings indicate that culinary TikTok promotion does more than provide information about food. It constructs desirable sensory experiences, communicates value and choice, invokes popularity and credibility, and connects food consumption with local places and lifestyles. The study concludes that pragmatic choices are central to the persuasive construction of culinary content in short-form digital discourse.
The form of the paper is an online oral presentation.
Keywords: TikTok; culinary promotion; pragmatics; digital discourse

FARKLI HERBİSİT UYGULAMA ŞEKLİ VE YABANCI OT KONTROL YÖNTEMLERİNİN FASULYE'DE (PHASEOLUS VULGARİS L.) MORFOLOJİK ÖZELLİKLER VE VERİME ETKİSİ

THE EFFECTS OF DIFFERENT HERBICIDE APPLICATION METHODS AND WEED CONTROL METHODS ON MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS AND YIELD OF COMMON BEAN (PHASEOLUS VULGARIS L.)

Memiş SARI
Department of Field Crops, Faculty of Agriculture, Eskişehir Osmangazi University, Eskişehir, Türkiye.
ORCID ID: 0009-0000-8473-3831

Asst. Prof. Dr. Engin TAKIL
Department of Field Crops, Faculty of Agriculture, Eskişehir Osmangazi University, Eskişehir, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-0076-5949

Prof. Dr. Nihal KAYAN
Department of Field Crops, Faculty of Agriculture, Eskişehir Osmangazi University, Eskişehir, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-7505-0959

Özet
Yoğun herbisit kullanımının çevreye ve insan sağlığına olan olumsuz etkilerinden dolayı araştırmacılar çevre dostu çözümler aramaya yönlenmişlerdir. Bu çözümlerden biri de band herbisit uygulamasıdır. Bu yöntemde tarlanın bir kısmına band şeklinde yapılan herbisit uygulaması ile ruhsatlı dozun yarısından daha düşük doz ile yabancı ot kontrolü hedeflenmektedir. Banda herbisit uygulaması ile herbisit maliyetleri azaltılabilmekte ve aynı zamanda herbisitlerin çevresel etkileri de en aza indirilebilmektedir. Çalışmada; Eskişehir'de çiftçilerin yaygın olarak kullandığı bazı herbisitlerin geleneksel ve banda uygulamasının fasulye bitkisinde morfolojik özellikler ve verim üzerine olan etkilerini incelemek amaçlanmıştır. Deneme tesadüf bloklarında bölünmüş parseller deneme desenine göre kurulmuştur. Ana parsellere uygulama şekli (banda uygulama; normal uygulama) ve alt parsellere yabancı ot kontrol yöntemleri [(kontrol, otlu); (el ile kontrol); (pendimethalin); (benfluralin); (imazamox, bentazone + haloxyfop-P-methyl ester); (pendimethalin + imazamox, bentazone+ haloxyfop-P-methyl ester); (benfluralin + imazamox, bentazone+ haloxyfop-P-methyl ester)] yerleştirilmiştir. Araştırmada; bitki boyu, ilk bakla yüksekliği, ana dal sayısı ve tane verimi özellikleri incelenmiştir. İlk bakla yüksekliği ve tane verimi bakımından yıllar arasındaki farklılıklar önemli iken; tüm özelliklerde uygulama şekli arasındaki farklar istatistiki anlamda önemli olmamıştır. Yabancı ot kontrol yöntemleri bakımından ise ana dal sayısı ve tane verimi önemli bulunmuştur. Araştırmamızda tane verimi bakımından banda uygulama daha yüksek değerler göstermiştir. Tarla şartlarında, geniş alanlara banda herbisit uygulandığında tane veriminde görülen bu ufak artış bile çiftçi açısından daha fazla ekonomik kazanç sağlayabilecektir. Ayrıca banda uygulamada normal herbisit dozunun yarısı kullanılmakta ve bu herbisit maliyetini düşürmektedir. Yabancı ot kontrol yöntemleri bakımından en yüksek tane verimi benfluralin uygulanan parsellerde belirlenmiştir. Bu parselleri el ile kontrol yapılan parseller takip etmiş ve en düşük tane verimi otlu parsellerde belirlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak Eskişehir yöresi için banda herbisit uygulaması + benfluralin fasulye tarımı için önerilebilecektir.
Anahtar Kelimeler: Fasulye, banda uygulama, herbisit, morfolojik özellikler

Abstract
Because of the negative environmental and human health impacts of intensive herbicide use, researchers have begun searching for environmentally friendly solutions. One of these solutions is band herbicide application. With band herbicide application, weed control is aimed at using a dose that is less than half the dose applied. Banda herbicide application can reduce herbicide costs and minimize the environmental impact of herbicides. This study investigated the effects of traditional and band application of some herbicides commonly used by farmers in Eskişehir on the morphological characteristics and grain yield of bean plants.The experimental design was split plot with three replicates.

The main plots included application method (normal application; band application) and subplots included the weed control methods [(weedy, control); (hand weeding); (pendimethalin); (benfluralin); (imazamox, bentazone + haloxyfop-P-methyl ester); (pendimethalin + imazamox, bentazone+ haloxyfop-P-methyl ester); (benfluralin + imazamox, bentazone+ haloxyfop-P-methyl ester)] In the study, plant height, first pod height, number of main branches, and grain yield were examined. Differences between years are significant in the first pod height and grain yield. The differences in application methods are not statistically significant all of the characters. In terms of weed control methods, the differences between the number of main branches and grain yield are statistically significant. Band application showed higher values in terms of grain yield. In large field areas, the small increase in grain yield observed when herbicides are applied in bands can provide farmers with greater economic gains. Furthermore, in band application, half the normal herbicide dose is used, which reduces herbicide costs. In terms of weed control methods, the highest grain yield was determined in benfluralin plots. These plots were followed by hand weeding plots, and the lowest grain yield was determined in the weedy plots. Based on these results, band herbicide application + benfluralin can be recommended for bean cultivation in the Eskişehir region.

Key Words: Bean, band application, herbicide, morphological characters

TAHIL HASTALIKLARINA BAĞLI VERİM KAYIPLARI VE EKONOMİK ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

ASSESSMENT OF CEREAL DISEASE-ASSOCIATED YIELD LOSSES AND THEIR ECONOMIC IMPACTS

Dr. Gamze AYDIN ERYILMAZ
Samsun Vocational School, Ondokuz Mayıs University, Samsun, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-4440-8687

Özet: Tahıl hastalıkları, verim ve kalite kayıplarına yol açarak tarımsal üretimin ekonomik sürdürülebilirliğini olumsuz etkileyen önemli biyotik faktörlerdir. Bu çalışmanın amacı, dünyada ve Türkiye'de yaygın olarak yetiştirilen buğday, arpa, çeltik ve mısırda görülen bakteriyel, fungal ve viral hastalıkların neden olduğu verim kayıplarını ve bu kayıpların ekonomik etkilerini mevcut bilimsel araştırmalar doğrultusunda değerlendirmektir. Bulgular, fungal hastalıklarda verim kayıplarının hastalık ve çevre koşullarına bağlı olarak geniş bir aralıkta değiştiği; viral hastalıklarda ise özellikle buğday ve mısırda yüksek düzeyde kayıpların ortaya çıkabildiği belirlenmiştir. Bakteriyel hastalıkların ekonomik etkilerinin ise verim kaybının yanı sıra tane kalitesindeki bozulma, pazarlanabilir ürün miktarındaki azalma ve hastalıkla mücadele maliyetlerindeki artış yoluyla ortaya çıktığı görülmüştür. Dünyada ve Türkiye'de gerçekleştirilen sınırlı sayıdaki çalışmadan elde edilen ortak bulgular, tahıl hastalıklarının neden olduğu verim kayıplarının önemli ekonomik sonuçlar doğurduğuna işaret etmektedir. Küresel ölçekte değerlendirildiğinde, tahıl hastalıklarının üretimde önemli verim kayıplarına neden olduğu, Türkiye'de yapılan çalışmalarda da bu kayıpların ekonomik açıdan dikkate değer boyutlara ulaşabildiği görülmektedir. Bu nedenle tahıl hastalıklarının erken teşhisi ve izlenmesi, dayanıklı veya toleranslı çeşitlerin kullanılması, sağlıklı tohumluk kullanımı ve uygun kültürel mücadele yöntemlerinin birlikte uygulanması, tahıl hastalıklarından kaynaklanan ekonomik kayıpların azaltılması açısından önem taşımaktadır.
Anahtar Kelimeler: Tahıl hastalıkları, tarla bitkileri, verim kaybı, ekonomik kayıp

Abstract: Cereal diseases are important biotic factors that negatively affect the economic sustainability of agricultural production by causing yield and quality losses. This study aims to evaluate the yield losses caused by bacterial, fungal, and viral diseases affecting wheat, barley, rice, and maize, which are widely cultivated worldwide and in Türkiye, as well as the economic impacts of these losses based on existing scientific research. The findings indicate that yield losses caused by fungal diseases vary widely depending on the disease and environmental conditions, while viral diseases can result in substantial losses, particularly in wheat and maize. The economic impacts of bacterial diseases were found to arise not only from yield losses but also from deterioration in grain quality, reductions in the quantity of marketable products, and increases in disease management costs. The common findings of the limited number of studies conducted worldwide and in Türkiye indicate that yield losses caused by cereal diseases have significant economic consequences. At the global scale, cereal diseases are considered to cause substantial yield losses in production, while studies conducted in Türkiye indicate that these losses can also reach economically significant levels. Therefore, the early detection and monitoring of cereal diseases, the use of resistant or tolerant varieties, the use of healthy seed, and the integrated implementation of appropriate cultural control practices are important for reducing the economic losses caused by cereal diseases.
Keywords: Cereal diseases, field crops, yield loss, economic loss

1. Giriş

Türkiye, elverişli coğrafi konumu, zengin iklim çeşitliliği ve verimli toprakları sayesinde tarımsal üretim potansiyeli yüksek ülkeler arasında yer almaktadır (Söylemez ve ark., 2024). Türkiye'nin ekolojik çeşitliliği, buğday, arpa, çeltik, mısır, yulaf, tritikale, sorgum ve çavdar gibi farklı türlerin geniş bir coğrafyada yetiştirilmesine olanak sağlamaktadır. Ancak bu çeşitlilik, aynı zamanda hastalık etmenlerinin gelişimi ve yayılımı için elverişli ortamlar oluşturmaktadır. Tarımsal üretimin en önemli problemlerinden olan biyotik (canlı) faktörler, ürün verimi ve kalitesini sınırlandırmaktadır.

Özellikle değişen iklim koşulları, buğday gibi yaygın bir kültür bitkisi ve ona zarar veren organizmaların (hastalık ve zararlıları) ekolojilerinde de ciddi değişimlere yol açmaktadır. Özellikle artan sıcaklıklar ve daha uzun süren ılıman çevre koşulları patojen olarak isimlendirilen fungal, bakteriyel ya da viral etmenlerin toprakta, bitki yüzeyinde ya da havada daha aktif ve yaygın olmalarına imkân verebilmektedir. Özellikle fungal, bakteriyel ve viral etmenler, tahıllarda çeşitli hastalıklara neden olarak üretimi olumsuz etkilemektedir. Tahıl hastalıkları önemli verim ve kalite kayıplarına yol açan biyotik stres faktörleridir. Bu organizmalar, bitkinin besin alımını engellemekten, dokularda doğrudan zarar vermeye kadar birçok farklı mekanizma ile bitki sağlığını olumsuz etkilemektedir.

Tahıl hastalıkları, üretim süreci boyunca bitkilerin gelişimini olumsuz etkileyerek ciddi verim kayıplarına neden olmaktadır. Ortaya çıkan bu verim düşüşleri, doğrudan ürün miktarını azaltmasının yanı sıra, tarımsal üretimin ekonomik sürdürülebilirliğini de tehdit etmektedir. Buğday başta olmak üzere diğer tahıllarda verim kaybının artması, ürün niteliğinin giderek bozulması, besinsel içeriğin düşmesi ya da sıcakkanlılar için tehlikeli metabolit ve bileşiklerin üründeki artışı ile sonuçlanabilmektedir. Bu sebeple özellikle tarımı yapılan önemli tahıllardan buğday, arpa, mısır ve çeltikte hastalıklardan dolayı oluşan verim kayıplarını incelemek önemli hale gelmiştir.

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'de yaygın olarak yetiştirilen buğday, arpa, çeltik ve mısırda görülen bakteriyel, fungal ve viral hastalıkların neden olduğu verim kayıplarını ve bu kayıpların ekonomik sonuçlarını, dünyada ve Türkiye'de yapılan bilimsel araştırma sonuçlarından yararlanarak değerlendirmektir. Elde edilen bulgular, tahıl hastalıklarının etkin yönetiminin sürdürülebilir üretim, gıda arz güvenliği ve verimlilik açısından taşıdığı önemi ortaya koymaktadır.

2. Tarla Bitkilerinde Hastalıkların Ekonomik Etkisi

2.1. Fungal hastalıkların ekonomik etkisi

Tahıl üretiminde verim ve kaliteyi sınırlandıran faktörlerin başında bitki hastalıklarının geldiği bilinmektedir. Özellikle fungal kökenli hastalıklar, uygun çevresel koşulların oluşması durumunda ciddi verim kayıplarına neden olmakta ve önemli ekonomik kayıplara yol açmaktadır. Buğdayda kalite ve verim kayıplarına neden olan en önemli fungal hastalıkların başında yaprak hastalıkları gelmektedir. Buğdayda yaprak lekesi hastalığı ilk kez 1893 yılında gözlemlenmiştir (Bamberg, 1936). Hastalık özellikle yağmurlama sulamanın uygulandığı tarlalarda, fazla yağış alan subtropik yüksek bölgelerde ve ani sıcaklık değişimlerinin yaşandığı ılıman iklimlerde yaygın olarak görülmektedir. Hastalık nedeniyle ürün kayıplarının genellikle %10 civarında olduğu, bazı ülkelerde ise zararın %40'a kadar ulaşabildiği bildirilmektedir (Forster ve ark., 1986). Ayrıca Wiese (1998), buğdayda her yıl hasat edilen ürünün yaklaşık %20'sinin çeşitli hastalıklar nedeniyle kaybedildiğini belirtmektedir.

Buğdayda yaygın olarak görülen kök ve kök boğazı çürüklüğü, sap çürüklüğü, tohum ve koçan çürüklüğü, yaprak lekesi, fide yanıklığı ve başak yanıklığı gibi hastalıklar önemli ekonomik kayıplara yol açmaktadır (Parry ve ark., 1995; Kazan ve Gardiner, 2018). Avrupa ülkelerinde Fusarium koçan çürüklüğünün %10-30 arasında verim kaybına neden olduğu belirlenmiştir (Bottalico, 1998). Hastalık için uygun çevresel koşullar oluştuğunda Fusarium başak yanıklığının Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada'da %50'nin üzerinde verim kaybına yol açabildiği bildirilmektedir (Crop Protection Network, 2025).

Buğday, dünyada olduğu gibi Türkiye'de de en geniş üretim alanına sahip, en fazla üretilen ve insan beslenmesinde temel gıda kaynaklarından biri olan önemli bir kültür bitkisidir. Türkiye'de tahıl ekim alanlarında kök ve kök boğazı çürüklüğü hastalıkları önemli bir yere sahiptir. Yapılan çalışmalar, bu hastalıkların yaygın olarak yetiştirilen tahıl çeşitlerinde ortalama %26 oranında verim kaybına yol açtığını; bu kaybın makarnalık buğdaylarda %42, ekmeklik buğdaylarda %24 ve arpada %12 düzeyinde olduğunu göstermektedir (Hekimhan ve ark., 2005). Tokat ilinde yapılan bir araştırmada, buğdayda pas (%40,4), septorya (%22,1), rastık (%20,2) ve kök çürüklüğü (%17,3) hastalıklarının görülme oranları tespit edilmiş; bu hastalıkların verim ve kaliteyi olumsuz etkilediği belirlenmiştir (Gözener ve Kaplan, 2024).

Arpada fungal kökenli hastalıklar önemli verim kayıplarına neden olmakta ve özellikle epidemik koşullarda ekonomik zarar daha da artmaktadır. İran'da yapılan bir araştırmada arpada yaprak yanıklığı nedeniyle ortalama %35 oranında verim kaybı meydana geldiği, salgın yıllarında ise bu oranın %65'e kadar çıkabildiği belirtilmiştir (Beigi ve ark., 2013).

Ayrıca arpada görülen Fusarium başak yanıklığının %50'nin üzerinde verim kaybına neden olabildiği bildirilmektedir (CropProtection Network, 2025). Türkiye'de Trakya Bölgesi'nde yapılan bir araştırmada ise ağbenek hastalığının arpa tane veriminde ortalama %23,25, bin tane ağırlığında %16,99 ve tane sayısında %6,67 oranında kayba neden olduğu belirlenmiştir. Aynı araştırmada hastalığın süt olum döneminde üstten üçüncü yaprakta oluşturduğu lekeli alanın %51,7 oranında tane verimi kaybına yol açtığı tespit edilmiştir (Damgacı, 2014).

Çeltikte görülen yanıklık hastalığında verim kayıpları genellikle %10-20 arasında değişmekle birlikte, şiddetli salgın koşullarında %80'e kadar ulaşabilmektedir (Mathur ve ark., 1992). Çeltikte fungal kökenli diğer önemli bir hastalık olan kılıf yanıklığının da verimde %20-50 arasında değişen kayıplara yol açtığı bildirilmektedir (Margani ve Widadi, 2018). Türkiye'de çeltik üretiminde önemli bir sorun olan çeltik yanıklığı ciddi verim kayıplarına neden olmaktadır. Karadeniz Bölgesi'ndeki çeltik tarlalarında yanıklık hastalığı nedeniyle %25-75 arasında ürün kaybı meydana geldiği bildirilirken (Göbelez, 1953), Akdeniz Bölgesi'nde bu oranın %90'a kadar ulaşabildiği belirlenmiştir (Tekinel ve ark., 1980). Edirne ilinde 1995 yılında yaklaşık 250 bin dekarlık çeltik ekim alanında hastalık nedeniyle %20 oranında ürün kaybı yaşandığı ve bazı üreticilerin ürünlerini hasat edemediği bildirilmiştir. Ayrıca 2002 yılında İpsala Ovası'nda yaklaşık 65 bin dekarlık çeltik ekim alanında yoğun bir yanıklık epidemisinin gözlemlendiği ve buna bağlı olarak önemli verim kayıplarının meydana geldiği ifade edilmiştir (Sürek, 2007).

Mısırda yaprak yanıklığı gibi fungal hastalıklar, önemli ürün kayıplarına neden olan hastalıklar arasında yer almaktadır. Bu hastalıklar, dünya genelinde mısır yetiştirilen hemen hemen tüm bölgelerde görülmekte ve uygun iklim koşullarında %20 ile %70 arasında değişen verim kayıplarına yol açabilmektedir (Bütüner ve ark., 2023). Ayrıca mısırda Fusarium koçan çürüklüğü nedeniyle verim kaybının %10-30 arasında değiştiği (Bottalico, 1998), Fusarium graminearum enfeksiyonlarında ise ortalama verim kaybının %16 düzeyinde olup uygun koşullarda %38'e kadar çıkabildiği bildirilmektedir (Vigier ve ark., 2001) (Tablo 1). Mısırda Fusarium kaynaklı hastalıklar, verim kaybının yanı sıra mikotoksin oluşumu nedeniyle ürünün yem ve gıda olarak kullanımını sınırlayabilmekte; bu nedenle doğrudan ürün kaybına ek olarak kalite kaybı ve pazar değerinde düşüşe de neden olabilmektedir.

Sonuç olarak fungal hastalıklar; buğday, arpa, çeltik ve mısır üretiminde verim kayıpları, kalite bozulmaları ve artan mücadele maliyetleri yoluyla önemli ekonomik zararlar oluşturmaktadır.

Bu nedenle dayanıklı veya toleranslı çeşitlerin kullanılması, sağlıklı tohumluk materyalinin tercih edilmesi, uygun ekim nöbeti uygulamalarının benimsenmesi, tarla hijyeninin sağlanması, dengeli gübreleme yapılması ve hastalıkların erken dönemde izlenmesi, fungal hastalıklardan kaynaklanan ekonomik kayıpların azaltılmasında temel mücadele stratejileri olarak değerlendirilmektedir.

Tablo 1. Fungal hastalıkların neden olduğu verim kayıpları

Tahıl türü	Hastalık	Verim Kaybı	Ülke	Kaynak
Buğday	Yaprak lekesi	%10-40	ABD	Forster ve ark., 1986
	Fusarium başak çürüklüğü	%10-30	Avrupa Ülkeleri	Bottalico, 1998
	Fusarium başak yanıklığı	%50'nin üzerinde (hastalık için uygun koşullarda)	ABD, Kanada	Crop Protection Network, 2025
Arpa	Yaprak yanıklığı	%35 (salgın yıllarında %65'e kadar ulaşmakta)	İran	Beigi ve ark., 2013
	Fusarium başak yanıklığı	%50'nin üzerinde (hastalık için uygun koşullarda)	ABD, Kanada	Crop Protection Network, 2025
	Ağbenek hastalığı	%23,25	Türkiye (Trakya Bölgesi)	Damgacı, 2014
Çeltik	Çeltik yanıklığı	%10-20 (şiddetli salgınlarda %80'e kadar çıkmakta)	Nepal	Mathur ve ark., 1992
		%25-75	Türkiye (Karadeniz Bölgesi)	Göbelez, 1953
		%90 (şiddetli salgın dönemlerinde)	Türkiye (Akdeniz Bölgesi)	Tekinel ve ark., 1980
		%20	Türkiye (Edirne ili)	Sürek, 2007
	Kılıf yanıklığı	%20-50	Endonezya	Margani ve Widadi, 2018
Mısır	Fusarium koçan çürüklüğü	%10-30	Avrupa Ülkeleri	Bottalico, 1998
	Fusarium graminearum	%16 (hastalık için uygun koşullarda %38'e kadar çıkmakta)	Kanada	Vigier ve ark., 2001

2.2. Bakteriyel hastalıkların ekonomik etkisi

Bakteriyel hastalıkların tahıl üretimindeki ekonomik etkileri; hastalığın yaygınlığı ve şiddeti, yetiştirilen çeşidin duyarlılığı, çevresel koşullar, üretim sistemi ve uygulanan mücadele yöntemlerine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu hastalıklar, doğrudan verim kayıplarının yanı sıra tane kalitesinde bozulma, pazarlanabilir ürün miktarında azalma, üretim maliyetlerinde artış ve üretici gelirinde düşüş gibi dolaylı ekonomik sonuçlara da yol açabilmektedir.

Buğdayda bakteriyel çizgi hastalığı, özellikle şiddetli enfeksiyon koşullarında başakların %5-10'unda kısırlığa neden olabilmektedir (Forster ve Schaad, 1988).

Hastalığın başak ve dane gelişimi üzerindeki olumsuz etkileri, tane sayısının ve dolayısıyla toplam verimin azalmasına neden olmaktadır. Nitekim bazı çalışmalarda bakteriyel çizgi hastalığına bağlı verim kaybının %24'e kadar ulaşabildiği bildirilmiştir (Tillman ve ark., 1999). Bunun yanında, bakteriyel kara kabuk hastalığının buğday veriminde yaklaşık %3,7 oranında azalmaya yol açtığı belirtilmektedir (Hagborg ve ark., 1972). Bu kayıplar, hastalığın yaygın olduğu üretim alanlarında üreticilerin ekonomik getirisini azaltmakta ve hastalık yönetimine yönelik ek maliyetleri artırmaktadır.

Çeltikte bakteriyel hastalıklar, özellikle sıcaklık ve nemin yüksek olduğu üretim koşullarında önemli ekonomik kayıplara neden olabilmektedir. Bakteriyel çizgi hastalığının uygun çevre koşullarında %20'ye kadar verim kaybına yol açabildiği bildirilmektedir (Ou, 1985). Ayrıca bakteriyel yaprak yanıklığının bin tane ağırlığında %15,59'a varan azalmalara neden olduğu belirlenmiştir (Khan ve ark., 2015). Bakteriyel gövde çürüklüğünde ise verim kayıplarının %10 ile %30 arasında değişebildiği ifade edilmektedir (Li ve ark., 2020).

Çeltikte meydana gelen bu kayıplar yalnızca birim alandan elde edilen ürün miktarını azaltmakla sınırlı kalmamakta; tane dolumunun yetersiz kalması, tane ağırlığının düşmesi ve kalite özelliklerinin olumsuz etkilenmesi yoluyla pazarlanabilir ürün miktarını da sınırlandırmaktadır. Ayrıca hastalığın yoğun görüldüğü yıllarda mücadele uygulamaları, dayanıklı çeşit veya sertifikalı tohum kullanımı ve bazı durumlarda yeniden ekim gereksinimi, üretim maliyetlerini artırarak toplam ekonomik kaybı daha da yükseltebilmektedir.

Mısırda bakteriyel hastalıkların ekonomik etkisi, doğrudan verim azalmasının yanı sıra koçan gelişimindeki gerileme, dane kalitesindeki düşüş ve hasat sonrası kayıplar yoluyla da ortaya çıkmaktadır. Tahıl üretiminde hastalık etmenlerinin neden olduğu kayıpların küresel ölçekte önemli boyutlara ulaşabildiği; bazı değerlendirmelerde mısırda toplam hastalık kaynaklı verim kaybının %8,5'e kadar çıkabildiği belirtilmektedir (Oerke, 2006) (Tablo 2). Ancak bu oranın yalnızca bakteriyel hastalıklara değil, farklı hastalık etmenlerinin toplam etkisine işaret edebileceği dikkate alınmalıdır. Buna rağmen bakteriyel hastalıklar, özellikle uygun iklim koşullarında ve duyarlı çeşitlerin yetiştirildiği alanlarda mısır üretiminde dikkate değer ekonomik zararlar oluşturabilmektedir.

Sonuç olarak bakteriyel hastalıklar; buğday, çeltik ve mısırda ürün miktarını azaltmakta, tane kalite özelliklerini olumsuz etkilemekte ve hastalıkla mücadele için yapılan harcamaları artırmaktadır. Bu nedenle dayanıklı veya toleranslı çeşitlerin kullanılması, sağlıklı tohumluk materyalinin tercih edilmesi, uygun kültürel önlemlerin uygulanması ve hastalıkların erken dönemde izlenmesi, bakteriyel hastalıklardan kaynaklanan ekonomik kayıpların azaltılmasında temel stratejiler arasında yer almaktadır.

Tablo 2. Bakteriyel hastalıkların neden olduğu verim kayıpları

Tahıl türü	Hastalık	Verim Kaybı	Ülke	Kaynak
Buğday	Bakteriyel çizgi hastalığı	%5-10 (şiddetli enfeksiyon koşullarında)	ABD	Forster ve Schaad, 1988
	Bakteriyel kara kabuk hastalığı	%3,7	Kanada	Hagborg ve ark., 1972
	Bakteriyel çizgi hastalığı	%24 (aşılanmış ve aşılanmamış parseller arasındaki verim farkı)	ABD	Tillman ve ark., 1999
Çeltik	Bakteriyel yaprak yanıklığı	%15,59 (bin tane ağırlığında)	Pakistan	Khan ve ark., 2015
	Bakteriyel gövde çürüklüğü	%10-30	Çin	Li ve ark., 2020
Mısır	Bakteriyel ve fungal etmenler	%8,5	Küresel (19 farklı bölge)	Oerke, 2006

2.3. Viral hastalıkların ekonomik etkisi

Bitkisel üretimi sınırlayan hastalık etmenleri arasında virüsler, küresel ölçekte yol açtıkları ekonomik kayıplar bakımından önemli bir yere sahiptir. Bitki virüslerinin dünya genelinde yıllık yaklaşık 30 milyar ABD dolarına varan ekonomik zarara neden olduğu bildirilmektedir (Sastry ve Zitter, 2014). Tahıllarda viral hastalıkların yol açtığı verim kayıpları; virüs türü, yetiştirilen çeşidin duyarlılığı, enfeksiyonun bitkinin gelişme dönemindeki zamanı, vektör yoğunluğu ve çevresel koşullara bağlı olarak önemli ölçüde değişmektedir. Özellikle sarı cücelik ve mozaik hastalıkları, birçok tahıl türünde verim ve kaliteyi sınırlandıran başlıca viral hastalıklar arasında yer almaktadır.

Buğdayda sarı cücelik hastalığı, duyarlı çeşitlerde ve erken dönem enfeksiyonlarında yüksek düzeyde verim kayıplarına neden olabilmektedir. Avustralya ve Çin'de yapılan bir araştırmada, buğdayda sarı cücelik hastalığının özellikle bazı hassas çeşitlerde önemli verim kayıplarına yol açtığı görülmekte olup, Gregory ve Forrest gibi çeşitlerde verim kaybının %36'nın üzerinde olduğu rapor edilmiştir (Zhou ve ark., 2015).

Türkiye'de yapılan çalışmalar da bu bulguları destekler nitelikte olup, özellikle Trakya Bölgesi ve Tekirdağ ilinde yürütülen araştırmalarda buğday ve arpada sarı cücelik hastalığının %20 ile %80 arasında değişen verim kayıplarına neden olabildiği belirlenmiştir (Dayan ve İlbağı, 2014; İlbağı ve ark., 2005). Arpa, buğday ve yulafta sarı cücelik virüsü görülme sıklığı oldukça yüksektir (Jarošová ve ark., 2016).Buğdayda görülen çizgili mozaik hastalığında ise verim kayıplarının %27-75 arasında değiştiği bildirilmektedir (Patil, 2021). Arpada sarı cücelik hastalığının etkisinin enfeksiyon zamanına bağlı olarak değiştiği, bitkinin büyüme döneminin erken evrelerinde %9-79, kardeşlenme sonrasında ise %6-9 arasında verim kaybına neden olabildiği belirtilmiştir (Agriculture Victoria, 2025). Ayrıca şiddetli enfeksiyon koşullarında arpada sarı cücelik kaynaklı verim kayıplarının %80'e kadar çıkabildiği rapor edilmiştir (Dedryver ve ark., 2010). Çeltikte sarı mozaik hastalığının, çeşidin duyarlılığı ve iklim koşullarına bağlı olarak %10-100 arasında değişen çok geniş bir verim kaybı aralığına sahip olduğu bildirilmektedir (Abrokwah ve ark., 2024). Çeltikte görülen çizgili mozaik hastalığında ise bin tane ağırlığında, çeşitlere bağlı olarak %23,86-31,56 arasında verim kaybı meydana geldiği rapor edilmiştir (Chen ve ark., 2019).

Mısırda viral hastalıklar arasında öne çıkan nekroz hastalığının ekonomik etkisi son derece yıkıcı olabilmektedir. Yoğun hastalık koşullarında mısır nekroz hastalığı nedeniyle verim kayıplarının %70-100 düzeyine ulaşabildiği bildirilmektedir (Boddupalli ve ark., 2020) (Tablo 3). Hastalığın yaygınlaştığı alanlarda bitkilerde bodurluk, yapraklarda nekrotik belirtiler, koçan gelişiminde gerileme ve dane oluşumunda azalma görülebilmekte; bu durum ürünün hem miktarını hem de pazar değerini önemli ölçüde düşürmektedir.

Sonuç olarak viral hastalıklar; buğday, arpa, çeltik ve mısırda yüksek oranlı verim kayıplarına, kalite düşüşüne ve üretici gelirinde azalmaya neden olabilmektedir. Viral hastalıkların doğrudan kimyasal yöntemlerle kontrol edilmesinin sınırlı olması nedeniyle, dayanıklı veya toleranslı çeşitlerin kullanılması, sertifikalı ve sağlıklı tohumluk materyalinin tercih edilmesi, vektör popülasyonlarının izlenmesi ve kültürel mücadele önlemlerinin birlikte uygulanması, ekonomik kayıpların azaltılmasında temel yaklaşımlar olarak değerlendirilmektedir.

Tablo 3. Viral hastalıkların neden olduğu verim kayıpları

Tahıl türü	Hastalık	Verim Kaybı	Ülke	Kaynak
Buğday	Sarı cücelik	%36 ve üzerinde (bazı çeşitlerde)	Avustralya	Zhou ve ark., 2015
		%20-80	Türkiye (Tekirdağ ili)	Dayan ve İlbağı, 2014
		%32,33	Türkiye (Trakya Bölgesi)	İlbağı ve ark., 2005
Arpa	Sarı cücelik	%9-79 (büyüme döneminin erken evrelerinde) %6-9 (kardeşlenme sonrası)	Avustralya	Agriculture Victoria, 2025
		%80 (şiddetli enfeksiyon koşullarında)	Avrupa Ülkeleri	Dedryver ve ark., 2010
		%26,52	Türkiye (Trakya Bölgesi)	İlbağı ve ark., 2005
Çeltik	Sarı benek	%10-100 (çeşide ve iklim koşullarına bağlı olarak)	Sahra Altı Afrika	Abrokwah ve ark., 2024
	Çizgili mozaik	%23,86-31,56	Çin	Chen ve ark., 2019
Mısır	Nekroz	%70-100 (yoğun hastalık koşullarında)	Sahra Altı Afrika	Boddupalli ve ark., 2020

3. Sonuç ve Öneriler

Tahıl hastalıklarının ekonomik etkilerinin değerlendirilmesinde yalnızca verim kayıplarının dikkate alınması yeterli değildir. Günümüzde ekonomik zarar; ürün miktarında meydana gelen azalma, kalite kayıpları, hasat sonrası kayıplar, hastalıkla mücadele maliyetleri ve pazarlama süreçlerinde ortaya çıkan gelir kayıplarının birlikte değerlendirilmesiyle hesaplanmaktadır. Bu nedenle aynı verim kaybına sahip iki hastalık, ürün kalitesi üzerindeki etkilerine bağlı olarak farklı ekonomik sonuçlar doğurabilmektedir. Küresel ölçekte değerlendirildiğinde, bitki hastalıklarının tahıl üretiminde neden olduğu ciddi verim kayıpları, dünya tahıl üretiminin ekonomik değeri dikkate alındığında her yıl milyarlarca dolarlık kayba karşılık gelmektedir. Özellikle buğday, arpa, çeltik ve mısırda görülen fungal, viral ve bakteriyel hastalıklar hem üretici gelirlerini azaltmakta hem de gıda güvenliği üzerinde önemli baskılar oluşturmaktadır. ABD'nin 29 eyaletinden ve Kanada'nın Ontario bölgesinde 2018-2021 yılları arasında buğday patojenleri tahmini 2,9 milyar ABD doları değerinde ekonomik zarara neden olmuştur (Friskop ve ark., 2025).

Buğdayda pas hastalıkları, Fusarium başak yanıklığı ve kök çürüklükleri dünya genelinde en yüksek ekonomik kayıplara neden olan hastalık grupları arasında yer almaktadır. Özellikle Fusarium enfeksiyonları sonucu oluşan mikotoksinler nedeniyle ürünler insan ve hayvan tüketiminde kullanım kısıtlamalarıyla karşılaşabilmektedir. Bu durum yalnızca verim kaybına değil, aynı zamanda ürünün ticari değerinin düşmesine ve ihracat kayıplarına yol açmaktadır. Fusarium baş yanıklığı, Amerika Birleşik Devletleri'nin Orta Batı bölgesinin kuzey kesimlerinde buğday ve arpa üretimini etkileyen önemli fungal hastalıklardan biridir. Nganje ve ark. (2004) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, 1998-2000 yılları arasında meydana gelen Fusarium baş yanıklığı salgınlarının sert kırmızı yazlık buğday, yumuşak kırmızı kışlık buğday, durum buğdayı ve arpa üzerindeki kümülatif doğrudan üretim ve fiyat etkilerinin yaklaşık 871 milyon ABD doları olduğu hesaplanmıştır.

Hastalığın bölgesel ekonomide oluşturduğu ikincil kayıpların ise yaklaşık 1,8 milyar ABD doları düzeyine ulaştığı; böylece toplam ekonomik etkinin yaklaşık 2,7 milyar ABD doları olduğu belirlenmiştir. Fusarium enfeksiyonları, gıda ve yem sanayisinde önemli kalite sorunları oluşturmaktadır. Arpada ekonomik kayıplar çoğunlukla ağbenek, yaprak yanıklığı ve Fusarium başak yanıklığı ile ilişkilendirilmektedir. Özellikle arpa üretiminde kalite kriterlerinin karşılanamaması, verim kaybından daha büyük ekonomik sonuçlar doğurabilmektedir. Protein oranı, tane iriliği ve çimlenme gücünde meydana gelen değişimler ürünün yemlik sınıfa düşmesine neden olmakta ve üreticinin elde ettiği satış gelirini önemli ölçüde azaltmaktadır.

Çeltikte en büyük ekonomik kayıplar yanıklık hastalığından kaynaklanmaktadır.

Yanıklık, dünya genelinde çeltik üretiminin önündeki en önemli biyotik kısıtlardan biri olarak kabul edilmekte ve her yıl milyonlarca dolar düzeyinde ekonomik zarara neden olmaktadır. Hastalık yalnızca verim kaybı oluşturmakla kalmamakta, aynı zamanda hastalık yönetimi amacıyla yapılan fungisit uygulamalarının sayısını artırarak üretim maliyetlerini de yükseltmektedir. Çeltikte yanıklık hastalığı dünyanın birçok bölgesinde en yıkıcı hastalık olarak kabul edilmektedir. Bazı araştırmalar, her yıl çeltik yanıklığı nedeniyle kaybedilen ürün miktarının milyonlarca insanın yıllık tüketimini karşılayabilecek düzeyde olduğunu göstermektedir. Hastalığın yoğun görüldüğü yıllarda verim kayıplarına ek olarak fungusit uygulama sayısının artması, üretim maliyetlerini yükselterek ekonomik zararı daha da büyütmektedir.

Mısırda ise Fusarium koçan çürüklüğü ve mısır ölümcül nekroz hastalığı ekonomik açıdan en önemli hastalıklar arasında yer almaktadır. Fusarium türleri tarafından üretilen fumonisin ve benzeri mikotoksinler, ürünün yem ve gıda sektöründeki kullanımını sınırlandırmakta ve pazarlanabilir ürün miktarını azaltmaktadır. Doğu Afrika'da görülen mısır koçan çürüklüğü hastalığının bazı üretim alanlarında %100'e ulaşan kayıplara neden olduğu ve bölgesel düzeyde ciddi ekonomik zararlar oluşturduğu bildirilmektedir (Lanubile ve ark., 2017). Kenya'da mısır ölümcül nekroz hastalığının ekonomik etkisi ülke ölçeğinde oldukça yüksek düzeydedir. Hastalık nedeniyle toplam mısır kaybının yılda yaklaşık 0,5 milyon ton olduğu; bu miktarın hastalık öncesi ortalama yıllık mısır üretiminin yaklaşık %22'sine karşılık geldiği ve ekonomik değerinin yaklaşık 180 milyon ABD doları olduğu tahmin edilmektedir. Kayıpların özellikle Batı Kenya'da yoğunlaştığı; nemli geçiş bölgesinde kayıpların %58, nemli orta rakımlı alanlarda %19 ve yayla kesimlerinde %17 düzeyinde gerçekleştiği bildirilmiştir (Groote ve ark., 2016).

Türkiye'de ve dünya genelinde tahıl hastalıklarının doğrudan ekonomik etkilerini ve hastalık kaynaklı toplam ekonomik kayıpları ortaya koyan çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Mevcut çalışmaların önemli bir bölümü verim kayıplarına odaklanırken, verim kayıplarının yanı sıra kalite kayıpları, mücadele maliyetleri, pazarlanabilir ürün miktarındaki azalma ve üretici gelirlerindeki düşüş gibi ekonomik unsurların birlikte değerlendirildiği çalışmaların yetersiz olduğu dikkat çekmektedir.
Bununla birlikte, mevcut verim kaybı oranları tahıl hastalıklarının küresel ölçekte önemli ekonomik sonuçlar doğurduğuna işaret etmektedir.
Bu nedenle hastalıkların erken teşhisi ve izlenmesi, dayanıklı veya toleranslı çeşitlerin kullanılması, sağlıklı tohumluk materyalinin tercih edilmesi ve uygun kültürel mücadele yöntemlerinin birlikte uygulanması, tahıl hastalıklarından kaynaklanan ekonomik kayıpların azaltılması açısından büyük önem taşımaktadır.
Buğday, arpa, çeltik ve mısır gibi stratejik tahıllarda hastalıkların neden olduğu ekonomik kayıpların bölgesel ve uzun dönemli çalışmalarla ortaya konulması, tarımsal üretimin ekonomik sürdürülebilirliğinin değerlendirilmesi açısından önem taşımaktadır. Ayrıca, hastalıkların ekonomik zararlarının belirlenmesinde yalnızca mevcut kayıpların hesaplanması yerine, erken teşhis ve izleme sistemleri, dayanıklı çeşitlerin kullanımı, sağlıklı tohumluk kullanımı, entegre hastalık yönetimi ve biyolojik mücadele gibi alternatif uygulamaların sağlayacağı ekonomik faydaların da değerlendirilmesi gerekir. Türkiye özelinde ise farklı bölgelerde hastalıkların yaygınlık ve şiddeti ile ekonomik kayıplar arasındaki ilişkinin ortaya konulmasına yönelik saha çalışmalarının artırılması, elde edilen sonuçların üretim planlaması ve tarım politikalarının oluşturulmasında kullanılmasına olanak sağlayacaktır.

Bu kapsamda, tahıl hastalıklarının neden olduğu ekonomik kayıpların düzenli olarak izlenmesi ve ulusal düzeyde veri tabanlarının oluşturulması, hem üretici gelirlerinin korunması hem de tarımsal sürdürülebilirliğin sağlanması açısından önemli görülmektedir.

Kaynaklar

Abrokwah, L. A.,Torkpo, S. K., Pereira, G. d. S., Oppong, A., Eleblu, J., Pita, J., Offei, S. K. (2024). Rice Yellow Mottle Virus (RYMV): A Review. Viruses, 16(11): 1707.

Agriculture Victoria, 2025. Barley yellow dwarf virus. https://agriculture.vic.gov.au/biosecurity/plant-diseases/grain-pulses-and-cereal-diseases/barley-yellow-dwarf-virus (Erişim tarihi: 01.12.2025).

Bamberg, R.H. (1936) Black chaff disease of wheat. Journal of Agricultural Research, 52, 397-417.

Beigi, S., Zamanizadeh, H., Razavi, M., Zare, R. (2013). Genetic diversity of Iranian isolates of barley scald pathogen (Rhynchosporium secalis) making use of molecular markers. J. Agr. Sci. Tech., 15: 843-854.

Boddupalli, P., Suresh, L.M., Mwatuni, F., Beyene, Y., Makumbi, D., Gowda, M., ... , Lassen, P. (2020). Maize lethal necrosis (MLN): Efforts toward containing the spread and impact of a devastating transboundary disease in sub-Saharan Africa. Virus Research, 282, 197943.

Bottalico, A. (1998). Fusarium diseases of cereals: Species complex and related mycotoxin profiles, in Europe. Journal of Plant Pathology, 80 (2): 85-103.

Bütüner, R., Şimşek, M., Aksöz, G., Şan, S. (2023). Yapay sinir ağları ile mısır yapraklarında hastalık tespiti. Journal of Information Systems and Management Research, 5(2): 21-31.

Chen, S., Li, W., Huang, X., Chen, B., Zhang, T., Zhou, G. (2019). Symptoms and yield loss caused by rice stripe mosaic virus. Virology Journal, 16(1): 145.

Crop Protection Network (2025). An Overview of Fusarium Head Blight. https://cropprotectionnetwork.org/publications/an-overview-of-fusarium-head-blight (Erişim tarihi: 01.12.2025).

Damgacı, E. (2014). Arpa ağbenek (Pyrenophora teres Drechs.) hastalığının yayılış durumu, neden olduğu verim kaybı ve verim bileşenlerine etkisi üzerinde araştırmalar. Bitki Koruma Bülteni, 54(4): 311-341.

Dayan, S., İlbağı, H. (2014). Tekirdağ ili buğday ekim alanlarında ekmeklik buğday (Triticum aestivum L.) çeşitlerinde görülen tahıl virüs hastalıklarının buğday kalite özellikleri üzerine etkilerinin araştırılması. V. Türkiye Bitki Koruma Kongresi, 3-5.

Dedryver, C.A. Ralec,A. Fabre, F. (2010). The conflict in relationships between aphids and men: A review of aphid damage and control strategies. C. R. Biologies 333: 539-553.

Forster, R.L., Mihuta-Grimm, L., Schaad, N.W. (1986). Black chaff of wheat and barley. Current Information Series No. 784, p. 2. University of Idaho, College of Agriculture.

Forster, R.L., Schaad, N.W. (1988). Control of black chaff of wheat with seed treatment and a foundation seed health program. Plant Disease 72: 935-938.

Friskop, A.J., Sisson, A.J., Allen, T.W., Andersen-Onofre, K.F., Aoun, M., Bergstrom, G. C., ... , Wiersma, J.J. (2025). Estimated yield reductions and economic losses on wheat caused by disease from 2018 through 2021. Plant Health Progress, 26(3), 325-337.

Göbelez, M. (1953). Karadeniz Bölgesi çeltiklerinde kavrulma (Pyricularia oryzae). Tomurcuk, 22: 12.

Gözener, B., Kaplan, E. (2024). Çiftçilerin buğday üretiminde iklim değişikliğinin etkisine ilişkin bakış açıları; Tokat İli Artova İlçesi örneği. Ziraat, Orman Ve Su Ürünleri Alanında Akademik Çalışmalar II, IKSAD.

Groote, H., Mezzalama, M., Ouma, J. O., Mugo, S., Waruru, A., Wayua, F.O., Ndubi, J. (2016). Community-survey based assessment of the geographic distribution and impact of maize lethal necrosis disease in Kenya. Crop Protection, 82: 30-35.

Hagborg, W. A. F., Chiko, A. W., Fleischmann, G., Gill, C. C., Green, G. J., Martens, J. W., ... , Samborski, D.J. (1972). Losses from cereal diseases in Manitoba in 197 1. Can. Plant Dis. Surv, 52: 113-118.

Hekimhan, H., Bağcı, S. A., Nicol, J., Tunalı, B. (2005). Kök ve kök boğazı çürüklüğü hastalığı etmenlerinin bazı kışlık hububat verimleri üzerine etkileri. Türkiye VI. Tarla Bitkileri Kongresi Bildirileri, 1: 201-206.

İlbağı H., Çıtır A., Yorgancı U. (2005). Occurrence of virus infections on cereal crops and their identifications in the Trakya Region of Turkey. Journal of Plant Diseases and Protection, 112: 313-320.

Jarošová, J., Beoni, E., Kundu, J.K., (2016). Barley yellow dwarf virus resistance in cereals: Approaches, strategies and prospects. Field Crops Research, 198: 200-214.

Kazan, K., Gardiner, D.M. (2018). Fusarium crown rot caused by Fusarium pseudograminearum in cereal crops: Recent progress and future prospects. Molecular Plant Pathology 19: 1547-1562.

Khan, M., Rafi, A., Abbas, A., Ali, T., Hassan, A. (2015). Assessment of yield losses caused by Bacterial blight of rice in upper dir, khyber Pakhtunkhwa province. Asian Journal Agricultural Biology., 3(2): 74-78.

Lanubile, A.,Maschietto, V., Borrelli, V. M., Stagnati, L., Logrieco, A. F., Marocco, A. (2017). Molecular basis of resistance to Fusarium ear rot in maize. Frontiers in plant science, 8, 1774.

Li, J., Hu, M., Xue, Y., Chen, X., Lu, G., Zhang, L., Zhou, J. (2020). Screening, identification and efficacy evaluation of antagonistic bacteria for biocontrol of soft rot disease caused by Dickeya zeae. Microorganisms, 8, 697.

Margani, R., Widadi, S. (2018). Utilizing Bacillus to inhibit the growth and infection by sheath blight pathogen, Rhizoctonia solani in rice. IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 142: 012070.

Mathur, S.B., Amatya, P., Shrestha, K., Manandhar, H.K. (1992). Plant diseases seed production and seed health testing in Nepal. https://worldveg.tind.io/record/17518/.

Nganje, W.E., Bangsund, D.A., Leistritz, F.L., Wilson, W.W., Tiapo, N M. (2004). Regional economic impacts of Fusarium head blight in wheat and barley. Review of Agricultural Economics, 26(3): 332-347.

Oerke, E.C. (2006). Crop losses to pests. Journal Agricultural Sciences, 144: 31-43.

Ou, S.H. 1985. Rice diseases. IRRI.

Parry, D. W., Jenkinson, P., McLeod, L. (1995). Fusarium ear blight (scab) in small grain cereals—a review. Plant pathology, 44(2): 207-238.

Patil, B.L. (2021). Plant viral diseases: Economic implications. Encyclopedia of Virology (Fourth Edition), 3: 81-97.

Sastry, K.S., Zitter, T.A. (2014). Management of virus and viroid diseases of crops in the tropics. In Plant virus and viroid diseases in the tropics: volume 2: epidemiology and management (pp. 149-480). Dordrecht: Springer Netherlands.

Söylemez, İ., Nalici, M.E., Ünlü, R. (2024). Türkiye'de tahıl üretiminin tahminlemesi: Karşılaştırmalı analiz. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 40(2): 288-303.

Sürek, H. (2007). Çeltik yanıklık hastalığı (Pyricularia oryzae). Hasad Bitkisel Üretim, 23(265): 80-86.

Tekinel, N., Babaoğlu, B., Yılmazdemir, F.Y., Bilgin, O. (1980). Türkiye'de çeltik hastalıkları üzerine araştırmalar. A. 103308 Nolu Ülkesel Proje Sonuç Raporu.

Tillman, B.L., Kursell, W.S., Harrison, S.A., Russin, J.S. (1999). Yield loss caused by bacterial streak in winter wheat. Plant disease, 83(7): 609-614.

Vigier, B., Reid, L.M., Dwyer, L.M., Stewart, D.W., Sinha, R C., Arnason, J.T., Butler, G. (2001). Maize resistance to gibberella ear rot: Symptoms, deoxynivalenol, and yield1. Canadian Journal of Plant Pathology, 23(1): 99-105.

Wiese, M.V. (1998). Compendium of wheat diseases. Second Edition. APS Pres, St. Paul, MN, 112 pp.

Zhou, M., Larkin, P., Schwinghamer, M., Coutts, B., Birchall, C., Johnson, P., ..., Davey, B. (2015, September). Studies on barley yellow dwarf virus (BYDV) in wheat. In Proceedings of 17th Australian Society of Agronomy Conference, 20-24.

SIĞIR EMBRİYOLARINDA GELİŞİMSEL YETKİNLİK VE HATCHİNG KAPASİTESİNİN MOLEKÜLER TEMELLERİ

MOLECULAR BASIS OF DEVELOPMENTAL COMPETENCE AND HATCHING CAPACITY IN BOVINE EMBRYOS

Dr. Vahit AĞIR
Department of Reproduction and Artificial Insemination, Faculty of Veterinary Medicine, Selçuk University, Konya, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-6271-6088

Özet
Sığır embriyolarının kalite derecelendirmesi; transfer veya dondurma işlemlerine tabi tutulacak en kaliteli embriyoların belirlenmesi açısından önemlidir. Embriyo kalitesi, halen büyük oranda embriyoların morfolojisine, iç hücre kitlesinin ve trofektodermin yapısına ya da embriyonun hatching durumuna bakılarak non-invaziv yollarla belirlenir. Fakat bu yöntemler subjektiftir ve benzer morfolojik özellikteki embriyolar farklı gelişim kapasiteleri oluşturabilmektedirler. Sadece morfolojiden ziyade embriyonun hücresel yapısını ve gen ekspresyon profilini açığa çıkaracak moleküler belirteçler ön plana çıkmaktadır. Bu derlemede sığır embriyolarının gelişimsel yetkinliği, genel kalitesi ve özellikle de başarılı bir gebelik için önemli bir aşama olan hatching (zona pellucidadan çıkma) potansiyeliyle doğrudan ilişkili olan BAX, BCL2, NFE2L2, NANOG, TEAD4, OCT4, DNMT1, CDX2 ve GATA3 genlerinin fonksiyonları incelenmiştir. BAX ve BCL2 genleri hücresel canlılık ile kontrollü ölüm arasındaki hassas dengeyi yönetirken, NFE2L2 geninin in vitro kültür ortamındaki pro-oksidan stres faktörlerine karşı bir antioksidan koruma görevi olduğu bilinmektedir. OCT4 ve NANOG genleri iç hücre kitlesinin pluripotens yapısını sürdürmede görevlidir; TEAD4, CDX2 ve GATA3 genleri ise trofektoderm farklılaşması ve blastosist oluşumunda etkindir. DNA metilasyon kalıplarının hücre bölünmeleri boyunca korunması DNMT1 enzimi sağlamaktadır. Söz konusu genlerin tekil fonksiyonlarının ötesinde, aralarında kurulan karmaşık moleküler etkileşimlerin, embriyonun iki hücreli aşamadan blastosist ve hatched blastosist aşamasına geçişindeki kritik bağlantılar oluşturduğu öngörülmektedir. Bu spesifik gen panelinin birlikte incelenmesi, embriyonun morfolojik kriterlere dayanan geleneksel derecelendirme metodolojilerine moleküler düzeyde yeni bir boyut kazandıracaktır. Ayrıca değerlendirilen kombine gen ekspresyon profili, sığır embriyolarında implantasyon başarısının öngörülmesini sağlayabilir.
Anahtar Kelimeler: Sığır embriyosu, Embriyo kalitesi, Gen ifadesi, Pluripotensi

Abstract
Quality grading of bovine embryos is crucial for identifying the highest quality embryos to be subjected to transfer or freezing procedures. Embryo quality is still largely determined through non-invasive methods by evaluating embryo morphology, the structure of the inner cell mass and trophectoderm, or the hatching status of the embryo. However, these methods are subjective, and embryos with similar morphological characteristics can demonstrate different developmental capacities. Molecular markers that reveal the cellular structure and gene expression profile of the embryo, rather than just morphology, are becoming increasingly prominent. In this review, the functions of BAX, BCL2, NFE2L2, NANOG, TEAD4, OCT4, DNMT1, CDX2, and GATA3 genes, which are directly related to the developmental competence, overall quality, and particularly the hatching (emerging from the zona pellucida) potential a critical stage for a successful pregnancy of bovine embryos, were examined. While BAX and BCL2 genes regulate the delicate balance between cellular viability and programmed death, the NFE2L2 gene is known to serve an antioxidant protective role against pro-oxidant stress factors in the in vitro culture environment. The OCT4 and NANOG genes are responsible for maintaining the pluripotency of the inner cell mass, whereas the TEAD4, CDX2, and GATA3 genes are active in trophectoderm differentiation and blastocyst formation. The preservation of DNA methylation patterns throughout cell divisions is maintained by the DNMT1 enzyme. Beyond the individual functions of these genes, it is anticipated that the complex molecular interactions established among them form critical links in the embryo's transition from the two-cell stage to the blastocyst and hatched blastocyst stages.

Evaluating this specific gene panel together will introduce a new dimension at the molecular level to traditional embryo grading methodologies based on morphological criteria. Furthermore, this combined gene expression profile could enable the prediction of implantation success in bovine embryos.

Keywords: Bovine embryo, Embryo quality, Gene expression, Pluripotency

FROM AGRICULTURAL RESIDUES TO SUSTAINABLE MATERIALS

Fatiha CHAGANE
Mechanics, Materials and Composites (MMC) Research Team, Laboratory of Energy Engineering, Materials and Systems (LGEMS), National School of Applied Sciences of Agadir, Ibn Zohr University, Agadir, Morocco.

Hamid ESSABIR
Mechanics, Materials and Composites (MMC) Research Team, Laboratory of Energy Engineering, Materials and Systems (LGEMS), National School of Applied Sciences of Agadir, Ibn Zohr University, Agadir, Morocco.

ABSTRACT
Natural fiber-reinforced composites have gained increasing attention as sustainable alternatives to conventional synthetic composites due to their low cost, biodegradability, and favorable mechanical properties. Agricultural by-products such as argan nutshells represent an abundant, underexploited natural resource, and valorizing this waste as a reinforcing filler in polymer matrices offers both environmental and economic benefits. The objective of this work is to investigate the effect of reinforcing a polymer matrix with argan nutshell powder on the mechanical properties of a natural fiber composite, specifically determining how varying the percentage of argan nutshell powder incorporated into the matrix influences the flexural behavior of a hybrid composite based on Jute fiber and glass fiber. The composite was prepared using a plain weave fabric consisting of a hybridization of Jute natural fiber and synthetic glass fiber, manufactured using a Carver hot press. Four sample configurations were produced: a pure resin sample (100% resin) and three composite samples containing 0%, 5%, and 10% argan nutshell powder incorporated into the polymer matrix. Mechanical characterization was performed through three-point flexural testing to evaluate the flexural modulus of each formulation, while the argan nutshell powder was characterized using scanning electron microscopy (SEM) and particle size distribution analysis, which revealed an average particle size of 50 µm. Flexural test results showed a clear dependence of mechanical performance on filler content, with the highest flexural modulus reaching 6855 MPa for the sample containing the highest percentage (10%) of argan nutshell powder, indicating a reinforcing effect on composite stiffness. These findings suggest that incorporating argan nutshell powder into the hybrid Jute /glass fiber composite enhances flexural stiffness, likely due to improved load transfer and interfacial bonding between the filler particles and the polymer matrix at higher loading levels, an effect favored by the fine and relatively homogeneous particle size confirmed by SEM and granulometric analysis. This study demonstrates that argan nutshell powder can be effectively used as a reinforcing filler in a hybrid natural/synthetic fiber composite, producing a measurable improvement in flexural modulus with increasing filler content. The results highlight the potential of valorizing argan nutshell waste in developing sustainable, low-cost bio composite materials with enhanced mechanical performance, particularly relevant for regions with significant argan tree cultivation and processing activity. Future work could explore optimizing filler content beyond 10%, refining fiber hybridization ratios, and assessing additional mechanical properties such as tensile and impact strength, as well as long-term durability under environmental exposure, to further validate the industrial applicability of this biocomposite system.
Keywords— Argan nutshell powder; Biocomposite material; Natural fiber reinforcement; Mechanical characterization; Flexural modulus.

References (include 5 references)
G. B. Jean-Frédéric Terral, "Understanding how the Argan tree adapts its performance in a heterogeneous environment using wood anatomical and leaf functional traits," Journal of Arid Environments, 2025.
H. E. O. Hassan El Idrissi, "Simulation and economic evaluation of pyrolysis of Moroccan date stones and Argan nut shells using Aspen Plus," Bioresource Technology Reports, 2025.
M. T. Soukaina Fekkar, "Exploring the thermal and mechanical properties of plasters reinforced with argan nut shells: New composites for energy efficiency applications," Cleaner Materials, 2025.

M. B. Ayoub Najah EL Idrissi, "Effect of the particle size argan nut shell (ANS) biomass on combustion parameters in stirling engine in Morocco," Results in Engineering, 2023.

H. E. M. H. Akhzouz, "Physical characterization of bio-composite CEB stabilized with Argan nut shell and cement," Materials Today: Proceedings, 2020

RESPONSE OF GERMINATION AND EARLY SEEDLING GROWTH OF THE OAT (AVENA SATIVA L.) CULTIVAR KAHRAMAN TO INCREASING NACL CONCENTRATIONS

İhsan Serkan VAROL
Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Erciyes University, Kayseri, Türkiye.

ÖZET

Amaç: Bu çalışmada, Kahraman yulaf (*Avena sativa* L.) çeşidinde artan NaCl konsantrasyonlarının çimlenme ve erken fide gelişimi üzerine etkilerinin trend ve regresyon analizleriyle tanımlanması ve incelenen özelliklerin tuza duyarlılık bakımından sıralanması amaçlanmıştır.

Materyal ve Yöntem: Tohumlar 0, 40, 80, 120 ve 160 mM NaCl çözeltileriyle petri kaplarında, tesadüf parselleri deneme deseninde üç tekrarlı olarak 21 gün süreyle çimlendirilmiştir. Çimlenme oranı, radikula ve plumula uzunluğu ile yaş ve kuru ağırlıklar ölçülmüş; kök/sürgün kuru ağırlık oranı, fide su içeriği, uzunluk ve kuru ağırlık temelli vigor indeksleri, tuza tolerans indeksi ve fitotoksisite hesaplanmıştır. Doz etkisi ortogonal polinom kontrastlarıyla doğrusal ve kuadratik bileşenlere ayrılmış, her özellik için regresyon modeli kurulmuş ve %50 kayıp dozları hesaplanmıştır.

Bulgular: Tuz, fide su içeriği ve radikula/plumula oranı dışındaki tüm özellikleri önemli düzeyde azaltmıştır. Uzunluklar doğrusal olarak azalmış; her 10 mM NaCl artışı radikula uzunluğunu %5,2, plumula uzunluğunu %4,5 düşürmüştür. Çimlenme oranı ise 40 mM'de etkilenmemiş, yüksek dozlarda hızlanan kuadratik bir düşüşle 160 mM'de %24,3'e gerilemiştir. %50 kayıp dozları çimlenmede 128 mM, radikula ve plumula uzunluğunda 96–111 mM, fide kuru ağırlığında 56 mM ve radikula kuru ağırlığında 46 mM olarak hesaplanmıştır. Kök/sürgün kuru ağırlık oranının 0,77'den 0,28'e düşmesi, kök biyokütlesinin sürgünden daha duyarlı olduğunu göstermiştir.

Sonuç: Kahraman yulaf çeşidinde tuz etkisi en erken ve en şiddetli biçimde kök biyokütlesinde ortaya çıkmış, çimlenme ise en az etkilenen özellik olmuştur. Tuz toleransının değerlendirilmesinde çimlenme oranı ve uzunluklara ek olarak kuru ağırlık temelli ölçütlerin (SVI-II, tuza tolerans indeksi) kullanılması daha duyarlı sonuç vermektedir.

Anahtar Kelimeler: Yulaf, *Avena sativa*, tuz stresi, trend analizi, regresyon, biyokütle dağılımı, vigor indeksi.

Abstract

Aim: This study aimed to describe the effects of increasing NaCl concentrations on germination and early seedling growth of the oat (*Avena sativa* L.) cultivar Kahraman by trend and regression analyses, and to rank the examined traits according to their salt sensitivity.

Methods: Seeds were germinated in Petri dishes with 0, 40, 80, 120 and 160 mM NaCl solutions for 21 days in a completely randomized design with three replications. Germination rate, radicle and plumule lengths and fresh and dry weights were measured; root/shoot dry weight ratio, seedling water content, length- and dry weight-based vigor indices, salt tolerance index and phytotoxicity were calculated. The dose effect was partitioned into linear and quadratic components by orthogonal polynomial contrasts, a regression model was fitted for each trait, and the doses causing a 50% loss were estimated.

Results: Salt significantly reduced all traits except seedling water content and radicle/plumule ratio. Lengths decreased linearly, with each 10 mM increase in NaCl reducing radicle length by 5.2% and plumule length by 4.5%. Germination, in contrast, was unaffected at 40 mM and declined along an accelerating quadratic curve to 24.3% at 160 mM. The doses causing a 50% loss were 128 mM for germination, 96–111 mM for radicle and plumule lengths, 56 mM for seedling dry weight and 46 mM for radicle dry weight. The decrease in root/shoot dry weight ratio from 0.77 to 0.28 showed that root biomass was more sensitive than shoot biomass.

Conclusion: In the oat cultivar Kahraman, the effect of salt appeared earliest and most severely in root biomass, whereas germination was the least affected trait.

Using dry weight-based criteria (SVI-II, salt tolerance index) in addition to germination rate and lengths provides a more sensitive assessment of salt tolerance.
Keywords: Oat, *Avena sativa*, salt stress, trend analysis, regression, biomass allocation, vigor index.

1. Introduction

Oat (*Avena sativa* L.) is a dual-purpose cool-season cereal that can be grown for both grain and forage, and it is widely cultivated on low-fertility and saline-alkaline soils (Shah et al., 2020). Although it is classified as moderately salt-tolerant among cereals (Liu et al., 2020), the response of oat to salt stress varies considerably with genotype and developmental stage. For instance, at 100 mM NaCl the root and leaf dry weights of one oat line were unaffected, whereas those of another line decreased by 35–42% (Liu et al., 2020).

Salinity restricts water uptake by lowering the osmotic potential of the root medium and causes toxicity through the accumulation of Na^+ and Cl^- ions in the tissues (Munns and Tester, 2008). These effects disrupt cell division and expansion, enzyme activity and ionic balance, thereby limiting stand establishment, particularly during germination and early seedling growth (Parida and Das, 2005). In oat, increasing salt concentration has been reported to reduce germination rate, germination potential and seedling vigor (Chauhan et al., 2019; Zhou et al., 2024), and the salt responses of commercial and local oat genotypes during germination and seedling growth have also been examined in Türkiye (Güngör et al., 2017).

In germination-stage salinity studies, results are usually presented by grouping dose means with multiple comparison tests. However, when salt concentration is a quantitative, equally spaced factor, partitioning the dose effect into linear and curvilinear components and describing it with regression models provides more information by revealing the shape of the response, the loss per unit increase in salt and the dose at which a given loss level is reached (Gomez and Gomez, 1984). Moreover, considering criteria based on dry matter accumulation alongside the commonly used length-based criteria allows the salt sensitivity of different traits to be compared.

The aim of this study was to describe the effects of increasing NaCl concentrations (0–160 mM) on germination and early seedling growth of the oat cultivar Kahraman by trend and regression analyses, to rank the examined traits according to their salt sensitivity, and to reveal the relationships among the traits.

2. Materials and Methods

2.1. Plant material and experimental design

The plant material consisted of seeds of the oat (*Avena sativa* L.) cultivar Kahraman. Uniform, plump and undamaged seeds were used. The experiment was established according to a completely randomized design with five NaCl concentrations (0, 40, 80, 120 and 160 mM) and three replications, in a total of 15 Petri dishes.

2.2. Germination conditions

Prior to germination, the seeds were surface-sterilized. For this purpose, they were kept in jars containing 2% sodium hypochlorite solution on a shaker for 10 min and then rinsed five times with sterile distilled water to remove the chemical residue from their surface (Bilgili et al., 2011). The sterilized seeds were sown under a sterile cabinet into sterile Petri dishes 11 cm in diameter and 10 mm in height lined with double-layered coarse filter paper, at 50 seeds per dish. The treatment solutions were prepared by dissolving NaCl in distilled water; 10 mL of the respective solution was added to each dish, and only distilled water was added to the control dishes. The dishes, sealed with parafilm to prevent air exchange, were kept in a germination cabinet set at 21 °C under dark conditions for 21 days, and seeds with a radicle longer than 2 mm were considered germinated.

2.3. Measured traits and calculations

At the end of the germination period, germinated seeds were counted to determine the germination rate (Equation 1). Length and weight measurements were made on 15 randomly selected seedlings per dish or, at doses where fewer than 15 seeds had germinated, on all germinated seedlings. Radicle and plumule lengths were measured in millimetres, and seedling length (Equation 2) and the radicle/plumule ratio (Equation 3) were calculated.

After the fresh weights of the radicle and plumule had been determined, the samples were oven-dried at 70 °C for 48 h to obtain their dry weights, and the values were expressed per seedling (mg seedling^{-1}). Biomass allocation was assessed with the root/shoot dry weight ratio (Equation 4) and tissue hydration with seedling water content (Equation 5). Seedling vigor was expressed by two vigor indices, one based on length (SVI-I; Equation 6) and one based on dry weight (SVI-II; Equation 7) (Abdul-Baki and Anderson, 1973). The effect of salt was further evaluated with a salt tolerance index based on seedling dry weight (Equation 8) and a phytotoxicity index based on radicle length (Equation 9).

$$GR\ (\%) = (Number\ of\ germinated\ seeds / Number\ of\ sown\ seeds) \times 100 \quad (1)$$

$$SL\ (mm) = RL + PL \quad (2)$$

$$R/P = RL / PL \quad (3)$$

$$RSR = RDW / PDW \quad (4)$$

$$WC\ (\%) = [(Fresh\ weight - Dry\ weight) / Fresh\ weight] \times 100 \quad (5)$$

$$SVI\text{-}I = GR\ (\%) \times SL\ (cm) \quad (6)$$

$$SVI\text{-}II = GR\ (\%) \times SDW\ (mg\ seedling^{-1}) \quad (7)$$

$$STI\ (\%) = (SDW\ treatment / SDW\ control) \times 100 \quad (8)$$

$$Phytotoxicity\ (\%) = [(RL\ control - RL\ treatment) / RL\ control] \times 100 \quad (9)$$

In the equations, GR is germination rate, RL and PL are radicle and plumule length, SL is seedling length, RDW and PDW are radicle and plumule dry weight, SDW is seedling dry weight (RDW + PDW), RSR is the root/shoot dry weight ratio, WC is seedling water content and STI is the salt tolerance index.

2.4. Statistical analysis

The data were evaluated by one-way analysis of variance using the SPSS software package. Because the salt concentrations constituted a quantitative, equally spaced factor, the dose sum of squares was partitioned by orthogonal polynomial contrasts into linear, quadratic and deviation (cubic + quartic) components (Gomez and Gomez, 1984). A second-order regression model was fitted for traits with a significant quadratic component and a linear model for the remaining traits. For linear models, the loss corresponding to a 10 mM increase in NaCl was calculated by relating the slope coefficient to the model's control estimate. The salt concentration reducing each trait to 50% of the control estimate (dose for 50% loss) was solved from the regression equations. Dose means were compared using Tukey's test ($p<0.05$), and relationships among traits were examined with Pearson correlation coefficients ($n = 15$).

3. Results and Discussion

The analysis of variance and trend components for the examined traits are given in Table 1, and the dose means in Table 2. Salt concentration significantly affected all traits except seedling water content and radicle/plumule ratio, and the linear component was decisive for all of these traits. However, the shape of the response differed among traits: only the linear component was significant for the length traits, whereas the quadratic component was also significant for germination rate, fresh and dry weights and the vigor indices. Coefficients of variation ranged from 1.3% to 26.6%.

Table 1. F values of the analysis of variance and orthogonal polynomial components for the examined traits

Trait	Dose (F)	Linear (F)	Quadratic (F)	Deviation (F)	CV (%)
Germination rate (%)	407.7***	1510.3***	110.1***	5.1*	3.8
Radicle length (mm)	80.0***	315.5***	2.6ns	0.9ns	11.1
Plumule length (mm)	19.2***	73.8***	1.6ns	0.7ns	17.9
Seedling length (mm)	93.4***	369.2***	3.9ns	0.2ns	9.7
Radicle/plumule ratio	2.2ns	5.6*	0.5ns	1.3ns	22.1
Radicle fresh weight (mg)	264.1***	945.9***	109.0***	0.7ns	10.5
Plumule fresh weight (mg)	216.0***	806.9***	37.7***	9.8**	8.3
Radicle dry weight (mg)	217.5***	766.3***	101.5***	1.2ns	11.7
Plumule dry weight (mg)	57.1***	212.0***	9.7*	3.4ns	16.0
Seedling dry weight (mg)	183.8***	675.3***	54.4***	2.7ns	10.3

Trait	Dose (F)	Linear (F)	Quadratic (F)	Deviation (F)	CV (%)
Root/shoot dry weight ratio	8.0**	18.3**	3.5ns	5.1*	26.6
Seedling water content (%)	0.2ns	0.5ns	0.0ns	0.1ns	1.3
Vigor index I (SVI-I)	181.2***	713.9***	7.9*	1.5ns	10.3
Vigor index II (SVI-II)	191.4***	702.2***	61.6***	0.8ns	12.6

***p<0.001; **p<0.01; *p<0.05; ns: not significant; CV: coefficient of variation. Degrees of freedom: dose 4, linear 1, quadratic 1, deviation 2, error 10. Because the salt tolerance index is derived from seedling dry weight, its analysis of variance results are identical to those of seedling dry weight and are not presented separately.

Table 2. Mean values of the traits of the oat cultivar Kahraman at increasing NaCl concentrations

Trait	0 mM	40 mM	80 mM	120 mM	160 mM
Germination rate (%)	97.4±1.1a	93.0±0.9a	80.0±4.5b	50.7±2.5c	24.3±2.5d
Radicle length (mm)	45.7±4.5a	36.6±4.1b	23.7±1.9c	15.5±1.2d	9.2±0.4d
Plumule length (mm)	13.9±1.7a	9.6±1.4b	8.0±1.8b	6.1±1.0b	4.0±1.5c
Seedling length (mm)	59.6±6.0a	46.2±2.7b	31.7±2.4c	21.6±2.1d	13.2±1.7d
Radicle/plumule ratio	3.29±0.21a	3.91±0.92a	3.10±0.88a	2.55±0.30a	2.51±0.73a
Radicle fresh weight (mg)	229.9±10.9a	135.2±16.4b	56.9±8.1c	23.0±2.4d	15.0±2.2d
Plumule fresh weight (mg)	266.6±9.8a	155.2±20.5b	108.5±1.9c	79.4±5.3d	29.5±3.6e
Radicle dry weight (mg)	23.41±1.58a	13.52±1.68b	5.19±0.54c	2.48±0.43c	1.56±0.29d
Plumule dry weight (mg)	30.69±3.51a	17.22±3.55b	13.11±1.31b	9.00±0.77c	3.46±0.73c
Seedling dry weight (mg)	54.10±4.64a	30.74±2.18b	18.30±1.84c	11.49±0.74d	5.02±0.60d
Root/shoot dry weight ratio	0.77±0.07a	0.82±0.27a	0.40±0.01b	0.28±0.06b	0.47±0.15a
Seedling water content (%)	89.1±1.2a	89.4±0.6a	88.9±0.9a	88.7±1.5a	88.7±1.4a
Vigor index I (SVI-I)	580±52a	430±22b	254±27c	110±16d	32±4e
Vigor index II (SVI-II)	5270±493a	2862±227b	1467±207c	581±9d	122±13d
Salt tolerance index (%)	100.0±8.6a	56.8±4.0b	33.8±3.4c	21.2±1.4d	9.3±1.1d

Values are means ± standard deviation (n = 3). Means in the same row followed by the same letter are not significantly different (Tukey, p<0.05).

3.1. Germination

Germination rate was 97.4% in the control and, at 93.0%, remained in the same group as the control at 40 mM; it then declined to 80.0% at 80 mM, 50.7% at 120 mM and 24.3% at 160 mM (Table 2). The germination response to salt was described by a quadratic curve with a negative coefficient ($R^2 = 0.988$; Figure 1a). This shape indicates that germination was largely maintained at low concentrations and that the loss accelerated as concentration increased: relative to the control, the loss was only 4% at 40 mM, whereas an additional decline of about 30 percentage points occurred between 80 and 120 mM. The concentration reducing germination by 50% was estimated from the regression equation as approximately 128 mM (Table 3).

These findings are consistent with the classification of oat as a moderately salt-tolerant cereal (Liu et al., 2020) and with reports that germination rate and germination potential decrease with increasing salt concentration (Chauhan et al., 2019; Zhou et al., 2024). The maintenance of germination at low doses can be explained by the fact that water uptake by the seed and radicle protrusion constitute a short process that relies largely on stored reserves, whereas its rapid decline at high doses can be attributed to the osmotic potential exceeding a threshold that limits water uptake and to the intensification of ion toxicity (Munns and Tester, 2008; Parida and Das, 2005; Willenborg et al., 2005).

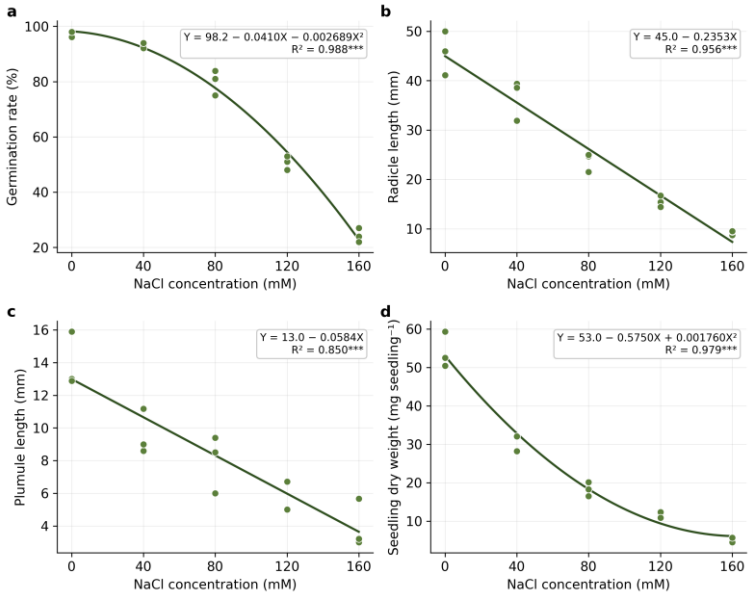


Figure 1. Response of germination rate (a), radicle length (b), plumule length (c) and seedling dry weight (d) of the oat cultivar Kahraman to NaCl concentration. Points represent replicate values and lines represent the regression models.

3.2. Radicle and plumule length

Unlike germination, radicle and plumule lengths decreased from the lowest dose onwards, and their responses were described by a linear model (Figure 1b, c). Radicle length decreased from 45.7 mm in the control to 9.2 mm at 160 mM, and plumule length from 13.9 mm to 4.0 mm. According to the regression coefficients, each 10 mM increase in NaCl reduced radicle length by 5.2% and plumule length by 4.5% of the control level (R^2 = 0.956 and 0.850, respectively). Radicle-based phytotoxicity was 19.8% at 40 mM and reached 48.1% at 80 mM and 79.9% at 160 mM.

At 40 mM, the plumule was affected more than the radicle (68.9% and 80.2% of the control, respectively), but at 80 mM and above the loss progressed faster in the radicle. As a result, the dose effect on the radicle/plumule ratio was not significant, and only a weak linear decrease was detected (F = 5.6*). The non-significance of the quadratic component for the length traits indicates that salt suppressed seedling elongation in proportion to its concentration, without a distinct threshold. This is consistent with the mechanism whereby osmotic stress directly limits cell expansion while ions progressively accumulating in the tissues increase toxicity (Munns and Tester, 2008).

Table 3. Regression equations and doses causing a 50% loss for the traits (ranked from the least to the most salt-sensitive)

Trait	Model	Regression equation	R^2	Dose for 50% loss (mM)
Germination rate (%)	Quadratic	$Y = 98.2 - 0.0410X - 0.002689X^2$	0.988***	128
Plumule length (mm)	Linear	$Y = 13.0 - 0.0584X$	0.850***	111
Seedling length (mm)	Linear	$Y = 58.0 - 0.2937X$	0.963***	99
Radicle length (mm)	Linear	$Y = 45.0 - 0.2353X$	0.956***	96
Vigor index I (SVI-I)	Quadratic	$Y = 589.7 - 4.8027X + 0.007886X^2$	0.982***	69
Plumule dry weight (mg)	Quadratic	$Y = 29.5 - 0.2699X + 0.000708X^2$	0.930***	66
Plumule fresh weight (mg)	Quadratic	$Y = 257.9 - 2.3793X + 0.006277X^2$	0.966***	66
Seedling dry weight (mg)	Quadratic	$Y = 53.0 - 0.5750X + 0.001760X^2$	0.979***	56
Vigor index II (SVI-II)	Quadratic	$Y = 5205.5 - 62.9289X + 0.196777X^2$	0.985***	49
Radicle fresh weight (mg)	Quadratic	$Y = 231.5 - 2.9098X + 0.009717X^2$	0.989***	47

Trait	Model	Regression equation	R^2	Dose for 50% loss (mM)
Radicle dry weight (mg)	Quadratic	$Y = 23.5 - 0.3051X + 0.001052X^2$	0.986***	46

Y: respective trait; X: NaCl concentration (mM). The dose for 50% loss is the concentration at which half of the model's control estimate is reached. ***p<0.001.

3.3. Biomass accumulation, allocation and water content

Fresh and dry weights responded much more strongly to salt than lengths did (Table 2; Figure 2). At 40 mM, radicle and plumule dry weights fell to 57.8% and 56.1% of the control, whereas at the same dose radicle length remained at 80.2% and germination rate at 95.6% of the control. The quadratic response with a positive coefficient for the weights indicates that most of the loss occurred at low and moderate doses and that the curve flattened at high doses (Figure 1d). The doses for 50% loss calculated from the regression equations were 46 mM for radicle dry weight, 56 mM for seedling dry weight and 66 mM for plumule dry weight; these values were markedly lower than those for germination (128 mM) and lengths (96–111 mM) (Table 3). This ranking indicates that, in the cultivar Kahraman, the effect of salt appeared earliest and most severely in biomass accumulation.

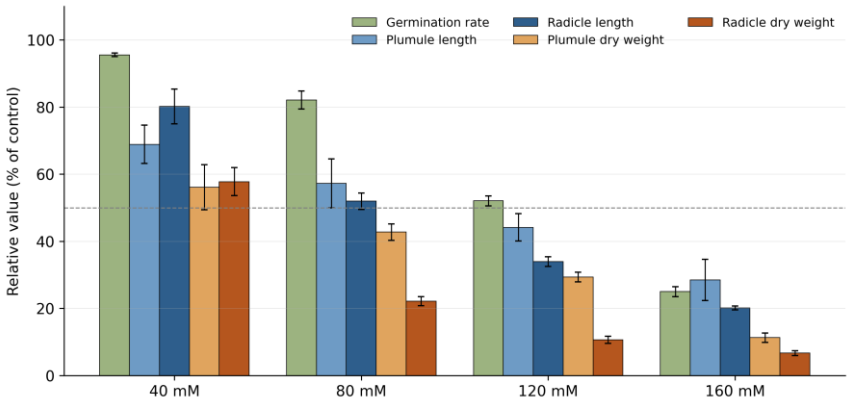


Figure 2. Relative values (% of control) of germination rate, plumule and radicle length, and plumule and radicle dry weight at different NaCl concentrations. Bars are means ± standard error (n = 3); the dashed line indicates the 50% level.

Radicle biomass was more sensitive than plumule biomass. At 80 mM, radicle dry weight fell to 22.2% of the control, whereas plumule dry weight remained at 42.7%; accordingly, the root/shoot dry weight ratio decreased from 0.77 to 0.40 at 80 mM and 0.28 at 120 mM. The rise of the ratio to 0.47 at 160 mM (deviation component F = 5.1*) resulted from the accelerated loss of plumule biomass at this dose. It is also noteworthy that the loss in radicle dry weight was considerably greater than that in radicle length: radicle dry weight per unit radicle length, calculated from the dose means, was approximately 0.51 mg mm^{-1} in the control but decreased to 0.22 mg mm^{-1} at 80 mM. This suggests that salt may have reduced not only the elongation of the measured radicle but also the thickness of the root system or the number of roots, and that length-based criteria alone may underestimate root damage.

Although salt stress has generally been reported to suppress shoot growth more than root growth (Brunes et al., 2013; Munns and Tester, 2008), the direct and continuous contact of the radicle with the saline solution under Petri dish conditions may have caused root biomass to be affected more severely. Liu et al. (2020) likewise reported that root and leaf dry weights decreased markedly in a sensitive oat line at 100 mM NaCl but were unaffected in a tolerant line, demonstrating that the biomass response of oat varies considerably with genotype. Seedling water content, in contrast, remained at 88.7–89.4% at all doses and was not affected by salt. Accordingly, the observed weight losses resulted not from tissue water loss but from reduced growth and dry matter accumulation, indicating that the seedlings-maintained tissue hydration through osmotic adjustment (Parida and Das, 2005).

3.4. Seedling vigor and salt tolerance

The vigor indices were among the traits showing the most pronounced declines, as they combine the losses in germination and seedling growth (Table 2). The length-based SVI-I was 74% of the control at 40 mM and 44% at 80 mM, whereas the dry weight-based SVI-II fell to 54% and 28% at the same doses. The dose for 50% loss was estimated as 69 mM for SVI-I and 49 mM for SVI-II (Table 3). The decline of SVI-II at lower doses shows that this index, by also accounting for biomass loss, reflects the effect of salt earlier and more sensitively. The salt tolerance index based on seedling dry weight likewise fell to 56.8% at 40 mM and 9.3% at 160 mM.

These findings are also of practical importance. Approximately 40 mM NaCl corresponds to the electrical conductivity of 4 dS m^{-1} used in the definition of saline soils (Munns and Tester, 2008). At this level, germination of the cultivar Kahraman was unaffected, whereas seedling dry weight decreased by about 43%. Thus, even when emergence appears satisfactory in saline fields, seedling growth, and consequently early forage and grain yield potential, may be limited. Considering that salt tolerance varies considerably among oat genotypes (Chauhan et al., 2019; Liu et al., 2020; Qiu et al., 2026), evaluating these findings for Kahraman comparatively with other cultivars would be useful for determining the tolerance level of the cultivar.

3.5. Relationships among traits

The relationships among the examined traits are presented in Figure 3. Germination rate was closely related to radicle length (r = 0.92***) and plumule length (r = 0.84***), and very high correlations were found between radicle length and radicle dry weight (r = 0.95***) and between plumule length and plumule dry weight (r = 0.91***). These relationships indicate that salt suppressed germination, elongation and biomass accumulation through a common effect. Nevertheless, a high correlation does not mean that the traits responded to salt with the same sensitivity; the doses for 50% loss in Table 3 show that these traits, although changing in the same direction, responded to salt at different concentrations.

The root/shoot dry weight ratio was moderately correlated with the other traits (r = 0.52–0.76), whereas seedling water content showed no significant relationship with any trait. This confirms that water content is a conserved trait that does not reflect the severity of salt stress. The high correlations of the vigor indices with their components (r = 0.84–1.00) are a natural consequence of these indices combining germination and seedling growth information into a single value.

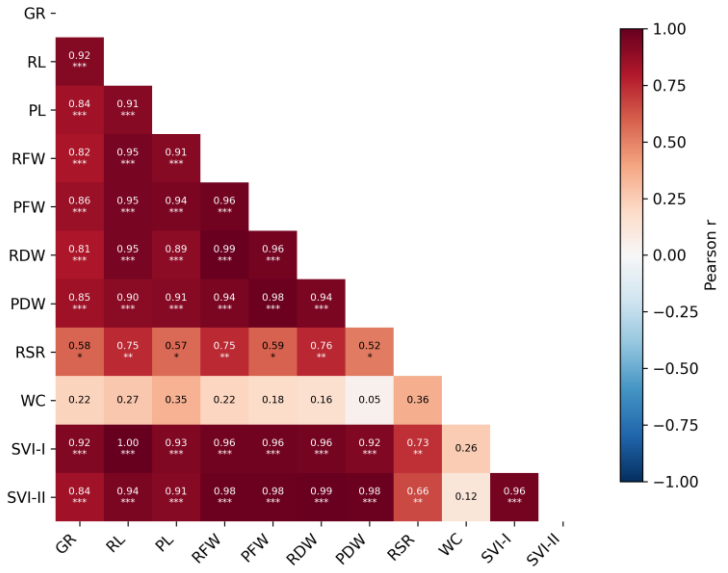


Figure 3. Pearson correlation coefficients among the examined traits (n = 15). GR: germination rate; RL, PL: radicle and plumule length; RFW, PFW: radicle and plumule fresh weight; RDW, PDW: radicle and plumule dry weight; RSR: root/shoot dry weight ratio; WC: seedling water content; SVI-I, SVI-II: vigor indices. *p<0.05; **p<0.01; ***p<0.001.

4. Conclusions and Recommendations

In the oat cultivar Kahraman, increasing NaCl concentration significantly reduced all germination and seedling growth traits except seedling water content. The shape of the response differed among traits: germination was maintained at low doses and declined rapidly at high doses, lengths decreased linearly in proportion to concentration, and biomass showed its largest losses at low and moderate doses. According to the doses for 50% loss calculated from the regression models, the salt sensitivity of the traits ranked as radicle dry weight (46 mM) > SVI-II (49 mM) > seedling dry weight (56 mM) > radicle and plumule length (96–111 mM) > germination rate (128 mM). The decrease in the root/shoot dry weight ratio showed that root biomass was more sensitive than shoot biomass.

These results indicate that evaluating salt tolerance in oat solely by germination rate and lengths may underestimate the effect of salt, and that dry weight-based criteria such as SVI-II and the salt tolerance index are more sensitive. Given that the study was limited to a single cultivar and to Petri dish conditions, it is recommended that the findings be supported with other oat cultivars, under pot and field conditions, and with ion analyses such as Na^+/K^+.

References

Abdul-Baki, A.A., Anderson, J.D. (1973). Vigor determination in soybean seed by multiple criteria. Crop Science, 13(6), 630–633.

Bilgili, U., Çarpıcı, E.B., Aşık, B.B., Çelik, N. (2011). Root and shoot response of common vetch (*Vicia sativa* L.), forage pea (*Pisum sativum* L.) and canola (*Brassica napus* L.) to salt stress during early seedling growth stages. Turkish Journal of Field Crops, 16(1), 33–38.

Brunes, A.P., Fonseca, D.Â.R., Rufino, C.A., Tavares, L.C., Tunes, L.M., Villela, F.A. (2013). Seedling growth of white oats submitted to salt stress. Semina: Ciências Agrárias, 34(6, Suppl. 1), 3455–3462.

Chauhan, A., AbuAmarah, B.A., Kumar, A., Verma, J.S., Ghramh, H.A., Khan, K.A., Ansari, M.J. (2019). Influence of gibberellic acid and different salt concentrations on germination percentage and physiological parameters of oat cultivars. Saudi Journal of Biological Sciences, 26(6), 1298–1304.

Gomez, K.A., Gomez, A.A. (1984). Statistical Procedures for Agricultural Research (2nd ed.). John Wiley & Sons, New York.

Güngör, H., Çıkılı, Y., & Dumlupınar, Z. (2017). Bazı ticari ve yerel yulaf genotiplerinin çimlenme ve fide gelişimi üzerine tuz stresinin etkileri. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, *20*, 263-267.

Liu, L., Han, G., Nagaoka, T., Saneoka, H. (2020). A comparative study of the growth and physiological parameters of two oat (*Avena sativa* L.) lines under salinity stress. Soil Science and Plant Nutrition, 66(6), 847–853.

Munns, R., Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology, 59, 651–681.

Parida, A.K., Das, A.B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. Ecotoxicology and Environmental Safety, 60(3), 324–349.

Qiu, R., Zhang, X., Kong, X., Zhao, W., Zhao, Q., Chu, Y., Tuluohong, M., Wang, B., Cui, G., Li, B. (2026). Integrative physiological and transcriptomic analyses of oat (*Avena sativa* L.) seedlings under severe salt stress. Plants, 15(17), 2712.

Shah, S.S., Li, Z., Yan, H., Shi, L., Zhou, B. (2020). Comparative study of the effects of salinity on growth, gas exchange, N accumulation and stable isotope signatures of forage oat (*Avena sativa* L.) genotypes. Plants, 9(8), 1025.

Willenborg, C.J., Wildeman, J.C., Miller, A.K., Rossnagel, B.G., Shirtliffe, S.J. (2005). Oat germination characteristics differ among genotypes, seed sizes, and osmotic potentials. Crop Science, 45, 2023–2029.

Zhou, X., Wang, M., Yang, L., Wang, W., Zhang, Y., Liu, L., Chai, J., Liu, H., Zhao, G. (2024). Comparative physiological and transcriptomic analyses of oat (*Avena sativa*) seedlings under salt stress reveal salt tolerance mechanisms. Plants, 13(16), 2238.

SPONDYLUS TÜRLERİNDE (BİVALVİA: SPONDYLİDAE) KALICI SUBSTRAT SEMENTASYONU: KABUK-SUBSTRAT ARAYÜZÜNÜN YAPISAL VE BİYOMİNERALİZASYON TEMELLERİ İLE BİYOMİMETİK POTANSİYELİ

PERMANENT SUBSTRATE CEMENTATION IN SPONDYLUS SPECIES (BIVALVIA: SPONDYLIDAE): STRUCTURAL AND BIOMINERALIZATION BASIS OF THE SHELL-SUBSTRATE INTERFACE AND ITS BIOMIMETIC POTENTIAL

Hülya ŞEREFLİŞAN
Department of Fisheries Engineering, Faculty of Marine Sciences and Technology, İskenderun Technical University, Hatay, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-2510-3714

Menderes ŞEREFLİŞAN
Underwater Technology Program, Vocational School of Maritime Technologies, İskenderun Technical University, Hatay, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-9939-7715

ÖZET

Spondylus türleri, erken yaşam evrelerindeki geçici tutunmanın ardından bir valfini sert substrata kalıcı olarak bağlayarak sesil yaşama geçen bivalvlerdir. Bu derlemede *Spondylus* sementasyonu; ontogenetik gelişim, kabuk-substrat arayüzü, kabuk mineralojisi ve mikroyapısı, biyomineralizasyon süreçleri ve biyomimetik potansiyeli açısından değerlendirilmiştir. Mevcut bulgular, postlarval dönemde byssal tutunmanın yerini giderek kalıcı sementasyona bıraktığını ve bağlı valfin substrat topografyasına uyumlu büyümesinin bağlantının oluşumunda önemli rol oynadığını göstermektedir. Bununla birlikte, *Spondylus* kabuğunun yapısı ve biyomineralizasyonuna ilişkin çalışmalar bulunmasına karşın, sementasyon bölgesini ve doğrudan kabuk-substrat arayüzünü yapısal, mineralojik, kimyasal ve moleküler düzeylerde birlikte ele alan çalışmaların son derece sınırlı olması, mevcut literatürde belirgin ve kapsamlı bir bilgi boşluğu oluşturmaktadır. Bu nedenle kalıcı bağlantının normal kabuğun substrat üzerinde devam eden biyomineralizasyonundan mı, yoksa özelleşmiş bir organomineral sementasyon arayüzünden mi kaynaklandığı henüz açıklığa kavuşmamıştır. Ostreidae ve diğer denizel sementasyon sistemlerinden elde edilen karşılaştırmalı bulgular, *Spondylus* sementasyonunun substrata uyum, mekanik kenetlenme, organik-mineral etkileşimler ve kontrollü mineralizasyonun birlikte rol oynayabileceği bir biyomineralize adezyon stratejisi olarak değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu mekanizmanın aydınlatılması, özellikle ıslak ve fizyolojik ortamlarda işlev görebilen, mineralize yüzeylerle bütünleşebilen ve mineralizasyon yoluyla güçlenebilen yeni nesil biyomimetik yapıştırıcı biyomalzemelerin geliştirilmesi açısından önemli bir potansiyel taşımaktadır. Gelecekte kemik ve diş gibi mineralize dokuların onarımı, doku-implant arayüzleri ve rejeneratif biyomalzeme uygulamalarında organik-mineral hibrit adezivlere duyulan gereksinimin artması, bu tür doğal modellerin önemini daha da artıracaktır. Bu yönüyle *Spondylus* sementasyonunun çözümlenmesi, hem literatürdeki önemli bir temel bilim boşluğunun giderilmesine hem de DOPA-dışı, mineralizasyon temelli ve biyouyumlu yeni nesil yapıştırıcı biyomalzemelerin tasarımına katkı sağlayabilecek özgün bir araştırma alanı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Spondylus*, substrat sementasyonu, biyomineralizasyon, kabuk-substrat arayüzü, biyomimetik adezyon, yapıştırıcı biyomalzemeler.

ABSTRACT

Spondylus species are sessile bivalves that permanently attach one valve to a hard substrate following temporary attachment during early life stages. This review evaluates *Spondylus* cementation in terms of ontogenetic development, the Shell-substrate interface, shell mineralogy and microstructure, biomineralization processes, and biomimetic potential. Available evidence indicates that postlarval byssal attachment is gradually replaced by permanent cementation and that substrate-conforming growth of the attached valve plays an important role in attachment formation. Although *Spondylus* shell structure and biomineralization have been investigated, studies comprehensively examining the cementation region and direct

Shell-substrate interface at structural, mineralogical, chemical, and molecular levels remain extremely limited, representing a substantial knowledge gap. Consequently, it remains unclear whether permanent attachment results from continued shell biomineralization over the substrate or from a specialized organomineral cementation interface. Comparative findings from Ostreidae and other marine cementation systems suggest that *Spondylus* cementation may represent a biomineralized adhesion strategy involving substrate conformity, mechanical interlocking, organic-mineral interactions, and controlled mineralization. Elucidating this mechanism may contribute to the development of next-generation biomimetic adhesive biomaterials capable of functioning in wet and physiological environments, integrating with mineralized surfaces, and strengthening through mineralization. The increasing need for organic-mineral hybrid adhesives in the repair of mineralized tissues, tissue-implant interfaces, and regenerative biomaterials further highlights the importance of such natural models. Thus, elucidating *Spondylus* cementation may both address a fundamental knowledge gap and contribute to the design of DOPA-independent, mineralization-based, biocompatible adhesive biomaterials.
Keywords: *Spondylus*, substrate cementation, biomineralization, Shell-substrate interface, biomimetic adhesion, adhesive biomaterials.

1. GİRİŞ

Denizel bentik omurgasızlarda sert substratlara bağlanma önemli bir adaptasyondur. Bivalvia içerisinde bağlantı, byssal tutunmadan bir valfin substrata doğrudan sementasyonuna kadar farklı stratejilerle gerçekleşmekte ve sementasyonun farklı soy hatlarında bağımsız olarak geliştiği kabul edilmektedir (Yonge, 1973). Spondylidae familyasının karakteristik cinsi olan *Spondylus*, kalıcı sementasyon gösteren bivalvlerin önemli örneklerindendir. *S. americanus*'un farklı sert substratlara sementlenebildiği (Logan, 1974), *S. spinosus*'un ise kayalık habitatlarda substrata bağlı yaşadığı bildirilmiştir (Shabtay vd., 2015). Sementasyon ontogenetik bir süreç olup, *S. limbatus*'ta hareketli postlarval dönemi sementasyonun izlediği (Loor vd., 2016), *S. crassisquama*'da ise plantigrad evrede byssus oluşumunun ardından sementasyonun gerçekleştiği gösterilmiştir (Revilla vd., 2022). *Spondylus* sementasyonunun anlaşılmasında kabuk biyomineralizasyonu temel öneme sahiptir. Mollusk kabuklarında $CaCO_3$ mineral fazları, mineral çekirdeklenmesi, kristal büyümesi ve polimorf seçimini düzenleyen organik matriksle bütünleşmiştir (Marin ve Luquet, 2004; Marin vd., 2008; Marie vd., 2013; McDougall ve Degnan, 2018). *S. gaederopus* kabuğunun dış bölgeleri ve dikenleri ağırlıklı olarak kalsitten, iç tabakaları ise aragonitten oluşmakta (Maier ve Titschack, 2010) ve kabukta mineralizasyonla ilişkili matriks proteinleri bulunmaktadır (Sakalauskaite vd., 2020). Bununla birlikte, sementasyon davranışı ve kabuk yapısı ayrı ayrı incelenmiş olmasına karşın (Logan, 1974; Shabtay vd., 2015; Maier ve Titschack, 2010; Sakalauskaite vd., 2020), doğrudan kabuk-substrat arayüzünü yapısal, mineralojik ve moleküler düzeylerde inceleyen çalışmalar sınırlıdır. Bu nedenle bağlantının normal kabuk biyomineralizasyonunun devamından mı, yoksa özelleşmiş bir sementasyon arayüzünden mi kaynaklandığı henüz açıklığa kavuşmamıştır. Ostreidae bu bilgi boşluğunun değerlendirilmesinde önemli bir karşılaştırmalı modeldir. *Crassostrea virginica*'da normal kabuktan farklılaşan organik-inorganik biyomineralize sement gösterilmiş (Burkett vd., 2010; Alberts vd., 2015), organik fraksiyonun protein, polisakkarit ve lipid bileşenleri tanımlanmış (Fritzsching vd., 2019) ve sementasyon sisteminin ontogeni boyunca değişebildiği ortaya konmuştur (Tibabuzo Perdomo vd., 2018). Bu bulgular doğrudan *Spondylus*'a aktarılamamakla birlikte önemli bir karşılaştırmalı çerçeve sunmaktadır. *Spondylus* sementasyonunun açıklığa kavuşturulması, ıslak ve mineral yüzeylerde işlev görebilen DOPA-dışı organik-mineral hibrit adezivlerin geliştirilmesi açısından da biyomimetik potansiyel taşımaktadır. Bu derlemede, *Spondylus* türlerinde kalıcı substrat sementasyonuna ilişkin mevcut bilgiler bütünleştirilerek kabuk-substrat arayüzü ve temel bilgi boşlukları değerlendirilmekte olup Ostreidae ile karşılaştırmalı olarak biyomineralize bağlantının gelecekteki biyomimetik yapıştırıcı biyomalzemelerin tasarımına sağlayabileceği ilkeler ele alınmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. *Spondylus spinosus* Schreiber, 1793 kabuğunun farklı görünümleri. (Kaynak: Sobhy, N. (2023), British Shell Collectors' Club, Facebook paylaşımı, 20 Nisan 2023.)

2. SPONDYLUS TÜRLERİNDE SUBSTRATA YERLEŞİM VE KALICI SEMENTASYON

2.1. Larval Yerleşim ve Substrat Seçimi

Spondylus türlerinde kalıcı sementasyon, planktonik larval yaşamdan sesil bentik yaşama geçişin son aşamalarından biridir. Bununla birlikte, larval kompetans, metamorfoz, substrata yerleşim ve kalıcı sementasyon birbirinden ayrılması gereken gelişimsel süreçlerdir (Harper, 2012). *Spondylus tenebrosus*'ta pediveliger evresine yaklaşık 12. günde ulaşılırken ilk yerleşim 21. günde gerçekleşmiş; uygun yerleşim olanağı sağlanmayan larvaların 60. güne kadar planktonik yaşamını sürdürebildiği gösterilmiştir (Parnell, 2002). *S. calcifer*'de ise ayak ve göz lekesinin geliştiği premetamorfik evreye yaklaşık 15 günde ulaşılmıştır (Soria vd., 2010). Bu bulgular, yerleşim yeterliliğinin kalıcı bağlantının hemen gerçekleşmesi anlamına gelmediğini ve sementasyon zamanlamasının çevresel koşullarla ilişkili olabileceğini göstermektedir. Substratın fiziksel yapısı, mikrotopografyası, biyofilm ve yüzey kaynaklı kimyasal sinyaller yerleşim sürecini etkileyebilir. Ancak *Spondylus* türlerinde farklı substratların seçimini ve sementasyon başarısını karşılaştıran kontrollü çalışmalar sınırlıdır. Bu nedenle substrat özelliklerinin sonraki kabuk-substrat arayüzünün oluşumundaki rolü önemli bir araştırma alanıdır.

2.2. Postlarval Gelişim ve Sementasyona Geçiş

Yerleşim yeterliliğinin kazanılması ile kalıcı sementasyon arasında gelişimsel bir geçiş bulunmaktadır. *S. tenebrosus*'ta gözlenen uzun kompetans dönemi (Parnell, 2002) ve *S. calcifer*'de premetamorfik evrenin sementasyondan önce belirginleşmesi (Soria vd., 2010), kalıcı bağlantının larval gelişimin otomatik ve eş zamanlı bir sonucu olmadığını göstermektedir. Sementli bivalvlerde bu geçiş, morfolojik ve fonksiyonel değişimlerle birlikte gerçekleşir. Pektinoidlerde juvenil dönemde bulunan byssal çentik sementasyonla birlikte kapanabilmekte, substrat araştırmasında görev alan ayağın işlevi ise kalıcı sesil yaşama geçişle azalabilmektedir (Harper, 2012). Dolayısıyla *Spondylus*'ta kalıcı sementasyon, larval kompetans, substrat seçimi ve postlarval gelişim sırasında kalıcı bağlantının oluşması biçiminde ilerleyen ontogenetik bir süreç olarak değerlendirilmelidir.

2.3. Byssal Tutunma ve Kalıcı Sementasyon Arasındaki Ontogenetik İlişki

Byssal tutunma ve sementasyon, bivalvlerde farklı bağlantı stratejileridir. Byssal sistem organik liflerle geçici veya kalıcı tutunma sağlarken, sementasyonda kabuğun bir valfi substrata kalıcı olarak bağlanır. Bu nedenle sementasyon, byssal tutunmanın daha güçlü bir biçimi değil, farklı morfolojik ve biyomineralizasyon süreçlerini içeren ayrı bir stratejidir. Bununla birlikte, iki sistem arasında ontogenetik ve evrimsel ilişki bulunmaktadır. Birçok sementli bivalvia soyunun byssal atalardan türemesi ve sementli pektinoidlerin juvenillerinde byssal çentiğinin bulunması, erken byssal bağlantının daha sonra kalıcı sementasyonla yer değiştirebildiğini göstermektedir (Harper, 2012). Ancak *Spondylus* türlerinde erken byssal bağlantının bütün türlerde zorunlu olup olmadığı ve sementasyona geçişi başlatan mekanizmalar henüz yeterince açıklanmamıştır. Bu nedenle byssal çentiğin morfolojik varlığı ile işlevsel byssus üretimi birbirinden ayrılmalıdır.

2.4. Sementasyon Sürecinin Türler Arası Değişkenliği

Spondylus türlerinde sementasyona ulaşan gelişimsel süreç sabit değildir. *S. tenebrosus*'ta yaklaşık 12. günde pediveliger evresine ulaşılmasına rağmen ilk yerleşimin 21. günde gerçekleşmesi ve kompetansın uzun süre korunabilmesi (Parnell, 2002), *S. calcifer*'de ise premetamorfik yeterliliğin yaklaşık 15 günde ortaya çıkması (Soria vd., 2010) türler arasında farklılık bulunabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte çalışmalar farklı sıcaklık ve yetiştirme koşullarında gerçekleştirildiğinden, bu farklılıkların yalnız türe özgü biyolojik özelliklerden kaynaklandığı sonucuna varılamaz. Daha geniş ölçekte sementasyonun başlangıç zamanı bivalvia grupları arasında da değişmektedir. Bazı Ostreidae üyelerinde erken dönemde gerçekleşirken, sementli pektinoidlerde hareketli veya byssal juvenil evreyi izleyebilmektedir (Harper, 2012). Bu nedenle *Spondylus* sementasyonu, larval kompetans, substrat seçimi, metamorfoz, olası geçici bağlantı ve kalıcı mineralize bağlantının birbirini izlediği, tür ve çevresel koşullara bağlı olarak değişebilen bir ontogenetik süreç olarak değerlendirilmelidir.

3. KABUK-SUBSTRAT ARAYÜZÜNÜN YAPISAL ORGANİZASYONU

3.1. Sementlenen Valfin Morfolojik Özellikleri

Kalıcı sementasyon, bivalvlerde kabuk morfolojisini ve valf asimetrisini doğrudan etkileyen özelleşmiş bir yaşam stratejisidir. Spondylidae'de substrata bağlantı sağ valf üzerinden gerçekleşirken, Ostreidae'de sol valfin sementlenmesi bu yaşam biçiminin farklı bivalvia soylarında bağımsız olarak geliştiğini göstermektedir (Harper, 2012). *Spondylus* türlerinde sağ valf substrata uyum sağlayarak geniş ve düzensiz bir temas alanı oluşturabilmektedir (Poutiers, 1998). Benzer morfolojik plastisite, sementli pektinoid *Crassadoma gigantea*'da deneysel olarak gösterilerek devam eden kabuk büyümesinin substrat geometrisine uyum sağlayabildiği belirlenmiştir (Culver vd., 2006). *Spondylus*'un diken ve lamelleri ise yalnız sementasyonla ilişkilendirilmemeli, bu yapıların mekanik destek, epibiyont kolonizasyonu ve predasyondan korunma gibi farklı işlevleri bulunabileceği dikkate alınmalıdır (Feifarek, 1987; Harper, 2012).

3.2. Substrat Topografyasına Uyum ve Arayüz Oluşumu

Sementasyonun başarısında bağlantı materyalinin özelliklerinin yanı sıra kabuk ile substrat arasındaki temas geometrisi de önemlidir. Sementli bivalvlerde bağlı valfin büyüme sırasında substrat topografyasını izlemesi, temas alanını artırarak morfolojik bütünleşmeye katkıda bulunabilir (Harper, 2012). *C. gigantea*'da sert ve düzgün substratların sementasyonu kolaylaştırdığı, substrat özelliklerinin ise bağlantının gelişimini etkilediği deneysel olarak gösterilmiştir (Culver vd., 2006). Fosil *Spondylus* örnekleri de başlangıçtaki sementasyon alanının sonraki kabuk büyümesiyle genişleyebildiğini ve kabuk morfolojisinin çevredeki substrat koşullarına uyum sağlayabildiğini göstermektedir (Svennevig ve Surlyk, 2019). Bununla birlikte, *Spondylus*'ta makroskopik yüzey uyumunun mikroskobik ölçekte gerçek bir mekanik kenetlenmeye dönüşüp dönüşmediği henüz doğrudan ortaya konulmamıştır.

3.3. Mikroyapısal Bütünleşme ve Mekanik Kenetlenme

Bivalvia kabuklarının mekanik özellikleri yalnız mineral bileşime değil, kristal yönlenmesi, mikroyapısal organizasyona ve organik-mineral ilişkilerine de bağlıdır. Sementli ve sementli olmayan bivalviaların karşılaştırmalı analizleri, kristalografik organizasyon ile lokal sertlik ve elastik özellikler arasında yakın ilişkiler bulunduğunu göstermektedir (Hoerl vd., 2024). Bu nedenle *Spondylus*'ta substrat topografisini izleyen mineralize kabuk büyümesinin temas alanını artırması ve yüzey düzensizliklerinde geometrik kenetlenme oluşturması olasıdır. Ancak bu mekanizma henüz doğrudan gösterilememiştir. Mevcut literatürdeki temel bilgi boşluğu, doğal olarak sementlenmiş *Spondylus* bireylerinde normal kabuk-sementasyon bölgesi-kabuk/substrat arayüzünün kesintisiz biçimde karşılaştırılmamış olmasıdır. Bu nedenle arayüzde mineral faz, kristal yönlenmesi, organik matriks ve mekanik özelliklerin normal kabuktan farklılaşıp farklılaşmadığı bilinmemektedir. Bu yapının çok ölçekli morfolojik, mineralojik ve mekanik yöntemlerle doğrudan karakterize edilmesi, *Spondylus*'un kalıcı bağlantısının mekanik kenetlenme, mineral süreklilik, özelleşmiş organik-mineral arayüz veya bunların kombinasyonuna dayanıp dayanmadığının belirlenmesi açısından temel önemdedir.

4. SEMENTASYONUN BİYOMİNERALİZASYON TEMELLERİ

Spondylus türlerinde kalıcı substrat bağlantısının anlaşılması, kabuk biyomineralizasyonunun da değerlendirilmesini gerektirir.

Mollusk kabuğu temel olarak $CaCO_3$ kristallerinden oluşmakla birlikte, mineral fazın oluşumu organik matriks tarafından kontrol edilmektedir. Bu matriks kristal çekirdeklenmesi, büyümesi, polimorf seçimi ve mikroyapısal organizasyonda önemli rol oynamaktadır (Marin vd., 2012; Takeuchi vd., 2008).

4.1. Kabuk Mineralojisi ve $CaCO_3$ Polimorfları

Bivalvia kabuklarında $CaCO_3$ başlıca kalsit ve aragonit biçiminde bulunmakta ve bu mineralojik organizasyon biyolojik kontrolün yanı sıra çevresel koşullardan da etkilenebilmektedir (Kennedy vd., 1969). *Spondylus gaederopus*'ta dış kabuk ve dikenler ağırlıklı olarak kalsitik, iç kabuk ise büyük ölçüde aragonitik yapıdadır (Maier ve Titschack, 2010). Bu mineralojik farklılaşmaya kalsitik foliated ve crossed-foliated yapılar ile aragonitik crossed-lamellar ve prizmatik mikroyapılar eşlik etmektedir (Sakalauskaite vd., 2020). Diğer bivalvialarda yapılan çalışmalar, kabuk matriks proteinlerinin $CaCO_3$ polimorf seçimini ve kristal oluşumunu düzenleyebildiğini göstermektedir. *Pinctada fucata*'da Aspein'in kalsit oluşumunu etkileyebildiği (Takeuchi vd., 2008), Pif'in ise aragonitik sedef oluşumunda rol aldığı gösterilmiştir (Suzuki vd., 2009). Bu bulgular *Spondylus* sementasyonuna doğrudan kanıt oluşturmamakla birlikte, mineral fazların biyolojik olarak kontrol edilebileceğini göstermektedir. Buna karşın *Spondylus*'ta sementasyon bölgesinin mineral bileşiminin normal kabuktan farklılaşıp farklılaşmadığı henüz bilinmemektedir.

4.2. Kristal Organizasyonu ve Kabuk Mikroyapısı

Kabukların mekanik özellikleri yalnız mineral polimorfuna değil, kristallerin boyutu, yönlenmesi ve hiyerarşik organizasyonuna da bağlıdır (Marin vd., 2012). *S. gaederopus* kabuğunda prizmatik, crossed-lamellar, foliated ve crossed-foliated yapılar belirlenmiş olması, farklı mineral fazların kontrollü mikroyapılar halinde organize edildiğini göstermektedir (Sakalauskaite vd., 2020). Farklı mikroyapıların moleküler bileşimlerinin de değişebildiği diğer bivalvialardan bilinmektedir. *Atrina pectinata*'nın aragonitik ve kalsitik kabuk tabakalarında farklı kabuk matriks protein grupları belirlenmiş (Shimizu et al., 2022) ve benzer farklılaşma *P. fucata* kabuğunda da gösterilmiştir (Liu vd., 2015). Bu nedenle *Spondylus*'un sementasyon bölgesinde normal kabuktan farklı bir mikroyapı gelişmesi halinde, bunun farklı bir organik matriks organizasyonuyla ilişkili olması mümkündür; ancak bu olasılık henüz doğrudan test edilmemiştir.

4.3. Organik Matriksin Biyomineralizasyondaki Rolü

Mollusk kabuğundaki organik matriks, protein, glikoprotein, polisakkarit ve lipidlerden oluşan ve mineralizasyon mikroçevresini düzenleyen kompleks bir sistemdir. Kristal çekirdeklenmesi ve büyümesinin yanı sıra $CaCO_3$ polimorf seçimi ve mikroyapısal organizasyonda da rol oynamaktadır (Marin vd., 2008; Marin vd., 2012). *S. gaederopus* kabuğunda organik matriks miktarının düşük olduğu, ancak organik bileşenlerin özellikle interkristalin bölgelerde ve mikroyapısal tabakaların geçişlerinde yoğunlaştığı gösterilmiştir (Sakalauskaite vd., 2020). Bu durum, organik matriksin miktarından çok mekânsal organizasyonunun işlevsel önem taşıyabileceğini düşündürmektedir. Diğer bivalvlerde Aspein ve Pif gibi proteinlerin mineralizasyonu düzenleyebilmesi (Takeuchi vd., 2008; Suzuki vd., 2009) ve çok sayıda kabuk matriks proteininin $CaCO_3$ ile etkileşebilmesi (Shimizu vd., 2022) bu görüşü desteklemektedir. Bununla birlikte, *Spondylus*'ta sementasyon arayüzünün organik matriks miktarı veya bileşiminin normal kabuktan farklılaşıp farklılaşmadığı bilinmemektedir. Bu nedenle mevcut veriler bağlantıyı doğrudan "organik sement" olarak tanımlamak için yeterli değildir.

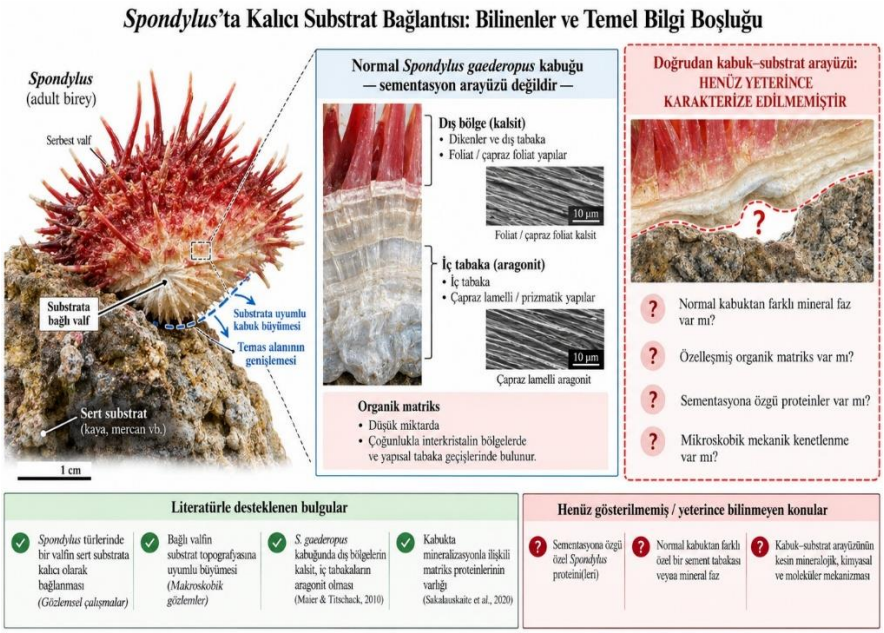
4.4. Kabuk Matriks Proteinleri ve Moleküler Organizasyon

Kabuk matriks proteinleri (SMP'ler), $CaCO_3$ oluşumu ve organizasyonunda rol oynayan heterojen bir protein grubudur. *S. gaederopus*'ta LC-MS/MS ile altı SMP tanımlanmış, ancak sınırlı genomik kaynaklar nedeniyle bunların shellome'un yalnızca bir bölümünü temsil ettiği belirtilmiştir (Sakalauskaite vd., 2020). Diğer bivalvlerde daha geniş SMP çeşitliliği bildirilmiştir; *P. margaritifera*'da biyomineralizasyonla ilişkili çok sayıda molekül (Joubert vd., 2010), *P. fucata*'da 72 SMP (Liu vd., 2015), *A. pectinata*'da 114 SMP (Shimizu vd., 2022) belirlenmiş; *C. gigas*'ta bazı protein gruplarının korunmuş işlevleri gösterilmiştir (Feng vd., 2017). *S. gaederopus*'ta bazı intrakristalin proteinlerin mineral fazla ilişkili olduğu da belirlenmiştir (Sakalauskaite vd., 2021). Ancak bu proteinler kabuk matriks proteinleridir; sementasyon arayüzüne özgü adeziv proteinler oldukları gösterilmemiştir (Sakalauskaite vd., 2020, 2021).

Dolayısıyla sementasyon bölgesinin mineral, mikroyapısal veya protein bileşiminin normal kabuktan farklı olup olmadığı ve özelleşmiş bir biyomineralize adezyon sistemi oluşturup oluşturmadığı henüz bilinmemektedir.

5. KALICI SUBSTRAT BAĞLANTISININ YAPISAL VE MOLEKÜLER TEMELLERİ

Spondylus türlerinde kalıcı substrat bağlantısı, kabuk büyümesi ve biyomineralizasyonla ilişkili çok bileşenli bir sistemdir (Şekil 2). *S. americanus*'ta bağlantı alanının kabuk büyümesiyle genişlediği (Logan, 1974), *S. gaederopus*'ta ise kalsitik ve aragonitik mikroyapılar ile organik matriks bulunduğu gösterilmiştir (Sakalauskaite vd., 2020). Ostreidae'de normal kabuktan farklı organik-inorganik biyomineralize sement ve bunun protein, polisakkarit ve lipid bileşenleri tanımlanmıştır (Burkett vd., 2010; Alberts vd., 2015; Metzler vd., 2016; Fritzsching vd., 2019; Tibabuzo Perdomo vd., 2018). Ancak bu bulgular *Spondylus* için doğrudan kanıt değildir. Mevcut veriler, *Spondylus* sementasyonunda substrata uyumlu kabuk büyümesi, olası mekanik kenetlenme, $CaCO_3$ biyomineralizasyonu ve organik-mineral etkileşimlerin birlikte rol oynayabileceğini düşündürmektedir. Bununla birlikte, özelleşmiş bir sementasyon arayüzü henüz gösterilmemiştir; bu nedenle sistemin kabuk biyomineralizasyonıyla bütünleşmiş kalıcı bir substrat bağlantısı olarak değerlendirilmesi daha uygundur.



Şekil 2. *Spondylus* türlerinde kalıcı substrat bağlantısının yapısal ve biyomineralizasyon temelleri ile mevcut bilgi boşluklarının şematik gösterimi.

6. OSTREIDAE SEMENTASYONU İLE KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRME

Kalıcı sementasyon Bivalvia içerisinde farklı soy hatlarında bağımsız olarak gelişmiştir. Bu nedenle Ostreidae ile *Spondylus* benzer biçimde kalıcı substrat bağlantısı geliştirse de aynı biyokimyasal mekanizmaları kullandıkları varsayılmamalıdır. Ostreidae çalışmaları, sementasyonun ontogeni boyunca organik adezyonun ve mineralizasyonun katkısının değişebildiğini göstermekte ve *Spondylus* için önemli bir karşılaştırmalı çerçeve sunmaktadır (Cranfield, 1975; Harper, 1992, 1997; MacDonald vd., 2010; Foulon vd., 2018).

6.1. *Crassostrea* Türlerinde Organik-İnorganik Sement Yapısı

Ostreidae'de bağlantı materyali ontogeni boyunca değişmektedir. *Ostrea edulis* larvalarında sementin pedal bezlerden salgılanan fibröz bir adeziv olduğu gösterilmiş (Cranfield, 1975); *Crassostrea gigas* pediveligerlerinde ise büyük ölçüde protein karakterli larval adeziv ve yerleşmeyle ilişkili aday proteinler tanımlanmıştır (Foulon vd., 2018, 2019). Bununla birlikte, proteomik olarak belirlenen bütün proteinlerin doğrudan adeziv işlevli olduğu henüz gösterilmemiştir. Postlarval dönemde bağlantı giderek mineralize bir nitelik kazanmaktadır.

Ostreidae dissokonçlarında kalkerli sement oluşumu (Harper, 1992) ve *Saccostrea cucullata*'da kabuk ile substrat arasında kristalin $CaCO_3$ sementi gösterilmiştir (Harper, 1997). Doğal istiridye-substrat arayüzünde organik materyalin mineral çekirdeklenmesine zemin oluşturduğu ve bunu yüksek Mg-kalsit oluşumunun izleyebildiği de belirlenmiştir (MacDonald vd., 2010). Böylece Ostreidae sementasyonu, erken organik adezyondan mineralize kalıcı bağlantıya geçebilen ontogenetik bir sistem olarak değerlendirilebilir.

6.2. Sementasyon Arayüzünün Kimyasal ve Mikroyapısal Özellikleri

Ostreidae'de kabuk-substrat arayüzünün değerlendirilmesinde sement ile normal kabuk mikroyapısının birbirinden ayrılması önemlidir. *Crassostrea/Magallana gigas* kabuğundaki foliated kalsit ve kalsit yapılarının kristalografik organizasyonlarının farklı olduğu foliated yapının daha düzenli, kalsit yapının ise daha poröz ve düzensiz olduğu bildirilmiştir (Lee vd., 2011; Checa vd., 2018). Bu nedenle, arayüzde gözlenen farklı bir yapı ancak normal kabukla mineralojik, kristalografik veya kimyasal olarak karşılaştırıldığında "özelleşmiş sement" olarak değerlendirilebilir. Ostreidae verileri ayrıca larval ve erişkin bağlantının aynı materyal olmadığını göstermektedir. Larval bağlantı ağırlıklı olarak salgısal ve organik/protein karakterliyken (Cranfield, 1975; Foulon vd., 2018), postlarval ve erişkin dönemlerde kalkerli mineralizasyon belirginleşmektedir (Harper, 1992, 1997; MacDonald vd., 2010). Dolayısıyla "istiridye sementi" yaşam evresine göre yapısı ve oluşum mekanizması değişebilen bir bağlantı sistemi olarak ele alınmalıdır.

6.3. *Spondylus* ve Ostreidae Sementasyon Stratejilerinin Karşılaştırılması

Her iki grup sert substrata kalıcı olarak bağlanabilse de, Ostreidae'de larval organik adezyondan mineralize erişkin sementasyona uzanan ontogenetik değişim gösterilmişken (Cranfield, 1975; Harper, 1992; Foulon vd., 2018), *Spondylus* için benzer bir moleküler seri henüz ortaya konmamıştır. Bu nedenle *Spondylus*'un larval adezivi ile erişkin sementasyon arayüzünün aynı yapıda olduğu varsayılamaz. Substrat özellikleri de önemli bir karşılaştırma alanıdır. *O. edulis* larvalarında yüzey tekstürü ve mikrotopografisinin yerleşimi etkilediği ve pürüzlü, kaya benzeri yüzeylerin tercih edilebildiği gösterilmiştir (Potet vd., 2021). Bu sonuç *Spondylus* için doğrudan kanıt oluşturmamakla birlikte, ilk substrat seçiminin sonraki kalıcı bağlantının oluşumunda önemli olabileceğini düşündürmektedir.

Mineralizasyon açısından ise Ostreidae'de doğal kabuk-substrat temas hattında kalkerli sement doğrudan gösterilmiştir (Harper, 1997; MacDonald vd., 2010); *Spondylus*'ta temas bölgesinin normal kabuktan mineralojik veya moleküler olarak farklılaşıp farklılaşmadığı henüz bilinmemektedir. Bu nedenle *Spondylus* için iki olasılık bulunmaktadır: kalıcı bağlantı normal kabuk biyomineralizasyonunun substrat üzerinde devamıyla oluşabilir veya normal kabuktan farklılaşmış özel bir organomineral arayüz gelişebilir. Mevcut kanıtlar bu iki mekanizma arasında kesin ayrım yapmaya yeterli değildir. Sonuç olarak, Ostreidae *Spondylus* sementasyonunun doğrudan mekanistik modeli değil, hangi yapısal ve moleküler özelliklerin araştırılması gerektiğini gösteren karşılaştırmalı bir referans sistemidir. *Spondylus*'ta larval adezyondan erişkin mineralize bağlantıya uzanan sürecin ve gerçek kabuk-substrat arayüzünün karakterize edilmesi, bu sistemin özgün bir biyomineralize adezyon stratejisi olup olmadığının anlaşılması açısından önemlidir.

7. *SPONDYLUS* SEMENTASYONUNUN BİYOMİMETİK POTANSİYELİ

Biyolojik sualtı adezyon sistemleri, sentetik adeziv tasarımı açısından önemli modellerdir. Sulu ortamda yüzey hidrasyonu, yüksek iyonik güç, yüzeylerin kimyasal heterojenliği ve organik adeziv bileşenlerin su içerisinde seyrelme eğilimi kalıcı bağlantının oluşturulmasını güçleştirmektedir. Denizel organizmalar bu sorunları birbirinden farklı stratejilerle çözmüştür. Midyelerde DOPA/katekol kimyasına dayalı protein adezyonu ön plana çıkarken, kumkale kurdu (*Phragmatopoma californica*) yüklü polielektrolitler ve mineral yüzeylerle etkileşen bir sement sistemi kullanmakta, barnacle'larda protein-temelli adezyon kalsitik bazal plakla bütünleşmekte, istiridyelerde ise organik ve inorganik fazların birlikte bulunduğu biyomineralize bir sement oluşmaktadır (Stewart vd., 2011; Stewart vd., 2017; Mori vd ., 2007; Li vd., 2018). Bu çeşitlilik, sualtı adezyonunda tek bir moleküler çözüm bulunmadığını, ancak adezyon, kohezyon, mineralizasyon ve arayüz organizasyonunun farklı kombinasyonlarla kullanılabildiğini göstermektedir. *Spondylus* bu çerçevede özellikle ilgi çekici bir biyomimetik modeldir.

Önceki bölümlerde değerlendirilen bulgular, kalıcı bağlantının bağlı valfin substrata uyumlu büyümesi ve kabuk biyomineralizasyonuyla yakından ilişkili olduğunu göstermektedir. Buna karşılık *Spondylus*'un kabuk-substrat arayüzünde normal kabuktan farklılaşmış özel bir organomineral sementin bulunduğu henüz gösterilmemiştir. Bu nedenle *Spondylus*'un biyomimetik değeri, mevcut aşamada belirli bir "sement molekülünün" taklit edilmesinden çok, ıslak bir yüzey üzerinde organik-mineral etkileşimlerle gelişen, substrata uyum sağlayan ve mineralizasyonla kalıcı hale gelen bir bağlantı sürecinin anlaşılmasında yatmaktadır.

7.1. *Spondylus*-Esinli Biyomineralize Adeziv Tasarımı

Biyomimetik malzeme tasarımında doğal sistemin kimyasal bileşimini birebir kopyalamak yerine, işlevi sağlayan temel mekanizmaların sentetik sistemlere aktarılması hedeflenebilir. *Spondylus* sementasyon arayüzünün moleküler bileşimi henüz bilinmemekle birlikte, bağlantının mineralize kabuk büyümesiyle ilişkisi bu açıdan önemli bir model sunmaktadır. Li vd. (2018) poliakrilik asit (PAA) zincirlerini amorf kalsiyum karbonat (ACC) nanopartikülleriyle fiziksel olarak çapraz bağlayarak ıslak ve kuru yüzeylerde adezyon gösteren mineralize bir hidrojel geliştirmiştir. Bu sistem, mineral fazın yalnız dolgu maddesi değil, adeziv ağın oluşumuna katılan aktif bir bileşen olabileceğini göstermektedir. Dolayısıyla *Spondylus*-esinli yaklaşım, yalnız $CaCO_3$ içeren bir yapıştırıcıdan ziyade, mineralizasyonun adezyon ve kohezyona katıldığı bir materyal tasarımına yönelmektedir. Mineralin oluşum biçimi de önemlidir. Cheong vd. (2013), $CaCO_3$ kristallerinin doğrudan substrat üzerinde çekirdeklenip büyümesinin yüzey bağlantısını artırabildiğini göstermiştir. Bu bulgu, *Spondylus*-esinli sistemlerde hazır mineral partiküllerinin eklenmesi yerine, bağlantı bölgesinde kontrollü in situ mineralizasyonun mineral-substrat bütünleşmesi açısından daha işlevsel bir tasarım yaklaşımı olabileceğini düşündürmektedir.

7.2. Organik-Mineral Hibrit Sement Yaklaşımları

Yumuşakça kabukları, $CaCO_3$ mineral fazının düşük miktardaki organik matriks tarafından kristal çekirdeklenmesi, polimorf seçimi, morfoloji ve hiyerarşik organizasyon düzeylerinde kontrol edildiği doğal organik-mineral hibritlerdir. Nacre, bu organizasyonun mekanik performansa katkısının iyi bilinen örneklerinden biridir. Organik ve inorganik bileşenlerin hiyerarşik düzenlenmesi yüksek dayanım ve kırılma tokluğu sağlarken (Yaraghi ve Kisailus, 2018), nacre-esinli kompozitlerde sert mineral faz ile organik arayüzlerin kontrollü organizasyonu önemli bir tasarım ilkesi oluşturmaktadır (Zhao ve Guo, 2017). Nacre doğrudan bir adeziv olmamakla birlikte, bu çalışmalar *Spondylus* açısından önemli bir ilkeye işaret etmektedir. Mineralize bir biyokompozitin özellikleri yalnız mineral içeriğine değil, mineral organizasyonu ve organik-inorganik arayüzlerin yapısına da bağlıdır. Kabuk matriks proteinlerinin $CaCO_3$ oluşumunu düzenleyebilmesi bu yaklaşımı desteklemektedir. *Pinctada fucata*'da tanımlanan matriks proteinlerinin Ca^{2+} ile etkileşerek $CaCO_3$ oluşumunu ve kristal morfolojisini değiştirebildiği (Song vd., 2016) ve belirli kristal yüzeylerine bağlanarak kristal ultrastrüktürünü düzenleyebildiği gösterilmiştir (Yang vd., 2020). Bu mekanizmalar *Spondylus* için henüz doğrudan gösterilmemiştir. Ancak sementasyon bölgesinde belirli matriks proteinlerinin zenginleştiğinin belirlenmesi durumunda, bunların Ca^{2+} bağlama, $CaCO_3$ çekirdeklenmesi ve kristal organizasyonu üzerindeki etkilerinin araştırılması, *Spondylus*-esinli malzeme tasarımının tür-temelli moleküler biyomimetiğe taşınmasına katkı sağlayabilir.

7.3. Diğer Denizel Sementasyon Sistemlerinden Çıkarılabilecek Tasarım İlkeleri

Spondylus sementasyonunun biyomimetik potansiyelinin değerlendirilmesinde farklı denizel adezyon sistemleri önemli karşılaştırmalı modeller sunmaktadır. Barnacle sement proteini MrCP20'nin kalsit yüzeyine seçici bağlanabildiği gösterilmiş (Mori vd., 2007); sonraki çalışmalarda aynı proteinin Ca^{2+} ve karbonat iyonlarıyla etkileşerek $CaCO_3$ polimorfizmini ve adeziv nanofibril oluşumunu etkileyebildiği belirlenmiştir (Mohanram vd., 2021). MrCP20'nin $CaCO_3$ çekirdeklenmesi ve kristal büyümesini düzenleyerek metastabil vateriti stabilize edebilmesi de mineral yüzey tanıma, adezyon ve biyomineralizasyonun aynı protein sistemi içinde bütünleşebileceğini göstermektedir (Hur vd., 2023). Bu mekanizmalar *Spondylus* için doğrudan kanıt oluşturmamakla birlikte, sementasyon arayüzünde benzer işlevli proteinlerin araştırılması açısından önemli bir karşılaştırmalı çerçeve sunmaktadır. Kumkale kurdu *Phragmatopoma californica* ise sulu ortamda yüzeye uyum sağlayan bir başlangıç fazının daha sonra dayanıklı bir bağlantıya dönüşmesine ilişkin tamamlayıcı bir modeldir.

Bu sistemden esinlenen kompleks koaservatlar, adeziv fazın ıslak yüzeye taşınması ve lokalize kalması açısından önemli tasarım ilkeleri sunarken (Stewart vd., 2011), doğal sement sistemindeki faz geçişleri akışkan başlangıç fazından katı bağlantıya geçişin önemini göstermektedir (Stewart vd., 2017). Bu bulgular *Spondylus*-esinli tasarım açısından yüzeye uyum, mineral etkileşimi ve arayüzün zamanla olgunlaşması ilkelerini destekleyen işlevsel analoglar olarak değerlendirilebilir.

7.4. Mineralizasyon Aracılı Adezyon ve Arayüzün Yerinde Oluşturulması

Spondylus'un biyomimetik açıdan belki de en özgün potansiyeli, bağlantının önceden hazırlanmış bir adeziv materyalin yüzeye uygulanmasından ziyade arayüzün zaman içinde büyüyerek oluşturulması olasılığıdır. Böyle bir sistemde başlangıç bağlantısı ile nihai mekanik bağlantı aynı özelliklere sahip olmak zorunda değildir. Bu yaklaşımda ilk aşama, sulu yüzey üzerinde tutunabilen ve yüzey geometrisine uyum sağlayabilen organik veya organik-iyonik bir fazın oluşturulması olabilir. İkinci aşamada bu faz Ca^{2+} ve karbonat iyonlarını lokal olarak yoğunlaştırabilir. Üçüncü aşamada amorf mineral öncülleri oluşabilir ve bunlar daha kararlı $CaCO_3$ fazlarına dönüşebilir. Son aşamada ise mineral büyümesi organik ağla bütünleşerek daha rijit ve kalıcı bir bağlantı meydana getirebilir. Amorf kalsiyum karbonatın bu tür sistemlerde kullanılması özellikle ilgi çekicidir. ACC, biyomineralizasyon süreçlerinde kristalin $CaCO_3$ fazlarına dönüşebilen metastabil bir öncül olarak önemli rol oynayabilmektedir. Sentetik çalışmalarda organik polimerlerin ACC'yi stabilize edebildiği gösterilmiştir. Örneğin polidopamin zincirlerinin ACC nanopartiküllerini stabilize ederek organik-inorganik çekirdek-kabuk yapıları oluşturabildiği gösterilmiştir (Li vd., 2018). Bu sonuç, polimer kimyası aracılığıyla mineral öncül fazların yaşam süresinin ve dönüşümünün kontrol edilebileceğini göstermektedir. Li vd. (2018)'in PAA-ACC sisteminde de amorf mineral fazın polimer ağını çapraz bağlaması, bu yaklaşımın adeziv tasarımına doğrudan uygulanabileceğini göstermektedir. Dolayısıyla *Spondylus*-esinli gelecekteki materyallerde ACC yalnız $CaCO_3$ kaynağı değil, akışkan/uyumlu başlangıç materyalinden rijit mineralize bağlantıya geçişi sağlayabilecek aktif bir ara faz olarak değerlendirilebilir. Yüzey özellikleri bu süreçte kritik olacaktır. Cheong vd. (2013), substrat kimyası ve mikroyapısının $CaCO_3$ çekirdeklenmesini, polimorf oluşumunu ve yüzey bağlantısını etkilediğini göstermiştir. Bu nedenle *Spondylus*-esinli bir sistemin performansının yalnız adeziv formülasyonuna bağlı olması beklenmemelidir. Beton, doğal kaya, seramik, kalsit, metal oksit veya biyolojik mineral yüzeylerde aynı sistem farklı mineralizasyon davranışı gösterebilir. Bu özellik mühendislik açısından bir dezavantaj olmak zorunda değildir. Aksine yüzey kimyasına duyarlı mineralizasyon, belirli substratlara seçici bağlanan "akıllı" mineralize adezivlerin geliştirilmesine olanak sağlayabilir. Barnacle MrCP20'nin kalsit yüzeyine seçici adsorpsiyonu bu olasılığın biyolojik bir örneğini sunmaktadır.

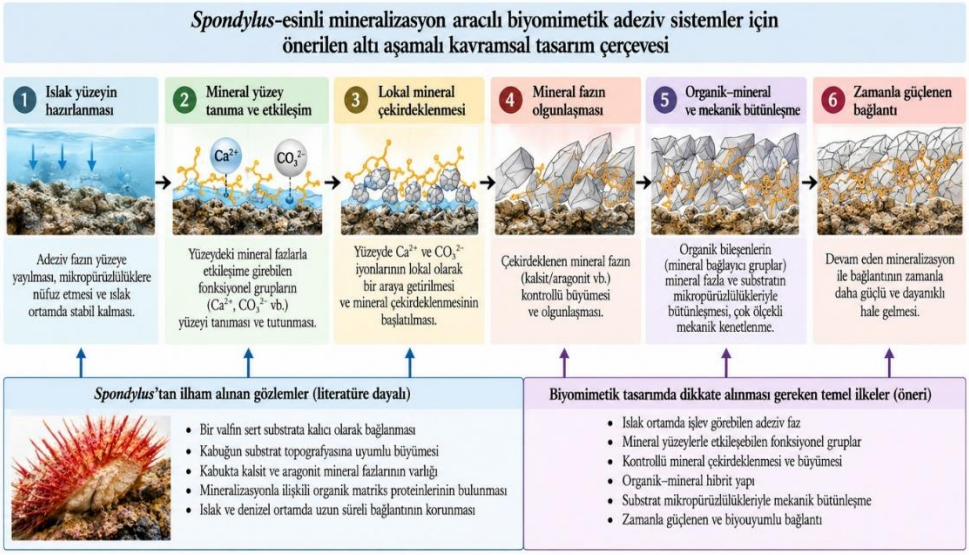
7.5. Biyomedikal ve Mühendislik Uygulamaları Açısından Potansiyel

Organik-mineral adezyon prensibinin yalnız denizel mühendislik için değil, biyomedikal uygulamalar için de uygulanabilir olduğu gösterilmiştir. Kirillova vd. (2018), Kumkale kurdundan esinlenerek tetrakalsiyum fosfat ve fosfoserin temelli, sulu ortamda dakikalar içinde sertleşebilen mineral-organik bir kemik adezivi geliştirmiştir. Materyalin ıslak kemik yüzeylerinde bağlantı oluşturması ve mineral faz ile fosforillenmiş organik bileşenin birlikte kullanılması, mineralize dokular için organik-inorganik adezyonun uygulanabilir bir tasarım stratejisi olduğunu göstermektedir. Bu örnek *Spondylus* açısından doğrudan $CaCO_3$ kimyasını temsil etmemekle birlikte, burada mineral sistem kalsiyum fosfattır. Bununla birlikte temel tasarım ilkesi, mineral yüzeyle kimyasal uyum gösteren organik grupların sertleşebilen bir inorganik fazla birleştirilmesi olarak benzerdir. Bu nedenle *Spondylus*'tan elde edilecek prensiplerin gelecekte kemik, diş, seramik implant veya diğer mineralize biyolojik yüzeylerin birleştirilmesine aktarılması teorik olarak mümkündür. Denizel mühendislik açısından ise potansiyel uygulamalar daha geniştir. Sualtı beton çatlaklarının lokal onarımı, taş ve seramik yüzeylerin birleştirilmesi, resif restorasyonunda kullanılan yapay substratların bağlantısı, denizel sensörlerin mineral yüzeylere sabitlenmesi ve mineral bazlı koruyucu kaplamalar olası uygulama alanlarıdır. Bununla birlikte, bu uygulamalar şu aşamada *Spondylus* mekanizmasından türetilmiş kanıtlanmış teknolojiler değil, biyolojik mekanizmanın çözülmesi halinde değerlendirilebilecek araştırma yönleridir. Burada nacre-esinli yapısal kompozit literatürü de önemli bir mühendislik perspektifi sağlamaktadır. Doğal nacre yaklaşık olarak yüksek oranda mineral faz ve düşük oranda organik faz içermesine rağmen, bileşenlerin hiyerarşik organizasyonu nedeniyle saf mineralden çok farklı kırılma davranışı sergiler.

Yapay nacre çalışmalarında tabakalı organik-inorganik yapıların kontrollü olarak oluşturulabilmesi, biyolojik hiyerarşinin sentetik malzemelere aktarılabileceğini göstermiştir. Ancak *Spondylus*-esinli sistemlerde hedef nacre'nin "brick-and-mortar" mimarisini kopyalamak değil, benzer şekilde az miktarda işlevsel organik fazın yüksek mineral içerikli bağlantının arayüz özelliklerini kontrol etmesi ilkesinden yararlanmak olmalıdır.

7.6. *Spondylus*-Esinli Biyomimetik Adeziv İçin Önerilen Tasarım Çerçevesi

Mevcut literatür doğrultusunda *Spondylus*-esinli materyaller için: ıslak yüzeyin hazırlanması, mineral yüzey tanınması, lokal mineral çekirdeklenmesi, mineral fazın olgunlaşması, çok ölçekli mekanik bütünleşme ve zamanla güçlenen bağlantı olmak üzere altı aşamalı bir tasarım çerçevesi önerilebilir. Koaservat-temelli adezivler sulu ortamda arayüz oluşumunun, barnacle MrCP20 mineral yüzey seçiciliğinin, kabuk matriks proteinleri $CaCO_3$ çekirdeklenmesi ve kristal büyümesinin organik bileşenlerle düzenlenmesinin, istiridye-esinli PAA-ACC sistemleri ise mineral fazın adeziv ağın aktif bir bileşeni olabileceğinin deneysel örneklerini sunmaktadır. Kumkale kurdu adeziv sistemi de sulu ortamda uygulanabilen bir fazın mekanik olarak dayanıklı bir bağlantıya dönüşebileceğini göstermektedir. Bu çerçevede *Spondylus* sementasyonunun biyomimetik değeri, DOPA'ya alternatif tek bir adeziv molekülden çok, adezyon ile biyomineralizasyonun aynı arayüz oluşum sürecinde bütünleşmesi olasılığında yatmaktadır. Dolayısıyla sistem, substrata uyum, mineral yüzey etkileşimi, lokal mineralizasyon ve organik-mineral bütünleşmeyi bir araya getiren potansiyel bir model olarak değerlendirilebilir. Bu mekanizmaların *Spondylus*'ta deneysel olarak doğrulanması, DOPA-dışı biyomimetik sualtı adezivlerinin geliştirilmesi açısından önem taşımaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Spondylus-esinli mineralizasyon aracılı biyomimetik adeziv sistemler için önerilen altı aşamalı kavramsal tasarım çerçevesi.

8. SONUÇ

Spondylus türlerinde kalıcı substrat sementasyonu, erken gelişim dönemindeki geçici tutunmadan sonra bağlı valfin substrata uyumlu büyümesi ve kabuk oluşumuyla bütünleşen özelleşmiş bir bağlantı stratejisidir. Bununla birlikte, kabuk biyomineralizasyonu ve matriks proteinleri hakkında önemli bilgiler bulunmasına karşın, sementasyon bölgesi ve doğrudan kabuk-substrat arayüzünün mineralojik, kimyasal ve moleküler özellikleri henüz yeterince açıklanmamıştır. Bu nedenle *Spondylus*'ta sementasyona özgü bir protein, organik matriks veya normal kabuktan farklılaşmış özel bir organomineral sement tabakasının varlığı bugün için gösterilmiş değildir. Ostreidae'de organik ve inorganik bileşenleri bütünleştiren biyomineralize sement sistemlerinin gösterilmiş olması, *Spondylus* için önemli bir karşılaştırmalı model sunmakla birlikte, iki grubun aynı mekanizmayı kullandığı varsayılamaz.

Spondylus'ta normal kabuk, sementasyon bölgesi ve kabuk-substrat arayüzünün yapısal, mineralojik, moleküler ve mekanik özelliklerinin karşılaştırılması, bağlantının normal kabuk biyomineralizasyonunun devamından mı yoksa özelleşmiş bir organomineral arayüzden mi kaynaklandığının belirlenmesi açısından temel araştırma gereksinimidir. Biyomimetik açıdan *Spondylus*'un önemi, tek bir doğal "yapıştırıcı" molekülünden çok, ıslak yüzeye uyum, mineral yüzey etkileşimi, lokal mineralizasyon, organik-mineral bütünleşme, mekanik kenetlenme ve zamanla güçlenen bağlantıyı bir araya getirebilecek biyolojik bir model olmasında yatmaktadır. Bu mekanizmanın açıklığa kavuşturulması, yalnızca *Spondylus* biyolojisindeki önemli bir bilgi boşluğunu gidermekle kalmayacak, özellikle mineralize dokular ve ıslak yüzeylerde kullanılabilecek biyouyumlu, mineral-organik ve DOPA-dışı yeni nesil yapıştırıcı biyomalzemelerin geliştirilmesine de yeni tasarım ilkeleri sağlayabilecektir.

KAYNAKÇA

Alberts, E. M., Taylor, S. D., Edwards, S. L., Sherman, D. M., Huang, C.-P., Kenny, P., & Wilker, J. J. (2015). Structural and compositional characterization of the adhesive produced by reef building oysters. *ACS Applied Materials & Interfaces, 7*(16), 8533-8538. https://doi.org/10.1021/acsami.5b00287

Burkett, J. R., Hight, L. M., Kenny, P., & Wilker, J. J. (2010). Oysters produce an organic-inorganic adhesive for intertidal reef construction. *Journal of the American Chemical Society, 132*(36), 12531-12533. https://doi.org/10.1021/ja104996y

Checa, A. G., Harper, E. M., & González-Segura, A. (2018). Structure and crystallography of foliated and chalk shell microstructures of the oyster *Magallana*: The same materials grown under different conditions. *Scientific Reports, 8*, 7507. https://doi.org/10.1038/s41598-018-25923-6

Cheong, W. C., Gaskell, P. H., & Neville, A. (2013). Substrate effect on surface adhesion/crystallisation of calcium carbonate. *Journal of Crystal Growth, 363*, 7-21. https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2012.09.025

Cranfield, H. J. (1975). The ultrastructure and histochemistry of the larval cement of *Ostrea edulis* L. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 55*(2), 497-503. https://doi.org/10.1017/S0025315400016088

Culver, C. S., Richards, J. B., & Page, H. M. (2006). Plasticity of attachment in the purple-hinge rock scallop, *Crassadoma gigantea*: Implications for commercial culture. *Aquaculture, 254*(1-4), 361-369. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.10.022

Feifarek, B. P. (1987). Spines and epibionts as antipredator defenses in the thorny oyster *Spondylus americanus* Hermann. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 105*(1), 39-56. https://doi.org/10.1016/S0022-0981(87)80028-X

Feng, D., Li, Q., Yu, H., Kong, L., & Du, S. (2017). Identification of conserved proteins from diverse shell matrix proteome in *Crassostrea gigas*: Characterization of genetic bases regulating shell formation. *Scientific Reports, 7*, 45754. https://doi.org/10.1038/srep45754

Foulon, V., Artigaud, S., Buscaglia, M., Bernay, B., Fabioux, C., Petton, B., Elies, P., Boukerma, K., Hellio, C., Guérard, F., & Boudry, P. (2018). Proteinaceous secretion of bioadhesive produced during crawling and settlement of *Crassostrea gigas* larvae. *Scientific Reports, 8*, 15298. https://doi.org/10.1038/s41598-018-33720-4

Foulon, V., Boudry, P., Artigaud, S., Guérard, F., & Hellio, C. (2019). In silico analysis of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) transcriptome over developmental stages reveals candidate genes for larval settlement. *International Journal of Molecular Sciences, 20*(1), 197. https://doi.org/10.3390/ijms20010197

Fritzsching, K. J., Duan, P., Alberts, E. M., Tibabuzo Perdomo, A. M., Kenny, P., Wilker, J. J., & Schmidt-Rohr, K. (2019). Silk-like protein with persistent radicals identified in oyster adhesive by solid-state NMR. *ACS Applied Bio Materials, 2*(7), 2840-2852. https://doi.org/10.1021/acsabm.9b00243

Harper, E. M. (1992). Post-larval cementation in the Ostreidae and its implications for other cementing Bivalvia. *Journal of Molluscan Studies, 58*(1), 37-47.

Harper, E. M. (1997). Attachment of mature oysters (*Saccostrea cucullata*) to natural substrata. *Marine Biology, 127*(3), 449-453. https://doi.org/10.1007/s002270050032

Harper, E. M. (2012). Part N, revised, volume 1, chapter 21: Cementing Bivalvia. *Treatise Online, 45*, 1-21. https://doi.org/10.17161/to.v0i0.4296

Hoerl, S., le Moine, T., Peter, N. J., Amini, S., Griesshaber, E., Wang, J., Harper, E. M., Salas, C., Checa, A. G., Schwaiger, R., & Schmahl, W. W. (2024). Crystal organisation and material properties of *Chama* and *Glycymeris* myostraca and shells. *Materialia, 36*, 102149. https://doi.org/10.1016/j.mtla.2024.102149

Hur, S., Méthivier, C., Wilson, A., Salmain, M., Boujday, S., & Miserez, A. (2023). Biomineralization in barnacle base plate in association with adhesive cement protein. *ACS Applied Bio Materials, 6*(9), 3423-3432. https://doi.org/10.1021/acsabm.3c00117

Joubert, C., Piquemal, D., Marie, B., Manchon, L., Pierrat, F., Zanella-Cléon, I., Cochennec-Laureau, N., Gueguen, Y., & Montagnani, C. (2010). Transcriptome and proteome analysis of *Pinctada margaritifera* calcifying mantle and shell: Focus on biomineralization. *BMC Genomics, 11*, 613. https://doi.org/10.1186/1471-2164-11-613

Kennedy, W. J., Taylor, J. D., & Hall, A. (1969). Environmental and biological controls on bivalve shell mineralogy. *Biological Reviews, 44*(4), 499-530. https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.1969.tb00610.x

Kirillova, A., Kelly, C., von Windheim, N., & Gall, K. (2018). Bioinspired mineral-organic bioresorbable bone adhesive. *Advanced Healthcare Materials, 7*(17), 1800467. https://doi.org/10.1002/adhm.201800467

Lee, S.-W., Jang, Y.-N., Ryu, K.-W., Chae, S.-C., Lee, Y.-H., & Jeon, C.-W. (2011). Mechanical characteristics and morphological effect of complex crossed structure in biomaterials: Fracture mechanics and microstructure of chalky layer in oyster shell. *Micron, 42*(1), 60-70. https://doi.org/10.1016/j.micron.2010.08.001

Li, A., Jia, Y., Sun, S., Xu, Y., Minsky, B. B., Cohen Stuart, M. A., Cölfen, H., von Klitzing, R., & Guo, X. (2018). Mineral-enhanced polyacrylic acid hydrogel as an oyster-inspired organic-inorganic hybrid adhesive. *ACS Applied Materials & Interfaces, 10*(12), 10471-10479. https://doi.org/10.1021/acsami.8b01082

Liu, C., Li, S., Kong, J., Liu, Y., Wang, T., Xie, L., & Zhang, R. (2015). In-depth proteomic analysis of shell matrix proteins of *Pinctada fucata*. *Scientific Reports, 5*, 17269. https://doi.org/10.1038/srep17269

Logan, A. (1974). Morphology and life habits of the recent cementing bivalve *Spondylus americanus* Hermann from the Bermuda Platform. *Bulletin of Marine Science, 24*(3), 568-594.

Loor, A., Ortega, D., Lodeiros, C., & Sonnenholzner, S. (2016). Early life cycle and effects of microalgal diets on larval development of the spiny rock-scallop, *Spondylus limbatus* (Sowerby II, 1847). *Aquaculture, 450*, 328-334. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.08.012

MacDonald, J., Freer, A., & Cusack, M. (2010). Attachment of oysters to natural substrata by biologically induced marine carbonate cement. *Marine Biology, 157*(9), 2087-2095. https://doi.org/10.1007/s00227-010-1476-7

Maier, E., & Titschack, J. (2010). *Spondylus gaederopus*: A new Mediterranean climate archive—Based on high-resolution oxygen and carbon isotope analyses. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 291*(3-4), 228-238. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2010.02.032

Marie, B., Jackson, D. J., Ramos-Silva, P., Zanella-Cléon, I., Guichard, N., & Marin, F. (2013). The shell-forming proteome of *Lottia gigantea* reveals both deep conservations and lineage-specific novelties. *The FEBS Journal, 280*(1), 214-232. https://doi.org/10.1111/febs.12062

Marin, F., Le Roy, N., & Marie, B. (2012). The formation and mineralization of mollusk shell. *Frontiers in Bioscience (Scholar Edition), 4*(3), 1099-1125. https://doi.org/10.2741/S321

Marin, F., & Luquet, G. (2004). Molluscan shell proteins. *Comptes Rendus Palevol, 3*(6-7), 469-492. https://doi.org/10.1016/j.crpv.2004.07.009

Marin, F., Luquet, G., Marie, B., & Medakovic, D. (2008). Molluscan shell proteins: Primary structure, origin, and evolution. *Current Topics in Developmental Biology, 80*, 209-276. https://doi.org/10.1016/S0070-2153(07)80006-8

McDougall, C., & Degnan, B. M. (2018). The evolution of mollusc shells. *WIREs Developmental Biology, 7*(3), e313. https://doi.org/10.1002/wdev.313

Metzler, R. A., Rist, R., Alberts, E., Kenny, P., & Wilker, J. J. (2016). Composition and structure of oyster adhesive reveals heterogeneous materials properties in a biological composite. *Advanced Functional Materials, 26*(37), 6814-6821. https://doi.org/10.1002/adfm.201602348

Mohanram, H., Georges, T., Pervushin, K., Azaïs, T., & Miserez, A. (2021). Self-assembly of a barnacle cement protein (MrCP20) into adhesive nanofibrils with concomitant regulation of $CaCO_3$ polymorphism. *Chemistry of Materials, 33*(24), 9715-9724. https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.1c03477

Mori, Y., Urushida, Y., Nakano, M., Uchiyama, S., & Kamino, K. (2007). Calcite-specific coupling protein in barnacle underwater cement. *The FEBS Journal, 274*(24), 6436-6446. https://doi.org/10.1111/j.1742-4658.2007.06161.x

Parnell, P. E. (2002). Larval development, precompetent period, and a natural spawning event of the pectinacean bivalve *Spondylus tenebrosus* (Reeve, 1856). *The Veliger, 45*(1), 58-64.

Potet, M., Fabien, A., Chaudemanche, S., Sebaibi, N., Guillet, T., Gachelin, S., Cochet, H., Boutouil, M., & Pouvreau, S. (2021). Which concrete substrate suits you? *Ostrea edulis* larval preferences and implications for shellfish restoration in Europe. *Ecological Engineering, 162*, 106159. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106159

Poutiers, J. M. (1998). Bivalves. In K. E. Carpenter & V. H. Niem (Eds.), *FAO species identification guide for fishery purposes: The living marine resources of the Western Central Pacific. Volume 1: Seaweeds, corals, bivalves and gastropods* (pp. 123-362). Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Revilla, J., Pachay-Estrada, G., Márquez, A. J., Rodríguez-Pesantes, D., Lodeiros, C., & Sonnenholzner, S. (2022). Early life cycle of the Pacific thorny oyster *Spondylus crassisquama* (Lamarck, 1819). *Journal of Shellfish Research, 41*(1), 95-100. https://doi.org/10.2983/035.041.0106

Sakalauskaite, J., Mackie, M., Taurozzi, A. J., Collins, M. J., Marin, F., & Demarchi, B. (2021). The degradation of intracrystalline mollusc shell proteins: A proteomics study of *Spondylus gaederopus*. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Proteins and Proteomics, 1869*(12), 140718. https://doi.org/10.1016/j.bbapap.2021.140718

Sobhy, N. (2023, April 20). *Spondylus spinosus shell from the Red Sea* [Photographs]. British Shell Collectors' Club, Facebook.

Sakalauskaite, J., Plasseraud, L., Thomas, J., Albéric, M., Thoury, M., Perrin, J., Jamme, F., Broussard, C., Demarchi, B., & Marin, F. (2020). The shell matrix of the European thorny oyster, *Spondylus gaederopus*: Microstructural and molecular characterization. *Journal of Structural Biology, 211*(1), 107497. https://doi.org/10.1016/j.jsb.2020.107497

Shabtay, A., Rilov, G., & Benayahu, Y. (2015). The Indo-Pacific oyster *Spondylus spinosus* Schreibers, 1793 in the Eastern Mediterranean Sea: Reproductive features. *Molluscan Research, 35*(3), 206-212. https://doi.org/10.1080/13235818.2015.1007534

Shimizu, K., Negishi, L., Ito, T., Touma, S., Matsumoto, T., Awaji, M., Kurumizaka, H., Yoshitake, K., Kinoshita, S., Asakawa, S., & Suzuki, M. (2022). Evolution of nacre- and prisms-related shell matrix proteins in the pen shell, *Atrina pectinata*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part D: Genomics and Proteomics, 44*, 101025. https://doi.org/10.1016/j.cbd.2022.101025

Song, W., Bahn, S. Y., Cha, H. J., Pack, S. P., & Choi, Y. S. (2016). Recombinant production of a shell matrix protein in *Escherichia coli* and its application to the biomimetic synthesis of spherulitic calcite crystals. *Biotechnology Letters, 38*(5), 809-816. https://doi.org/10.1007/s10529-016-2039-x

Soria, G., Tordecillas-Guillen, J., Cudney-Bueno, R., & Shaw, W. (2010). Spawning induction, fecundity estimation, and larval culture of *Spondylus calcifer* (Carpenter, 1857) (Bivalvia: Spondylidae). *Journal of Shellfish Research, 29*(1), 143-149. https://doi.org/10.2983/035.029.0108

Stewart, R. J., Wang, C. S., & Shao, H. (2011). Complex coacervates as a foundation for synthetic underwater adhesives. *Advances in Colloid and Interface Science, 167*(1-2), 85-93. https://doi.org/10.1016/j.cis.2010.10.009

Stewart, R. J., Wang, C. S., Song, I. T., & Jones, J. P. (2017). The role of coacervation and phase transitions in the sandcastle worm adhesive system. *Advances in Colloid and Interface Science, 239*, 88-96. https://doi.org/10.1016/j.cis.2016.06.008

Suzuki, M., Saruwatari, K., Kogure, T., Yamamoto, Y., Nishimura, T., Kato, T., & Nagasawa, H. (2009). An acidic matrix protein, Pif, is a key macromolecule for nacre formation. *Science, 325*(5946), 1388-1390. https://doi.org/10.1126/science.1173793

Svennevig, K., & Surlyk, F. (2019). A high-stress shelly fauna associated with sponge mud-mounds in the Coniacian Arnager Limestone of Bornholm, Denmark. *Lethaia, 52*(1), 57-76. https://doi.org/10.1111/let.12290

Takeuchi, T., Sarashina, I., Iijima, M., & Endo, K. (2008). *In vitro* regulation of $CaCO_3$ crystal polymorphism by the highly acidic molluscan shell protein Aspein. *FEBS Letters, 582*(5), 591-596. https://doi.org/10.1016/j.febslet.2008.01.026

Tibabuzo Perdomo, A. M., Alberts, E. M., Taylor, S. D., Sherman, D. M., Huang, C.-P., & Wilker, J. J. (2018). Changes in cementation of reef building oysters transitioning from larvae to adults. *ACS Applied Materials & Interfaces, 10*(17), 14248-14253. https://doi.org/10.1021/acsami.8b01305

Yang, X., Yang, D., Yan, Y., Li, S., Han, Z., Ji, Y., Zheng, G., Xie, L., & Zhang, R. (2020). A novel matrix protein PfX regulates shell ultrastructure by binding to specific calcium carbonate crystal faces. *International Journal of Biological Macromolecules, 156*, 302-313. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.04.016

Yaraghi, N. A., & Kisailus, D. (2018). Biomimetic structural materials: Inspiration from design and assembly. *Annual Review of Physical Chemistry, 69*, 23-57. https://doi.org/10.1146/annurev-physchem-040215-112621

Yonge, C. M. (1973). Functional morphology with particular reference to hinge and ligament in *Spondylus* and *Plicatula* and a discussion of relations within the superfamily Pectinacea (Mollusca: Bivalvia). *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences, 267*(883), 173-208. https://doi.org/10.1098/rstb.1973.0071

Zhao, H., & Guo, L. (2017). Nacre-inspired structural composites: Performance-enhancement strategy and perspective. *Advanced Materials, 29*(45), 1702903. https://doi.org/10.1002/adma.201702903

DREİSSENA POLYMORPHA'DA (BİVALVİA: DREİSSENİDAE) BYSSAL ADEZYON: YAPISAL VE MOLEKÜLER MEKANİZMALAR İLE DOPA VE DOPA-DIŞI BİLEŞENLERİN ROLÜ

BYSSAL ADHESION IN DREISSENA POLYMORPHA (BIVALVIA: DREISSENIDAE): STRUCTURAL AND MOLECULAR MECHANISMS AND THE ROLES OF DOPA AND NON-DOPA COMPONENTS

Hülya ŞEREFLİŞAN
Department of Fisheries Engineering, Faculty of Marine Sciences and Technology, İskenderun Technical University, Hatay, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-2510-3714

Menderes ŞEREFLİŞAN
Underwater Technology Program, Vocational School of Maritime Technologies, İskenderun Technical University, Hatay, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-9939-7715

ÖZET

Tatlı su zebra midyesi *Dreissena polymorpha*, byssal sistemi aracılığıyla çok farklı doğal ve yapay substratlara güçlü biçimde tutunabilmektedir. Bu özellik, türün kolonizasyon başarısına katkıda bulunurken su iletim sistemleri ve diğer mühendislik yapılarında biyofouling oluşturmasının da temelini meydana getirmektedir. *D. polymorpha*'da byssus; stem, byssal iplikler ve substrata bağlanan distal adeziv plaklardan oluşan, yapısal ve moleküler açıdan özelleşmiş bir sistemdir. Zebra midye adezyonuna ilişkin ilk biyokimyasal çalışmalar, 3,4-dihidroksifenilalanin (DOPA) içeren *Dreissena polymorpha* foot proteinlerini (Dpfp) tanımlamış ve DOPA'nın byssal sistemdeki olası önemini ortaya koymuştur. Bununla birlikte sonraki morfolojik, mekanik, transkriptomik, proteomik ve genomik çalışmalar, zebra midyenin sualtı tutunmasının yalnızca DOPA üzerinden açıklanamayacak kadar karmaşık olduğunu göstermektedir. *Dreissena* byssusunda toplam DOPA içeriğinin görece düşük olmasına karşın güçlü plak-substrat bağlantılarının oluşabilmesi; byssal bölgeler arasında belirgin protein kompozisyonu farklılıklarının bulunması; plak-substrat arayüzünde özelleşmiş proteinlerin belirlenmesi ve *Dreissena* byssal proteinlerinin deniz midyelerinden büyük ölçüde farklı olması bu görüşü desteklemektedir. Bu derlemede *D. polymorpha*'nın byssal adezyonu; byssogenesis, byssal iplik ve adeziv plak yapısı, Dpfp proteinleri, DOPA ve DOPA-dışı bileşenler, adezyon-kohezyon ilişkisi, substrat özellikleri ve çevresel düzenleme açısından değerlendirilmiştir. Mevcut bulgular, zebra midye adezyonunun tek bir adeziv moleküle dayanan bir mekanizmadan ziyade arayüz adezyonu, matriks kohezyonu, proteinlerin mekânsal organizasyonu, byssal iplik mekaniği ve çevresel düzenlemenin bütünleştiği çok bileşenli bir sistem olarak ele alınması gerektiğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: *Dreissena polymorpha*, byssus, DOPA, Dpfp, biyoadezyon, adeziv plak, kohezyon.

ABSTRACT

The freshwater zebra mussel *Dreissena polymorpha* is capable of strong attachment to a wide range of natural and artificial substrates through its byssal system. This ability contributes to the species' colonization success and underlies its biofouling potential in water conveyance systems and other engineering structures. In *D. polymorpha*, the byssus is a structurally and molecularly specialized system consisting of a stem, byssal threads, and distal adhesive plaques that attach to the substrate. Early biochemical studies identified *Dreissena polymorpha* foot proteins (Dpfps) containing 3,4-dihydroxyphenylalanine (DOPA), highlighting the potential importance of DOPA in byssal adhesion. However, subsequent morphological, mechanical, transcriptomic, proteomic, and genomic studies have shown that underwater attachment cannot be explained solely by DOPA. The relatively low total DOPA content of the *Dreissena* byssus despite strong plaque-substrate bonds, marked differences in protein composition among byssal regions, specialized proteins at the plaque-substrate interface, and the substantial divergence of *Dreissena* byssal proteins from those of marine mussels support this view.

This review evaluates byssal adhesion in *D. polymorpha* with respect to byssogenesis, byssal thread and adhesive plaque structure, Dpfp proteins, DOPA and non-DOPA components, adhesion-cohesion relationships, substrate properties, and environmental regulation. Current evidence indicates that zebra mussel adhesion should be regarded as a multicomponent system in which interfacial adhesion, matrix cohesion, spatial protein organization, byssal thread mechanics, substrate interactions, and environmental regulation collectively determine attachment performance.
Keywords: *Dreissena polymorpha*, byssus, DOPA, Dpfp, bioadhesion, adhesive plaque, cohesion

1. GİRİŞ

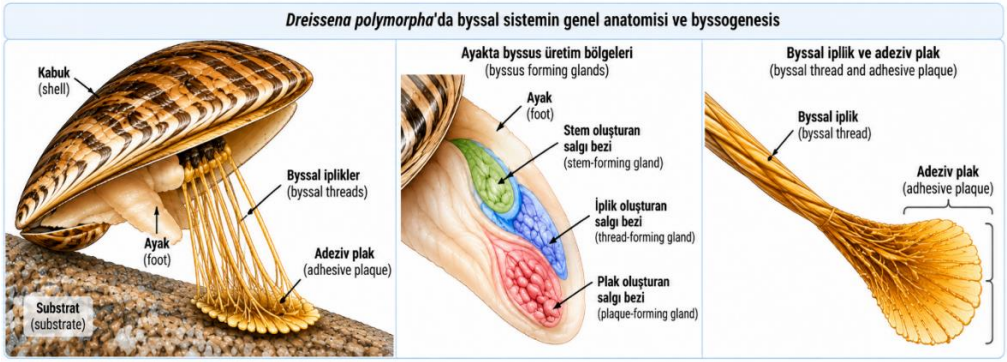
Sucul ortamlarda bir organizmanın katı bir yüzeye kalıcı olarak bağlanması, adeziv materyal ile substrat arasındaki doğrudan moleküler etkileşimin su varlığında kurulmasını gerektirmesi nedeniyle önemli bir biyofiziksel problemdir. Midyeler bu problemi, organizmanın ayağında sentezlenen proteinlerin hücre dışında organize edilmesiyle meydana gelen byssal sistem aracılığıyla çözmektedir. Deniz midyelerinde byssal adezyon uzun süredir araştırılmakla birlikte, tatlı su Dreissenidae üyelerinin benzer makroskobik tutunma yapılarına rağmen moleküler düzeyde farklı çözümler geliştirdiği giderek daha açık biçimde ortaya çıkmaktadır (McCartney, 2021). *Dreissena polymorpha*'da yetişkin bireylerin sert substratlara tutunması, canlı olmayan ekstrakorporeal bir yapı olan byssus aracılığıyla gerçekleşir. Byssus, organizmaya bağlanan stem, bu bölgeden uzanan çok sayıdaki byssal iplik ve her ipliğin distal ucunda substrata temas eden adeziv plaklardan meydana gelir. Juvenil bireylerin de byssal yapılar oluşturabilmesi, byssal tutunmanın türün yaşam döngüsündeki önemini göstermektedir (Rzepecki ve Waite, 1993a). Byssal tutunma yalnızca bireyin yerinde kalmasını sağlayan mekanik bir özellik değildir. Farklı yüzeylerin kolonizasyonuna olanak vermesi nedeniyle *D. polymorpha*'nın ekolojik başarısı ve biyofouling kapasitesiyle doğrudan ilişkilidir. Nitekim Ackerman vd., (1996) doğal, metalik ve polimerik yüzeyler arasında zebra midye tutunma kuvvetinin anlamlı biçimde değiştiğini göstermiş. Kobak ve Januszewska (2006) ise dokuz farklı yapay substratta önemli tutunma farklılıkları belirlemiştir. Bu çalışmalar, adezyonun yalnızca organizmanın salgıladığı materyalin özelliği değil, biyolojik adeziv ile substrat arasında gelişen bir arayüz olayı olduğunu ortaya koymaktadır. Zebra midye adezyonunun moleküler araştırmalarında dönüm noktalarından biri, Rzepecki ve Waite (1993b) tarafından Dpfp-1 ve Dpfp-2 olarak adlandırılan polifenolik protein öncüllerinin tanımlanmasıdır. Her iki proteinde de 3,4-dihidroksifenilalanin (DOPA) bulunması, deniz midyelerinde gelişen DOPA-merkezli adezyon yaklaşımının *Dreissena* için de araştırılmasına yol açmıştır. Bununla birlikte, daha sonraki çalışmalar Dpfp1'in byssal iplikte önemli bir yapısal/yük taşıyıcı bileşen olabileceğini (Anderson ve Waite, 2000), farklı byssal bölgelerin belirgin biçimde farklı protein profilleri taşıdığını (Gilbert ve Sone, 2010) ve *Dreissena* byssal proteinlerinin evrimsel olarak *Mytilus* proteinlerinden büyük ölçüde farklı olduğunu göstermiştir (McCartney, 2021). Bu nedenle *D. polymorpha*'nın byssal tutunmasını yalnızca "DOPA içeren doğal bir yapıştırıcı" olarak değerlendirmek güncel bilgiler ışığında yetersiz kalmaktadır. Bu derlemenin amacı, *D. polymorpha*'da byssal adezyonun yapısal ve moleküler temellerini bir arada değerlendirmek ve özellikle DOPA'nın işlevini DOPA-dışı proteinler, adeziv plak organizasyonu, matriks kohezyonu, mekanik özellikler ve substrat etkileşimleri bağlamında yeniden konumlandırmaktır.

2. BYSSOGENESİS VE BYSSAL SİSTEMİN YAPISAL-MEKANİK ORGANİZASYONU

D. polymorpha'nın byssusu, ayağın özelleşmiş salgı bölgelerinde sentezlenen proteinlerin kontrollü biçimde salgılanması ve olgunlaştırılması sonucunda oluşmaktadır. Rzepecki ve Waite (1993a) byssal iplik ve plakta karmaşık bir protein dağılımı bulunduğunu ve salgılanma sonrasında kimyasal olgunlaşmanın gerçekleştiğini göstermiştir. Çalışmada bu olgunlaşmanın peptidil-DOPA'nın katekol oksidaz aracılı oksidasyonu sonrasında gelişen çapraz bağlanmalarla ilişkili olabileceği ileri sürülmüştür.

Byssogenesis yalnızca birkaç yapısal proteinin sentezlenmesinden ibaret değildir. Xu ve Faisal (2009) zebra midye ayağına özgü 716 geni içeren bir cDNA mikroarray geliştirerek adezyon ve adezyon dışı dönemler arasında farklı gen ekspresyon profilleri bulunduğunu göstermiştir (Şekil 1). Aynı araştırmacıların byssal iplikler kesildikten sonra rejenerasyon sürecini izlediği sonraki çalışma, yeni byssus oluşumu sırasında zamana bağlı gen ekspresyon değişikliklerini ortaya koymuştur (Xu ve Faisal, 2010a). Böylece byssogenesisin yalnızca kimyasal bir sertleşme süreci değil, moleküler olarak düzenlenen dinamik bir biyolojik süreç olduğu anlaşılmıştır.

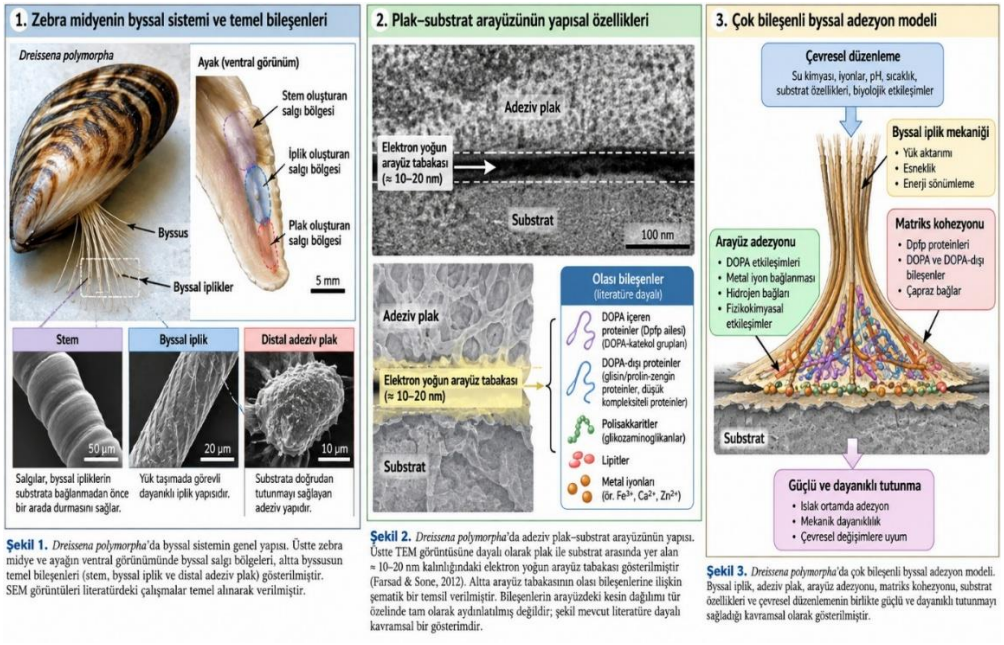
Byssal sistemin mekanik organizasyonu da bu moleküler düzen kadar önemlidir. Brazee ve Carrington (2006), farklı midye türlerinin tekil byssal ipliklerini karşılaştırdıkları çalışmada *D. polymorpha* ipliklerinin incelenen türler arasında en güçlü ve en rijit iplikler olduğunu bildirmişlerdir. Dolayısıyla adeziv plağın substrata oluşturduğu bağlantının etkinliği, bu bağlantıdan organizmaya kuvvet aktaran byssal iplikler mekanik özelliklerinden bağımsız değerlendirilemez. Bu bilgiler birlikte ele alındığında zebra midye byssusu, birbirinden bağımsız plak ve ipliklerden oluşan basit bir tutunma aparatı olmadığı, moleküler sentez, protein olgunlaşması, yapısal organizasyon ve mekanik yük aktarımının ardışık biçimde bütünleştiği bir sistem olarak değerlendirilmelidir.



Şekil 1. Dreissena polymorpha'da byssal sistemin genel anatomisi ve byssogenesisin şematik gösterimi.

3. ADEZİV PLAK VE PLAK-SUBSTRAT ARAYÜZÜ

Byssal sistem içerisinde substratla doğrudan bağlantının gerçekleştiği bölge adeziv plaktır. Bu nedenle zebra midye adezyonunun mekanizmasını anlamak için yalnızca hangi proteinlerin üretildiğinin değil, bu proteinlerin plak içerisindeki konumlarının ve substratla temas biçimlerinin de bilinmesi gerekmektedir (Şekil 2). Gilbert ve Sone (2010), MALDI-TOF kütle spektrometrisi kullanarak byssusun farklı bölgelerindeki protein kompozisyonunu incelemiş ve byssal iplik ile plak spektrumlarının büyük ölçüde birbirinden farklı olduğunu göstermiştir. Ayrıca plağın substratla temas eden arayüz bölgesinde diğer byssal bölgelerde görülmeyen bazı protein piklerinin bulunması, bu bölgenin adezyona özgü proteinler içerebileceğini düşündürmüştür. Bu sonuç, byssal proteinlerin yapı içerisinde rastgele dağılmadığını, işlevlerine göre mekânsal olarak organize edildiğini gösteren önemli kanıtlardan biridir. Farsad ve Sone (2012) tarafından gerçekleştirilen transmisyon elektron mikroskobu çalışması bu moleküler farklılaşmanın yapısal karşılığını ortaya koymuştur. Araştırmacılar adeziv plağın substrata bakan alt yüzeyinde yalnızca yaklaşık 10-20 nm kalınlığında, elektron yoğun, sürekli bir tabaka tanımlamışlardır. Plağın geri kalan bölümünün ise fibriler yapıda olduğu ve yoğun veya poröz morfoloji gösterebildiği belirlenmiştir. Bu bulgu önemlidir, çünkü zebra midyenin yüzeye tutunmasını sağlayan yapı yalnızca "plak" olarak değerlendirilmemelidir. Plak içerisinde en az iki işlevsel düzey bulunmaktadır: substratla doğrudan moleküler etkileşimi sağlayan çok ince bir adeziv arayüz ve bu bağlantının mekanik bütünlüğünü koruyan daha hacimli bir plak matriksi (Gilbert ve Sone, 2010; Farsad ve Sone, 2012).



Şekil 1. *Dreissena polymorpha*'da byssal sistemin genel yapısı. Üstte zebra midye ve ayağın ventral görünümünde byssal salgı bölgeleri, altta byssusun temel bileşenleri (stem, byssal iplik ve distal adeziv plak) gösterilmiştir. SEM görüntüleri literatürdeki çalışmalar temel alınarak verilmiştir.

Şekil 2. *Dreissena polymorpha*'da adeziv plak–substrat arayüzünün yapısı. Üstte TEM görüntüsüne dayalı olarak plak ile substrat arasında yer alan ≈ 10–20 nm kalınlığındaki elektron yoğun arayüz tabakası gösterilmiştir (Farsad & Sone, 2012). Altta arayüz tabakasının olası bileşenlerine ilişkin şematik bir temsil verilmiştir. Bileşenlerin arayüzdeki kesin dağılımı tür özelinde tam olarak aydınlatılmış değildir; şekil mevcut literatüre dayalı kavramsal bir gösterimdir.

Şekil 3. *Dreissena polymorpha*'da çok bileşenli byssal adezyon modeli. Byssal iplik, adeziv plak, arayüz adezyonu, matriks kohezyonu, substrat özellikleri ve çevresel düzenlemenin birlikte güçlü ve dayanıklı tutunmayı sağladığı kavramsal olarak gösterilmiştir.

Şekil 2. Dreissena polymorpha'da adeziv plak-substrat arayüzünün yapısal ve moleküler organizasyonunun şematik gösterimi.

4. DPFP PROTEİNLERİ VE DOPA

Rzepecki ve Waite (1993b) zebra midye ayağından Dpfp-1 ve Dpfp-2 protein öncüllerini izole etmiş ve bu proteinlerde DOPA bulunduğunu göstermiştir. Aynı çalışma, bu proteinlerin daha önce deniz midyelerinde tanımlanan polifenolik proteinlerden bileşim ve tekrarlayan dizi motifleri bakımından farklı olduğunu ortaya koymuştur.

Dpfp1'in moleküler karakterizasyonu daha sonra Anderson ve Waite (1998) tarafından geliştirilmiş, ayağa özgü cDNA üzerinden proteinin dizisi tanımlanmış ve olgun protein üzerinde hidroksilasyon ve O-glikozilasyon gibi post-translasyonel değişikliklerin bulunduğu gösterilmiştir. Anderson ve Waite (2000) ise rekombinant Dpfp1'e karşı geliştirilen antikorlarla proteinin ayak dokusunda sentezlendiğini, salgı granüllerinde depolandığını ve byssal iplik ekstraktlarında bulunduğunu doğrulamıştır. Dpfp1'in ayaktaki dağılımı, araştırmacılar tarafından bu proteinin byssal iplikte önemli bir yük taşıyıcı bileşen olabileceği şeklinde yorumlanmıştır.

DOPA'nın katekol yan zinciri, midye adezyon literatüründe hem yüzey bağlanması hem de proteinler arası çapraz bağlanma açısından önem taşımaktadır. Bununla birlikte, bu mekanizmaların en ayrıntılı moleküler kanıtları *Mytilus* türlerinden elde edilmiştir. Dolayısıyla deniz midyesi modellerindeki DOPA kimyasının *D. polymorpha*'ya doğrudan ve eksiksiz biçimde aktarılması uygun değildir. Nitekim McCartney (2021), *Dreissena* ve *Mytilus* byssuslarının makroskobik benzerliğine rağmen byssal proteinlerinin büyük ölçüde farklı olduğunu ortaya koymuştur. Bu ayrım, zebra midye adezyonunun değerlendirilmesinde kritik öneme sahiptir.

5. DOPA-DIŞI BİLEŞENLER VE BYSSAL PROTEOMUN ÇEŞİTLİLİĞİ

Zebra midye byssusuna ilişkin ilk araştırmalar DOPA içeren proteinlere yoğunlaşmış olsa da, sonraki çalışmalar sistemin çok daha geniş bir moleküler çeşitliliğe sahip olduğunu göstermiştir. Gilbert ve Sone (2010) byssusun farklı bölgelerinde 3.7-7 kDa aralığında çok sayıda küçük proteine karşılık gelen kütle pikleri belirlemiş ve özellikle plak-substrat arayüzüne özgü proteinlerin varlığına işaret etmiştir.

Gantayet vd., (2013) yeni salgılanmış ve çapraz bağlanmanın henüz sınırlı olduğu byssal materyali kullanarak üç yeni zebra midye byssal proteini tanımlamış, Dpfp2'nin daha kapsamlı dizisini ve Dpfp5 olarak adlandırılan yeni bir proteinin kısmi dizisini ortaya koymuştur. Bu çalışma, olgun byssusun yoğun çapraz bağlanması nedeniyle protein ekstraksiyonunun güçleşmesinin, önceki çalışmalarda byssal protein çeşitliliğinin olduğundan daha düşük görünmesine neden olabileceğini göstermesi açısından da önemlidir.

Genomik veriler bu çeşitliliği daha da genişletmiştir. McCartney (2021), kromozom düzeyinde *D. polymorpha* genomunu kullanarak 16 kromozomun 10'una dağılmış 37 byssal lokus belirlemiştir. Byssal genlerin çoğunun küçük gen aileleri halinde bulunması ve paraloglar arasında aminoasit değişimlerinin görülmesi, byssal proteinlerin hızlı evrimleşen bir moleküler sistem oluşturduğunu düşündürmektedir. Aynı çalışma, *Dreissena* proteinlerinin *Mytilus* byssusunda bulunan kollajen-, ipek fibroin- veya elastin-benzeri alanları taşımadığını ve iki soyun benzer işlevsel byssal yapıları büyük ölçüde farklı protein repertuvarlarıyla oluşturduğunu göstermiştir. Dolayısıyla zebra midyenin güçlü adezyonunu yalnızca DOPA içeren Dpfp proteinlerine indirgemek, mevcut proteomik ve genomik verilerle uyumlu değildir.

6. DOPA'NIN BYSSAL ADEZYONDAKİ MERKEZİ ROLÜNÜN YENİDEN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu derlemenin temel sorularından biri burada ortaya çıkmaktadır. DOPA zebra midye byssusunda bulunmaktadır ve DOPA içeren proteinlerin sistemin yapısal olgunlaşmasında rol oynadığına ilişkin güçlü kanıtlar vardır (Rzepecki ve Waite, 1993a, 1993b). Ancak DOPA'nın varlığı ile toplam adezyon performansını eşanlamlı kabul etmek mümkün müdür?

McCartney (2021), Dpfp1 ve Dpfp2'de bildirilen DOPA düzeyinin yaklaşık %7 mol düzeyine ulaşabildiğini, buna karşılık bütün *D. polymorpha* byssusunda toplam DOPA düzeyinin yaklaşık %0.6 mol olduğunu bildirmiştir. Bu değer, DOPA açısından oldukça zengin bazı deniz midyesi adeziv proteinlerinden belirgin biçimde düşüktür.

Daha çarpıcı mekanik kanıt ise zebra ve quagga midyelerin tekil plaklarının farklı yüzeylerde test edildiği çalışmadan gelmektedir. *D. polymorpha* ve *D. bugensis*'te toplam byssal DOPA düzeylerinin deniz midyelerine kıyasla çok düşük olmasına rağmen, tekil plak adezyon kuvvetlerinin bazı *Mytilus* ve *Perna* verileriyle karşılaştırılabilir olduğu gösterilmiştir (James vd., 2021). Bu sonuç, yüksek DOPA içeriğinin güçlü sualtı adezyonu için tek başına zorunlu koşul olmadığını düşündürmektedir.

Dreissenidae içinden gelen çok yeni bir bulgu da bu görüşü desteklemektedir. Obille vd., (2026) tarafından Quagga midyesi *D. bugensis* üzerinde gerçekleştirilen 2026 tarihli proteomik ve nanomekanik çalışmada, plak-substrat arayüzünde zenginleşen Dbfp7 protein ailesinin DOPA bakımından fakir olmasına rağmen sulu ortamda adeziv özellik gösterebildiği belirlenmiştir. Bu çalışma *D. polymorpha* üzerinde yapılmadığından zebra midye için doğrudan kanıt olarak kabul edilmemelidir. Ancak yakın akraba bir Dreissenidae türünde DOPA-dışı adezyon mekanizmalarının işlevsel olabileceğini göstermesi açısından önemlidir. Bu veriler DOPA'nın önemsiz olduğunu değil, DOPA'nın çok bileşenli bir sistem içerisindeki bileşenlerden biri olarak değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

7. ADEZYON VE KOHEZYON: AYNI SİSTEMİN İKİ FARKLI İŞLEVİ

Byssal tutunmada "adezyon" ile "kohezyon" kavramlarının ayrılması gerekir. Adezyon, plak ile substrat arasındaki bağlantıyı; kohezyon ise plağın kendi protein matriksinin bütünlüğünü ifade eder. Bu ayrım yalnızca teorik değildir. Zebra ve quagga midyelerin cam, PVC ve PDMS üzerindeki tek plak bağlantılarının incelendiği çalışmada kopmalar adeziv, kohezyonel, footprint ve karma kopma biçimlerinde sınıflandırılmıştır (James vd., 2021). *D. polymorpha* plaklarının cam ve PVC'de sıklıkla kohezyonel veya karma kopma göstermesi, bazı durumlarda plak-substrat bağlantısının plağın kendi yapısal bileşenlerinden daha güçlü olabileceğini ortaya koymuştur. Buna karşılık, hidrofobik PDMS üzerinde adeziv kopma sıklığının artması, arayüz kimyasının bağlantı başarısında belirleyici olduğunu göstermektedir.Dolayısıyla güçlü bir zebra midye bağlantısı için yalnızca yüzeyle güçlü kimyasal etkileşim yeterli değildir. Plak matriksinin kopmadan yük taşıması, plak-iplik geçişinin korunması ve byssal ipliğin yükü organizmaya aktarabilmesi gerekir. Bu durum, moleküler adezyon ile yapısal kohezyonun birbirinden bağımsız değil, seri halde çalışan mekanik bileşenler olduğunu göstermektedir.

8. SUBSTRAT ÖZELLİKLERİ VE ADEZYON PERFORMANSI

Zebra midye adezyonunun çok bileşenli yapısını destekleyen diğer önemli kanıtlar substrat çalışmalarından gelmektedir. Ackerman vd., (1996), doğal, metalik ve polimerik materyaller üzerinde yaptıkları deneylerde tutunma kuvvetini genel olarak doğal ≥ metalik > polimerik biçiminde sıralamış ve yüzey pürüzlülüğünün de aynı materyal içerisinde bağlantı kuvvetini etkileyebildiğini göstermiştir.

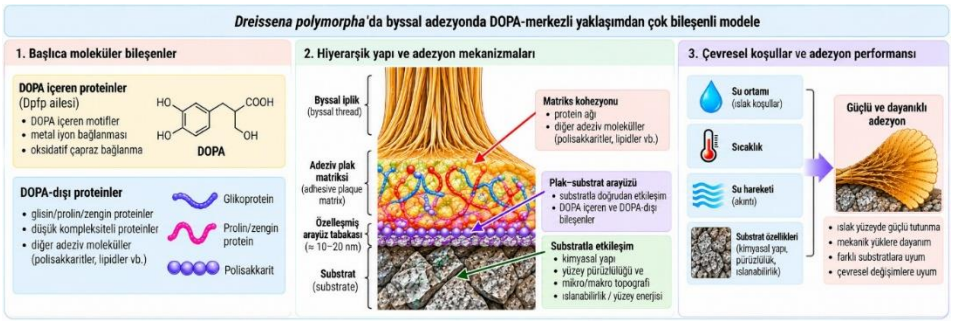
Kobak ve Januszewska (2006) dokuz yapay substratı karşılaştırmış; en yüksek tutunma kuvvetini fenoplast esaslı resocart üzerinde, daha düşük değerleri alüminyum, akrilik, PVC, kauçuk ve camda, en düşük değerleri ise çinko, kaplanmış yüzey ve bakırda belirlemiştir.
Daha kontrollü yüzey çalışmalarında cam, PVC ve PDMS gibi farklı ıslanabilirliğe sahip substratlar karşılaştırılmış ve substrat özelliklerinin oluşmuş plağın mekanik davranışını da etkileyebildiği gösterilmiştir (James vd., 2021). Camdan PDMS'ye doğru hidrofobiklik arttıkça adeziv kopmaların daha sık görülmesi ve bağlantı performansının değişmesi, yüzey kimyasının yalnızca midyenin yer seçimini değil, oluşmuş plağın mekanik davranışını da etkileyebildiğini göstermektedir.
Bu sonuçların uygulamalı karşılığı antifouling çalışmalarında görülmektedir. Yağ emdirilmiş PDMS yüzeylerde gerçekleştirilen deneylerde, yeterli yağ doygunluğuna sahip yüzeylerde zebra midyelerin yeniden tutunmasının engellenebildiği bildirilmiştir (Kimmins vd., 2019). Bu bulgu, organizmayı doğrudan öldürmeye yönelik yöntemlerden farklı olarak plak-substrat arayüzünün fizikokimyasal olarak hedeflenebileceğini göstermektedir.

9. ÇEVRESEL KOŞULLAR VE BYSSOGENESİSİN DÜZENLENMESİ

Byssal adezyon yalnızca protein kompozisyonu ve substrat özellikleri tarafından belirlenen statik bir olay değildir. Çevresel koşullar da byssal üretim ve tutunma performansını değiştirebilmektedir. Kobak (2006) *D. polymorpha*'da tutunma kuvvetinin birey büyüklüğü ve maruz kalma süresiyle arttığını, ışığın erken dönemde tutunmayı baskılayabildiğini ve konspecific bireylerin varlığının tutunmayı güçlendirdiğini göstermiştir. Aynı çalışmada optimum tutunma kuvveti 20-25 °C'de görülmüş, daha düşük sıcaklıklarda ve 30 °C'de kuvvet azalmıştır. Clarke ve McMahon (1996) hipoksi ve düşük frekanslı hareketin byssal iplik üretimini etkileyebildiğini göstermiştir. Xu ve Faisal (2010b) ise sıcaklık, akıntı, çözünmüş oksijen ve byssogenesis durumunu birlikte değerlendirdikleri mikroarray analizinde bu faktörlere yanıt veren genler belirlemiştir. Bu sonuçlar, *D. polymorpha* adezyonunun çevresel koşullara yanıt verebilen plastik ve düzenlenebilir bir biyolojik sistem olduğunu göstermektedir.

10. Dreissena polymorpha'DA ÇOK BİLEŞENLİ BYSSAL ADEZYON MEKANİZMASI

Mevcut literatür birlikte değerlendirildiğinde, *D. polymorpha*'nın byssal adezyonunu yalnızca DOPA merkezli bir modelle açıklamanın yetersiz kaldığı görülmektedir.
İlk düzey moleküler sentez ve byssogenesistir. Ayaktaki özelleşmiş salgı sistemleri farklı byssal proteinleri üretmekte ve bunların ekspresyonu byssogenesisin farklı evrelerinde değişmektedir (Anderson ve Waite, 2000; Xu ve Faisal, 2009, 2010a).
İkinci düzey arayüz adezyonudur. Plağın substrata bakan yüzeyinde yaklaşık 10-20 nm kalınlığında özelleşmiş bir tabaka bulunmakta ve bu bölge, byssusun diğer kısımlarından farklı bir protein bileşimi göstermektedir (Gilbert ve Sone, 2010; Farsad ve Sone, 2012).
Üçüncü düzey matriks kohezyonu ve olgunlaşmadır. DOPA'nın oksidasyon sonrası çapraz bağlanmaya katılması bu süreçte rol oynayabilir, ancak DOPA-dışı proteinlerin çeşitliliği ve olgun byssusun yoğun çapraz bağlı yapısı, kohezyonun tek bir moleküle indirgenemeyeceğini göstermektedir (Rzepecki ve Waite, 1993a; Gantayet vd., 2013).
Dördüncü düzey mekanik yük aktarımıdır. Zebra midyenin güçlü ve rijit byssal iplikleri, plakta oluşan bağlantının organizmaya aktarılmasında kritik bir mekanik bileşendir (Brazee ve Carrington, 2006).
Beşinci düzey ise substrat ve çevre etkileşimidir. Yüzey kimyası ve pürüzlülüğü bağlantı kuvvetini değiştirirken, sıcaklık, akıntı, çözünmüş oksijen ve biyolojik çevre byssogenesisin düzenlenmesine katkıda bulunmaktadır (Ackerman vd., 1996; Kobak, 2006; Xu ve Faisal, 2010b).
Bu nedenle *D. polymorpha*'da byssal adezyonun;
DOPA/DOPA-dışı moleküler etkileşimler → arayüz adezyonu → matriks kohezyonu → yapısal organizasyon → mekanik yük aktarımı → substrat ve çevresel düzenleme
şeklinde birbirine bağlı düzeylerden oluşan hiyerarşik bir sistem olarak değerlendirilmesi daha uygun görünmektedir (Şekil 3).
Bu yaklaşım DOPA'nın önemini reddetmemektedir. Aksine, DOPA'yı doğal sistemde gerçekten bulunduğu yere, yani daha geniş bir protein, yapı ve arayüz organizasyonunun içerisine yerleştirmektedir.



Şekil 3. Dreissena polymorpha'da DOPA-merkezli yaklaşımdan çok bileşenli byssal adezyon modeline geçişin şematik gösterimi.

11. *Dreissena polymorpha* BYSSAL ADEZYONUNUN BİYOMİMETİK VE ANTİFOULING UYGULAMALARA KATKISI

D. polymorpha'nın byssal sistemi iki karşıt teknolojik yaklaşım için model oluşturabilir. Birincisi, zebra midyenin yapay yüzeylere tutunmasını önlemeye yönelik antifouling teknolojileridir. Yüzey özelliklerinin tutunma kuvvetini ve kopma mekanizmasını değiştirdiğinin gösterilmesi, kimyasal öldürücü uygulamalara alternatif olarak plak-substrat arayüzünü hedefleyen materyallerin geliştirilebileceğini düşündürmektedir.

İkinci yaklaşım ise biyomimetik adeziv tasarımıdır. Midye esinli materyal araştırmaları büyük ölçüde DOPA/katekol kimyasına odaklanmış olmakla birlikte, *Dreissena* literatürü farklı bir tasarım ilkesi ortaya koymaktadır. Görece düşük toplam DOPA içeriğine rağmen güçlü plak bağlantısının oluşturulabilmesi, doğal sistemin başarısının tek bir fonksiyonel kimyasal gruptan çok arayüz kimyası, protein çeşitliliği, matriks kohezyonu ve hiyerarşik mekanik organizasyonun birlikteliğine bağlı olabileceğini göstermektedir. Dolayısıyla *D. polymorpha*'dan esinlenen biyomimetik yaklaşımın yalnızca "DOPA'yı taklit etmek" yerine, adezyon-kohezyon-mekanik yük aktarımı üçlüsünü birlikte taklit etmeye yönelmesi daha bütüncül bir strateji olabilir.

12. SONUÇ

Dreissena polymorpha'nın byssal adezyonu üzerine yaklaşık otuz yılı aşan moleküler ve yapısal araştırmalar, başlangıçtaki DOPA-merkezli açıklamadan giderek daha karmaşık bir modele doğru ilerlemiştir. Dpfp-1 ve Dpfp-2'nin ve bunlardaki DOPA'nın tanımlanması zebra midye adezyonunun moleküler araştırılmasında temel bir aşama oluşturmuş, ancak sonraki transkriptomik, proteomik, ultrastrüktürel, mekanik ve genomik çalışmalar sistemin çok daha geniş bir moleküler repertuvara sahip olduğunu göstermiştir. Özellikle byssusun farklı bölgelerinde farklı protein kompozisyonlarının bulunması, plak-substrat arayüzünün nanoölçekte özelleşmiş yapısı, bütün byssustaki düşük toplam DOPA düzeyine rağmen güçlü tek-plak adezyonunun gerçekleşebilmesi ve *Dreissena* byssal proteinlerinin *Mytilus* proteinlerinden büyük ölçüde farklı olması, DOPA'nın tek başına açıklayıcı bir model olarak kullanılmasını güçleştirmektedir. Bu nedenle *D. polymorpha* byssusu, bir "DOPA yapıştırıcısı" olarak değil, moleküler adezyon, matriks kohezyonu, proteinlerin mekânsal organizasyonu, mekanik yük aktarımı ve çevresel düzenlemenin birlikte işlediği hiyerarşik bir sualtı adezyon sistemi olarak değerlendirilmelidir.

Gelecekte özellikle plak-substrat arayüzüne özgü DOPA-dışı proteinlerin fonksiyonlarının belirlenmesi, bunların DOPA içeren proteinlerle moleküler etkileşimlerinin açıklanması ve yüzey kimyasının bu organizasyonu nasıl değiştirdiğinin ortaya konması, *Dreissena* adezyonunun anlaşılmasında öncelikli araştırma alanlarını oluşturmaktadır.

KAYNAKÇA

Ackerman, J. D., Cottrell, C. M., Ethier, C. R., Allen, D. G., & Spelt, J. K. (1996). Attachment strength of zebra mussels on natural, polymeric, and metallic materials. *Journal of Environmental Engineering, 122*(2), 141-148. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(1996)122:2(141)

Anderson, K. E., & Waite, J. H. (1998). A major protein precursor of zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) byssus: Deduced sequence and significance. *The Biological Bulletin, 194*(2), 150-160. https://doi.org/10.2307/1543045

Anderson, K. E., & Waite, J. H. (2000). Immunolocalization of Dpfp1, a byssal protein of the zebra mussel *Dreissena polymorpha*. *Journal of Experimental Biology, 203*, 3065-3076. https://doi.org/10.1242/jeb.203.20.3065

Brazee, S. L., & Carrington, E. (2006). Interspecific comparison of the mechanical properties of mussel byssus. *The Biological Bulletin, 211*(3), 263-274. https://doi.org/10.2307/4134548

Clarke, M., & McMahon, R. F. (1996). Effects of hypoxia and low-frequency agitation on byssogenesis in the freshwater mussel *Dreissena polymorpha* (Pallas). *The Biological Bulletin, 191*(3), 413-420. https://doi.org/10.2307/1543014

Farsad, N., & Sone, E. D. (2012). Zebra mussel adhesion: Structure of the byssal adhesive apparatus in the freshwater mussel, *Dreissena polymorpha*. *Journal of Structural Biology, 177*(3), 613-620. https://doi.org/10.1016/j.jsb.2012.01.011

Gantayet, A., Ohana, L., & Sone, E. D. (2013). Byssal proteins of the freshwater zebra mussel, *Dreissena polymorpha*. *Biofouling, 29*(1),77-85. https://doi.org/10.1080/08927014.2012.7466
72

Gilbert, T. W., & Sone, E. D. (2010). The byssus of the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*): Spatial variations in protein composition. *Biofouling, 26*(7), 829-836. https://doi.org/10.1080/08927014.2010.524298

James, B. D., Kimmins, K. M., Nguyen, M.-T., Lausch, A. J., & Sone, E. D. (2021). Attachment of zebra and quagga mussel adhesive plaques to diverse substrates. *Scientific Reports, 11*, 23998. https://doi.org/10.1038/s41598-021-03227-6

Kimmins, K. M., James, B. D., Nguyen, M.-T., Asker, D., Hatton, B. D., & Sone, E. D. (2019). Oil-infused silicone prevents zebra mussel adhesion. *ACS Applied Bio Materials, 2*(12), 5841-5847. https://doi.org/10.1021/acsabm.9b00832

Kobak, J. (2006). Factors influencing the attachment strength of *Dreissena polymorpha* (Bivalvia). *Biofouling, 22*, 153-162. https://doi.org/10.1080/08927010600691895

Kobak, J., & Januszewska, M. (2006). Impact of substratum type on attachment and survival of *Dreissena polymorpha* (Bivalvia). *Folia Malacologica, 14*(2), 51-56. https://doi.org/10.12657/folmal.014.007

McCartney, M. A. (2021). Structure, function and parallel evolution of the bivalve byssus, with insights from proteomes and the zebra mussel genome. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 376*(1825), 20200155. https://doi.org/10.1098/rstb.2020.0155

Obille, A. R., Hasan, R., Rees, D. J., Ng, J., Wang, Z. Y., Bagchi, R., Lian, K., Carneiro, K. M. M., & Sone, E. D. (2026). Identification and characterization of a wet adhesive protein extracted from *Dreissena bugensis*, the freshwater quagga mussel. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 123*(11), e2537453123. https://doi.org/10.1073/pnas.2537453123

Rzepecki, L. M., & Waite, J. H. (1993a). The byssus of the zebra mussel, *Dreissena polymorpha*. I: Morphology and in situ protein processing during maturation. *Molecular Marine Biology and Biotechnology, 2*(5), 255-266.

Rzepecki, L. M., & Waite, J. H. (1993b). The byssus of the zebra mussel, *Dreissena polymorpha*. II: Structure and polymorphism of byssal polyphenolic protein families. *Molecular Marine Biology and Biotechnology, 2*(5), 267-279.

Xu, W., & Faisal, M. (2009). Development of a cDNA microarray of zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) foot and its use in understanding the early stage of underwater adhesion. *Gene, 436*(1-2), 71-80. https://doi.org/10.1016/j.gene.2009.01.007

Xu, W., & Faisal, M. (2010a). Gene expression profiling during the byssogenesis of zebra mussel (*Dreissena polymorpha*). *Molecular Genetics and Genomics, 283*(4), 327-339. https://doi.org/10.1007/s00438-010-0517-8

Xu, W., & Faisal, M. (2010b). Factorial microarray analysis of zebra mussel (*Dreissena polymorpha*: Dreissenidae, Bivalvia) adhesion. *BMC Genomics, 11*, 341. https://doi.org/10.1186/1471-2164-11-341

EFFECT OF DIFFERENT IRON DOSES ON STOMATAL CHARACTERISTICS AND SPAD VALUES IN COWPEA (VIGNA UNGUICULATA L.) PLANTS

Asst. Prof. Ferda ÖZKORKMAZ
Department of Field Crops, Faculty of Agriculture, Ordu University, Ordu, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-4345-9711

Asst. Prof. Ayşe Özge ŞİMŞEK SOYSAL
Department of Field Crops, Faculty of Agriculture, Ordu University, Ordu, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-2494-0844

Dr. Buse TAGAY BİCE
Çatalpınar District Directorate of Agriculture and Forestry, Ordu, Türkiye.
ORCID ID: 0009-0004-3107-072X

Abstract
This study, was carried out in 2017 in order to determine the effects of iron applicaitons on stomatal characteristic and SPAD values in cowpea plants In the study iron sulfate ($FeSO_4$) was administered at four different doses (0-1-2-4 kg da^{-1}) as an iron source. Amazon cowpea cultivar was used as plant material. The experimed was carried out using a randomized block design with 3 replications. Stomata width, stomata length, stomatal density and SPAD value were examined. As a result of the study, increases were observed in all examined characteristics with rising iron doses, and the highest values were obtained at the 2 kg da^{-1} iron dose.
Keywords: Iron, stomatal characteristic, cowpea

Introduction

Inadequate and unbalanced nutrition remains a significant problem today. The aim should be to overcome the problem of hunger by increasing plant production. Increasing the production of high-protein edible grain legumes is of great nutritional importance. The cowpea native to South Asia, India, and Africa (Ünlü and Padem, 2005) is an important legume crop that can be consumed as both human food and animal feed (Debnath et al., 2018). The limited cultivation area for cowpeas in Türkiye can be attributed to the fact that the crop is not widely recognized as a food source here (Sert, 2011). The cowpea is a legume capable of adapting well to adverse conditions (Bisikwa et al., 2014). In recent years, high temperatures during the summer months have begun to cause problems with the pollination and fertilization of common beans. Its tolerance for hot and dry conditions and its ability to produce abundant vegetative growth, the cowpea is a crop that can be easily cultivated in regions where common beans are grown (Özkorkmaz and Yılmaz, 2022). Iron (Fe) is a nutrient element that performs numerous metabolic functions and plays a role in various physiological processes in plants. It carries out these functions by altering its valence state through redox reactions and by forming chelated compounds. Although iron is not a structural component of chlorophyll, there is a close relationship between a plant's iron nutrition and its chlorophyll content, alongside its many other functions. Chlorophyll formation is inhibited if sufficient iron is not obtained (Uysal and Akay, 2007). Iron deficiency leads to a reduction in the number of nodules in leguminous plants (O'Hara et al., 1988). Iron is an element that directly affects chlorophyll synthesis; as the iron content in leaves decreases, there is a corresponding decline in chlorophyll and ferredoxin levels as well as in the rate of photosynthesis (Alcaraz et al., 1986; Marschner, 1995). This study was conducted to determine the effects of iron applications on the stomatal characteristics of cowpea plants grown under the ecological conditions of Ordu.

Materials and Methods

This study was carried out at the field and application area of Ordu University in 2017, aiming to evaluate the effects of Fe applications on stomatal characteristics and SPAD value of cowpea. The experiment design was randomized complete block design in three replications. The plant material used in the study was Amazon cowpea variety (*Vigna unguiculata* L.). 4 different Iron (Fe) concentrations (0, 1, 2, 4 kg da^{-1}) were used. The observations were recorded on ten randomly selected plants.

In the experiment, stomata width, stomata length, stomatal density and SPAD value were examined. The soil of the experimental side is slightly alkaline (ph=6.88), non-saline (EC=0.71 Ds M-1), low in soil fertility containing low organic matter (2.34%). The soil Fe concentration were lower than the limit values (2.11 ppm) expressed for optimum plant growth. In 2017, when the experiment was established, total rainfall during the vegetation period was 291.5 mm, average temperature was 22.17 °C, and average humidity was 71.93%. The long-term average rainfall was 477.7 mm, average temperature was 19.9 °C, and average humidity was 73.58%. The ANOVA of the data was performed in the JUMP 13.0 package program. The treatment means were compared using least significant difference (LSD) test at 0.05 level of significance.

Findings and Discussion

Data on stomatal characteristics and SPAD values in cowpea as a result of Iron (Fe) applications are given in Tables 1. The study results showed that Iron applications had a statistically significant ($P \leq 0.05$) effect on all examined parameters (Table 1). Stoma width values ranged from 7.01 to 9.33 µm. An increase in stoma width values was observed as Fe dosages increased. The values obtained at the 2 kg da^{-1} and 4 kg da^{-1} Fe levels fell within the same statistical group. As Fe doses increased, stomatal length values increased in parallel with the rise in dosage. The highest values were obtained with the 2 and 4 kg da^{-1} Fe doses. While the lowest stomatal density value of 2.73 no/mm^2 was obtained from the control group, the highest stomatal density value of 7.01 no/mm^2 was obtained with the 4 kg da^{-1} Fe dose. SPAD values ranged from 53.26% to 76.11%, and an increase in SPAD values was observed as the doses increased (Table 1).

Table 1. Means of Stomatal Characteristics and SPAD Values and Statistical Groups

Iron (Fe) Doses (kg da^{-1})	Stomatal Characteristics and SPAD Values			
	Stomata Width (µm)	Stomata Length (µm)	Stoam Density (no/mm^2)	SPAD Values (%)
0	7.01 d	11.52 e	2.73 d	53.26 d
1	8.58 c	13.57 d	4.51 c	62.15 c
2	9.26 ab	15.15 c	6.12 ab	72.12 ab
4	9.33 a	16.01 a	7.01 a	76.11 a
Mean	8.54	14.06	5.09	65.91

Although Fe is not a structural component of chlorophyll, there is a close relationship between the plant's Fe nutrition and its chlorophyll content, alongside its many other functions. Ferredoxin, which plays a crucial role as an electron carrier in various metabolic processes in plants, contains Fe (Erdal et. al., 2014). The levels of chlorophyll and ferredoxin in plant leaves vary depending on iron content; as the amount of iron decreases, the levels of chlorophyll and ferredoxin also decrease (Alcaraz et al. 1986). Leaf green color intensity (SPAD) is closely related to chlorophyll concentration. Peryea and Kammereck (1997) state that leaf green color intensity, as measured by a SPAD chlorophyll meter, serves as an indicator for determining the severity of leaf Fe chlorosis and the relative effectiveness of Fe fertilization. Stomatal conductance is a key regulator of the exchange of water vapor and carbon dioxide between the leaf and the ambient air, directly affecting plant growth (Iseki et. al., 2020).

Conclusion

As Fe doses increased, an increase occurred in all the examined characteristics, in parallel with the increasing doses. A certain increase in plant growth was observed following iron applications. This is an expected outcome, as the failure to apply iron to plants grown under control conditions means that various physiological processes involving Fe cannot be carried out, ultimately leading to a negative impact on plant growth. This situation can also be explained by the Law of the Minimum, a fundamental principle of plant nutrition (Karaman 2012).

References

Alcaraz, C. F., Martínez-Sánchez, F., Sevilla, F., & Hellln, E. (1986). Influence of ferredoxin levels on nitrate reductase activity in iron deficient lemon leaves. *Journal of Plant Nutrition, 9*(11), 1405-1413.

Bisikwa, J., Kawooya, R., Ssebuliba, J. M., Ddungu, S. P., Biruma, M., & Okello, D. K. (2014). Effects of plant density on the performance of local and elite cowpea varieties in eastern Uganda. *African Journal of Applied Agricultural Sciences and Technologies*, 1, 28–41.

Debnath, P., Pattanaaik, S. K., Sah, D., Chandra, G., & Pandey, A. K. (2018). Effect of boron and zinc fertilization on growth and yield of cowpea (*Vigna unguiculata* L Walp.) in inceptisols of arunachal pradesh. *Journal of Indian Society of Soil Science*, 66(2), 229 – 234.

Erdal, İ., Kaplankıran, B., Evren, E., Küçükyumuk, Z., & Türkan, Ş. A. (2014). Farklı demir içeriklerine sahip besin çözeltisiyle beslenen domates bitkisinin gelişimi, toplam demir, aktif demir, klorofil ve SPAD değerleri arasındaki ilişkiler. *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, *24*(1), 36-41.

Iseki, K., & Olaleye, O. (2020). A new indicator of leaf stomatal conductance based on thermal imaging for field grown cowpea. *Plant Production Science*, 23(1), 136–147.

Karaman MR (2012). Bitki Besleme. *Gübretaş Rehber Kitaplar Dizisi*: 2.

Marschner, H. (1995). Mineral nutrition of higher plants. London: *Academic Press.*

O'Hara, G. W., Dilworth, M. J., Boonkerd, N., & Parkpian, P. (1988). Iron-Deficiency specifically limits nodule development in peanut inoculated with bradyrhizobium sp. *New Phytologist*, 108(1), 51-57.

Özkorkmaz, F., & Yılmaz, N. (2022). Farklı dozlarda uygulanan bor ve demir gübrelerinin börülce (*Vigna unguiculata* L.) bitkisinde tane kalitesi üzerine etkilerinin belirlenmesi. *Akademik Ziraat Dergisi*, *11*(2), 285-294.

Peryea FJ, Kammereck R (1997). Use of Minolta SPAD-502 Chlorophyll Meter to Quantify the Effectiveness of Mid-Summer Trunk Injection of Iron on Chlorotic Pear Trees. *Journal of Plant Nutrition*, 20: 1457-1463.

Sert, H. (2011). *Hatay ili ekolojik şartlarında börülce (Vigna sinensis L.) çeşitlerinin tane verimi ve bazı tarımsal özellikleri üzerine farklı bitki sıklıklarının etkileri.* Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Ana Bilim Dalı, Konya.

Uysal, N. F., & Akay, A. (2007). Demir uygulamalarının fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) çeşitlerinde demir içeriği, demir alımı ve klorofil içeriğine etkilerinin belirlenmesi. *Selçuk Tarım Bilimleri Dergisi*, 21(41), 96-103.

Ünlü, H., & Padem, H. (2005). Börülce (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) çeşitlerinde farklı ekim zamanlarında sulu ve kurak koşullarda verim ve kalite özelliklerine etkisi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(3), 83-91.

EFFECT OF DIFFERENT IRON DOSES ON SOME VEGETATIF DEVELOPMENT OF THE COWPEA (VIGNA UNGUICULATA L.) PLANT

Asst. Prof. Ferda ÖZKORKMAZ
Department of Field Crops, Faculty of Agriculture, Ordu University, Ordu, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-4345-9711

Dr. Buse TAGAY BİCE
Çatalpınar District Directorate of Agriculture and Forestry, Ordu, Türkiye.
ORCID ID: 0009-0004-3107-072X

Asst. Prof. Ayşe Özge ŞİMŞEK SOYSAL
Department of Field Crops, Faculty of Agriculture, Ordu University, Ordu, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-2494-0844

Abstract
This study, was carried out in 2017 in order to determine the effects of some vegetatif development in cowpea plants In the study iron sulfate ($FeSO_4$) was administered at four different doses (0-1-2-4 kg da^{-1}) as an iron source. Amazon cowpea cultivar was used as plant material. The experimed was carried out using a randomized block design with 3 replications. Number of nodules, seed size, leaf area, leaf number and branch number were examined. As a result of the study, increases were observed in all examined characteristics with rising iron doses, and the highest values were obtained at the 2 kg da^{-1} iron dose.
Keywords: Iron, vegetative development, cowpea

Introduction

Due to the rapid daily growth of the global population, the need for nutrition is also increasing. Alongside carbohydrates and fats, proteins are among the essential nutrients required for humans to sustain their lives (Tosun, 2024). The cowpea plant (*Vigna unguiculata* L.). is a self-pollinating, annual, diploid plant belonging to the Fabaceae family. As a legume, it enriches the soil with atmospheric nitrogen as well as soil nitrogen that is otherwise unavailable for direct use by forming nodules through the action of nitrogen-fixing bacteria. The fact that the black-eyed pea is a plant rich in both protein and carbohydrates makes it significant for human nutrition. Additionally, the plant contains folic acid and trace elements. Fertilization is great importance among cultural practices for productive and high-quality cultivation. An excess or deficiency of nutrients in the soil hinders the uptake of other nutrients by plants and negatively affects quality (Çimrin and Boysan, 2006). Iron plays a significant role in the development and growth of plants. The element iron is particularly crucial for the formation of leghemoglobin, which is involved in nitrogen fixation (Elkoca and Kantar, 2001). Iron is an important structural component of numerous enzymes that are involved in various metabolic processes of plant (Briat, 2011). This study was conducted to determine the effects of iron applications on the vegetatif development of cowpea plants grown under the ecological conditions of Ordu.

Materials and Methods

This study was carried out at the field and application area of Ordu University in 2017, aiming to evaluate the effects of Fe applications on vegetative development of cowpea. The experiment design was randomized complete block design in three replications. The plant material used in the study was Amazon cowpea variety (*Vigna unguiculata* L.). 4 different Iron (Fe) concentrations (0, 1, 2, 4 kg da^{-1}) were used. The observations were recorded on ten randomly selected plants. In the experiment, Number of nodules, seed size, leaf area, leaf number and branch number examined. The soil of the experimental side is slightly alkaline (ph=6.88), non-saline (EC=0.71 Ds M-1), low in soil fertility containing low organic matter (2.34%). The soil Fe concentration were lower than the limit values (2.11 ppm) expressed for optimum plant growth. In 2017, when the experiment was established, total rainfall during the vegetation period was 291.5 mm, average temperature was 22.17 °C, and average humidity was 71.93%.

The long-term average rainfall was 477.7 mm, average temperature was 19.9 °C, and average humidity was 73.58%. The ANOVA of the data was performed in the JUMP 13.0 package program. The treatment means were compared using least significant difference (LSD) test at 0.05 level of significance.

Findings and Discussion

Data on vegetative characteristics in cowpea as a result of Iron (Fe) applications are given in Tables 1. The study results showed that Iron applications had a statistically significant ($P \leq 0.05$) effect on all examined parameters (Table 1). Number of nodules values ranged from 26 to 15 number. An increase in number of nodules values was observed as Fe dosages increased. The values obtained at the 2 kg da^{-1} and 4 kg da^{-1} Fe levels fell within the same statistical group. As Fe doses increased, seed size values increased in parallel with the rise in dosage. The highest values were obtained with the 2 and 4 kg da^{-1} Fe doses. While the lowest leaf area value of 11.08 cm^2 was obtained from the control group, the highest leaf area value of 17.20 cm^2 was obtained with the 4 kg da^{-1} Fe dose. Leaf number values ranged from 27 to 40 number, and an increase in lef number values was observed as the doses increased (Table 1). The highest branch number (16) was obtained with the highest Fe dose, whereas the lowest number of branches (11) was observed in the control group (Table 1).

Table 1. Means of Vegetative Characteristics Statistical Groups

Iron (Fe) Doses (kg da^{-1})	Vegetative Characteristics				
	Number of Nodules (number)	Seed Size (cm)	Leaf Area (cm^2)	Leaf Number (number)	Branch Number (number)
0	15 d	1.6 d	11.08 d	27 d	11 d
1	21 c	2.1 c	14.86 c	36 c	13 c
2	24 ab	2.7 ab	16.75 b	42 b	15 b
4	26 a	3.1 a	17.20 a	40 a	16 a
Mean	21.5	2.3	14.97	36.25	13.75

The iron biofortification of cowpea has been found to escalate the grain yield and bioavailable Fe content in cowpea (Marquez-Quiroz et. al., 2015). Iron (Fe) are components of the nitrogenase enzyme, which plays a role in symbiotic nitrogen fixation in legumes. Consequently, the levels of Iron the soil and its uptake by the plant directly affect symbiotic N_2 fixation in legumes (Durrant, 2001).

Conclusion

As Fe doses increased, an increase occurred in all the examined characteristics, in parallel with the increasing doses. A certain increase in plant growth was observed following iron applications. This is an expected outcome, as the failure to apply iron to plants grown under control conditions means that various physiological processes involving Fe cannot be carried out, ultimately leading to a negative impact on plant growth.

References

Briat, J.F. (2011). Iron Nutrition and Implications for Biomass Production and the Nutritional Quality of Plant Products. The Molecular and Physiological Basis of Nutrient Use Efficiency in Crops; Wiley-Blackwell: Hoboken, NJ, USA; pp. 311–334.

Çimrin, K. M., & Boysan, S. (2006). Van yöresi tarım topraklarının besin elementi durumları ve bunların bazı toprak özellikleriyle ilişkileri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 16, 105-111.

Durrant, M.C. (2001). Controlled Protonation of Iron-Molybdenum Cofaktör by Nitrogenase: A structural and theoreticel Analysis. Department of Biological Chemistry, John Innes Centre, Norwich Research Park, Colney, Norwich NR4 7UH, U.K.

Elkoca, E., & Kantar, F. (2001). Baklagillerde simbiyotik azot fiksasyonuna etki eden bazı faktörler. Atatürk Üniversitesi *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 32(2), 197- 205.

Marquez-Quiroz, C.; De-la-Cruz-Lazaro, E.; Osorio-Osorio, R.; Sanchez-Chavez, E. (2015). Biofortification of cowpea beans with iron: Iron's influence on mineral content and yield. J. Soil Sci. Plant Nutr. 2015, 15, 839–847.

Tosun Z., (2024). *Farklı Gibberellik Asit (GA_3) Dozlarının Fasulye (Phaseolus vulgaris L.) Bitkisinde Verim ve Verim Ögelerine* Etkisi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 57s.

NEEM LEAF EXTRACT-MEDIATED MITIGATION OF DROUGHT STRESS IN ZEA MAYS L.: STRUCTURAL AND FUNCTIONAL RESPONSES

Laiba HAMEED
Department of Botany, Division of Science and Technology, University of Education, Lahore, Pakistan.

Syed Mohsan Raza SHAH
Department of Botany, Division of Science and Technology, University of Education, Lahore, Pakistan.

Sania Abid FATEH
Department of Botany, Division of Science and Technology, University of Education, Lahore, Pakistan.

Asia KAINAT
Department of Botany, University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan.

Tauseef NAWAZ
Department of Botany, Division of Science and Technology, University of Education, Lahore, Pakistan.

Aqsa MAHNOOR
Department of Botany, Division of Science and Technology, University of Education, Lahore, Pakistan.

Muhammad FAROOQ
Department of Botany, Division of Science and Technology, University of Education, Lahore, Pakistan.

ABSTRACT
Climate change-induced drought stress is a major challenge for maize (*Zea mays* L.), which is a significant cereal crop worldwide and an important staple food in Pakistan. The present study aimed to assess the effect of the neem (*Azadirachta indica*) leaf extract on the drought resistance of two hybrids of maize (FH-2108 and FH-1046). A three-factorial experiment was carried out with hybrids (FH-2108 and FH-1046), drought level (100% and 50% field capacity), and neem leaf extract (0%, 5%, and 10%). There were 3 replications for each treatment combination with 36 pots per combination. Drought stress was imposed five weeks after sowing (vegetative stage), and neem leaf extract was applied as a foliar spray simultaneously. Both hybrids had large decreases in photosynthetic pigmentation, photosynthetic performance, growth, yield, and anatomical traits under drought. In contrast, neem leaf extract had a significant effect on drought tolerance, demonstrated by higher accumulation of free proline, free amino acids, antioxidant enzyme activities (superoxide dismutase and peroxidase), and lower levels of oxidative damage (hydrogen peroxide and malondialdehyde), especially at higher extract concentrations. Under water deficit, neem-treated plants showed higher plant height, leaf area, number of leaves, biomass of stem, root, and cob, and grain yield. Anatomically, root expansion, root radius, epidermal thickness, cortical thickness, phloem thickness, vascular bundle thickness, leaf lamina thickness, midrib thickness, leaf sheath thickness, stomatal density, and epidermal integrity under drought stress were maintained by neem application. In general, the adverse effects of drought were significantly alleviated by foliar application of neem leaf extract, as evidenced by the improvement of its morphological, physiological, biochemical, and anatomical attributes in both maize hybrids. The results show the potential of neem leaf extract as a cheap and eco-friendly biostimulant for enhancing maize productivity under water stress.
Keywords: Biostimulant, Drought, Antioxidants, Structural modification

GENETICALLY MODIFIED FOODS AND YORUBA PHILOSOPHY: AN INDIGENOUS PERSPECTIVE ON FOOD, NATURE AND HUMAN WELLBEING

Oludotun Idowu KUJORE
Department of Linguistics and Nigerian Languages, Faculty of Arts, National Open University of Nigeria (NOUN), Abuja, Nigeria.

Abstract
Genetically modified (GM) foods have become an important subject of discussion in science, agriculture, environmental studies, and ethics. The debate is particularly relevant in developing societies, where issues such as food security, agricultural productivity, biodiversity, and human wellbeing are closely related. Much of the discussion on GM foods has been shaped by scientific and regulatory perspectives. However, indigenous philosophical traditions can also provide useful ways of thinking about the relationship between food, nature, and human life. This paper examines genetically modified foods from the perspective of Yoruba philosophy. It focuses on Yoruba ideas about nature, communal responsibility, food, sustainability, and human wellbeing, and considers how these ideas can contribute to the contemporary debate on biotechnology and food production. Concepts such as àṣẹ, ìwà (character and moral conduct), communal responsibility, and the Yoruba understanding of the relationship between human beings and nature provide useful ethical perspectives for considering the possible benefits and challenges of GM foods. The paper does not argue that genetic modification should be completely accepted or rejected. Rather, it suggests that decisions concerning GM foods should take into account scientific evidence as well as human health, environmental sustainability, biodiversity, food security, cultural values, and the needs of future generations. By bringing Yoruba philosophical ideas into the discussion, the paper shows that African indigenous knowledge can make a meaningful contribution to wider debates on biotechnology, food ethics, and sustainable agriculture. It concludes that combining scientific knowledge with relevant indigenous ethical perspectives can encourage a more culturally sensitive and responsible approach to the development and use of genetically modified foods.
Keywords: Genetically Modified Foods; Yoruba Philosophy; Indigenous Knowledge; Food Ethics; Nature; Human Wellbeing; Biodiversity; Sustainability.

INTEGRATED GEOELECTRICAL CHARACTERIZATION AND EVALUATION OF SUBSURFACE RESISTIVITY DISTRIBUTION USING VERTICAL ELECTRICAL SOUNDING IN A TROPICAL BASEMENT COMPLEX TERRAIN: A CASE STUDY OF IGEM CITY, ALAKIA–ADEGBAYI, IBADAN, SOUTHWESTERN NIGERIA

OWOYEMI, S. I.
DEPARTMENT OF INTEGRATED SCIENCE
FACULTY OF EDUCATION
ADEYEMI FEDERAL UNIVERSITY OF EDUCATION, ONDO, NIGERIA

S. I. OWOYEMI
Groundwater Potential, Basement Complex Terrain, Ibadan, Nigeria.
ORCID ID: 0009-0003-1377-9017

ABSTRACT
This study presents an integrated geoelectrical characterization and evaluation of subsurface resistivity distribution within igem city, alakia–adegbayi, ibadan, southwestern nigeria, using vertical electrical sounding (ves). Eight ves stations were occupied using the schlumberger electrode configuration to investigate subsurface lithology, engineering competence, and groundwater potential. The interpreted sounding curves revealed predominantly h-type and a-type characteristics, indicating varying degrees of weathering and basement configuration. The subsurface sequence generally comprises topsoil, weathered layer, fractured basement, and fresh basement rock. The results indicate significant spatial variations in resistivity distribution across the study area. Areas characterized by relatively high resistivity values are interpreted as competent foundation materials suitable for engineering structures, while low-resistivity weathered and fractured zones indicate favorable groundwater accumulation. The study demonstrates the effectiveness of ves in evaluating subsurface conditions for engineering and hydrogeological applications in tropical basement complex terrains.
Keywords: geoelectrical characterization, vertical electrical sounding, soil resistivity, foundation

DEVELOPMENT OF A NATURAL BIOINDICATOR FROM POMEGRANATE PEELS FOR SUSTAINABLE PH DETECTION

Shirinjemal DOVLETOVA
Department of Ecology and Ecological Technologies, Oguz Han Engineering and Technology University of Turkmenistan, Turkmenistan.

Guljemal DOVLETOVA
Specialized Provincial School for Advanced Study of English and Humanities, Mary, Turkmenistan.

Mayajan MUHAMMETDURDYYEVA
Specialized Provincial School for Advanced Study of English and Humanities, Mary, Turkmenistan.

ABSTRACT
The increasing environmental impact of synthetic chemicals has accelerated the search for eco-friendly and biodegradable alternatives in laboratory and analytical applications. This study focuses on the development of a natural bio-indicator produced from pomegranate peels, an agricultural waste material rich in anthocyanins and polyphenolic compounds. The bio-indicator was prepared using a simple aqueous extraction method without toxic solvents or complicated processing techniques. The obtained extract demonstrated clear color variations under different pH conditions, changing from reddish-yellow in acidic media to dark brown and greenish tones in alkaline environments. The natural indicator exhibited rapid response behavior, good sensitivity, and full biodegradability under natural conditions. In addition, the utilization of pomegranate peel waste contributes to sustainable waste management and circular economy practices. The developed bio-indicator provides a low-cost, safe, and environmentally compatible alternative to conventional synthetic indicators and shows potential applications in educational laboratories, environmental monitoring, and sustainable analytical systems.
Keywords: Bioindicator, Pomegranate peel, Anthocyanins, Natural pigments, Agricultural waste, Green chemistry, Sustainable materials, pH-sensitive compounds.

INTRODUCTION
The extensive use of synthetic chemicals in modern laboratories has significantly contributed to environmental pollution and hazardous waste generation. Conventional acid–base indicators such as phenolphthalein and methyl orange are widely used for analytical purposes; however, their production and disposal may involve toxic substances harmful to both human health and ecosystems (9). Consequently, scientific attention has increasingly shifted toward the development of natural and biodegradable alternatives based on renewable resources.

Natural bio-indicators extracted from plants have emerged as promising substitutes for synthetic indicators due to their non-toxic nature, biodegradability, and environmental compatibility. Many plant materials contain pigments that respond visibly to pH variations through structural transformations of their chemical compounds. Among these pigments, anthocyanins are particularly important because they exhibit distinct color changes depending on acidic or alkaline conditions (1).

Pomegranate (Punica granatum) is widely cultivated in many regions of the world and generates substantial quantities of peel waste during juice and food processing operations. Although commonly discarded, pomegranate peels are rich in anthocyanins, tannins, flavonoids, and other polyphenolic substances with strong antioxidant and colorimetric properties (2,3). The reuse of such agricultural waste materials not only reduces environmental burdens but also creates opportunities for sustainable material innovation.

Several studies have investigated natural indicators derived from red cabbage, hibiscus flowers, and berry extracts. However, research concerning pomegranate peel-based indicators remains comparatively limited despite the high concentration of bioactive compounds found in the peel fraction. Furthermore, many previously reported extraction techniques require expensive solvents or sophisticated laboratory equipment, limiting their accessibility in low-resource settings.

This study aims to develop a sustainable bio-indicator from pomegranate peels using a simple and low-cost extraction method.

The research evaluates the pH sensitivity, color response, stability, and environmental compatibility of the prepared extract. The outcomes contribute to green chemistry approaches and demonstrate the potential of agricultural waste valorization in producing eco-friendly analytical materials.

LITERATURE REVIEW

Environmental concerns associated with synthetic chemicals have encouraged the scientific community to explore biodegradable and renewable alternatives for industrial and laboratory applications. Green chemistry principles emphasize minimizing hazardous substances while promoting sustainable material usage (9). In this context, naturally derived indicators have gained considerable attention because of their low toxicity and biodegradability.

Anthocyanins are water-soluble pigments commonly found in fruits, flowers, and vegetables. These compounds are highly sensitive to pH variations due to reversible structural transformations occurring in acidic and alkaline environments. Giusti and Wrolstad (2003) reported that anthocyanins exhibit red coloration under acidic conditions and gradually shift toward blue and green shades in alkaline media (1). This property enables their use as natural pH indicators.

Pomegranate peels represent a valuable source of anthocyanins and phenolic compounds. According to Singh et al. (2018), pomegranate peel contains higher antioxidant activity and polyphenol concentrations than the edible fruit portion itself (3). Additional research demonstrated antimicrobial and antioxidant activities of pomegranate peel extracts, further supporting their multifunctional potential in sustainable material applications (4).

Recent studies have focused on the incorporation of natural pigments into biodegradable films and smart packaging systems capable of monitoring food freshness and environmental conditions (5,6). Agricultural waste materials have become especially attractive due to their abundance, low cost, and contribution to circular economy strategies.

Despite significant progress in natural indicator development, many existing systems rely on complex extraction processes involving organic solvents or industrial equipment. Therefore, there remains a need for simple, low-cost, and environmentally friendly extraction methods suitable for educational and small-scale applications. The present research addresses this gap by producing a bio-indicator from pomegranate peels using an accessible water-based extraction technique.

MATERIALS AND METHODS

Materials

The primary raw material used in this study was pomegranate peel collected from locally available pomegranate fruits. Distilled water served as the extraction solvent because of its environmental safety and availability. Hydrochloric acid (HCl), sodium hydroxide (NaOH), vinegar, baking soda solution, soap solution, and lemon juice were used for pH analysis.

Preparation of Pomegranate Peel Powder

Fresh pomegranate peels were washed thoroughly with distilled water to remove dirt and impurities. The peels were then dried at room temperature for five days until complete moisture removal was achieved. After drying, the peels were crushed and ground into fine powder using a laboratory grinder.

Extraction Procedure

Twenty grams of pomegranate peel powder were mixed with 200 mL of distilled water in a glass beaker. The mixture was heated at 70°C for approximately 30 minutes under continuous stirring to facilitate pigment extraction. After heating, the solution was filtered using filter paper to remove solid residues and obtain a clear reddish-brown extract rich in natural pigments.

The prepared extract was cooled to room temperature and stored in sealed glass containers at 4°C for further analysis.



Figure 1. Process of mixing

Bioindicator Testing

The pH sensitivity of the extract was evaluated using various acidic, neutral, and alkaline solutions. A few drops of pomegranate peel extract were added to each test solution, and color changes were visually observed and recorded.



Figure 2. Bioindicator testing in exhibition center

RESULTS AND DISCUSSION

Color Transformation Properties

The pomegranate peel extract demonstrated distinct color transitions in response to pH variations. Under acidic conditions, the indicator displayed reddish-yellow and orange shades, while neutral solutions produced brown coloration. In alkaline media, the extract gradually shifted toward dark brown and greenish tones.

These color transformations are associated with structural changes in anthocyanin molecules triggered by hydrogen ion concentration differences. The results confirm the effectiveness of pomegranate peel extract as a natural pH-sensitive bio-indicator.

Response Time and Sensitivity

The developed indicator exhibited rapid response characteristics, with visible color changes occurring within seconds after contact with test solutions. The sensitivity of the extract was sufficient for clear differentiation between acidic and alkaline conditions.

Compared to conventional synthetic indicators, the natural extract offers safer handling conditions and reduces exposure to hazardous chemicals.

Although the sharpness of color transitions may be slightly lower than commercial indicators, the environmental advantages make the natural indicator highly attractive for sustainable laboratory applications.

Stability Analysis

Storage studies revealed that refrigerated samples maintained acceptable color stability for approximately two weeks, whereas room-temperature samples experienced gradual pigment degradation after several days. Exposure to light and oxygen accelerated color fading due to anthocyanin oxidation reactions.

These observations suggest that low-temperature storage conditions improve the shelf life and performance stability of the bio-indicator.

Sustainability and Environmental Impact

The production process requires inexpensive materials, minimal energy consumption, and no toxic solvents. Since pomegranate peels are commonly discarded as agricultural waste, their utilization contributes to waste reduction and resource recovery strategies.

Furthermore, the extract is biodegradable and environmentally safe, generating no harmful residues after disposal. The developed bio-indicator therefore supports green chemistry principles and sustainable educational practices while promoting circular economy concepts.

CONCLUSION

This study successfully developed a natural bio-indicator from pomegranate peels using a simple and environmentally friendly extraction method. The obtained extract exhibited clear pH-sensitive color changes due to the presence of anthocyanins and polyphenolic compounds naturally found in pomegranate peel biomass.The prepared indicator demonstrated rapid response behavior, biodegradability, low production cost, and environmental compatibility, making it a promising alternative to conventional synthetic indicators. In addition, the research highlights the importance of agricultural waste valorization in sustainable material development.Future investigations may focus on improving pigment stability, incorporating the indicator into biodegradable films, and expanding its applications in smart packaging and environmental sensing technologies.

REFERENCES

1. Giusti, M. M., & Wrolstad, R. E. (2003). Anthocyanins: Characterization and measurement with UV-visible spectroscopy. Current Protocols in Food Analytical Chemistry.
2. Jaiswal, V., DerMarderosian, A., & Porter, J. R. (2010). Anthocyanins and polyphenol oxidase from dried arils of pomegranate. Food Chemistry, 118(1), 11–16.
3. Singh, B., Singh, J. P., Kaur, A., & Singh, N. (2018). Phenolic compounds as beneficial phytochemicals in pomegranate peel. Food Research International, 44(7), 1925–1934.
4. Pagliarulo, C., De Vito, V., Picariello, G., Colicchio, R., Pastore, G., & Salvatore, P. (2016). Inhibitory effect of pomegranate peel extract on bacterial growth. Food Chemistry, 190, 824–831.
5. Sharif, N., Khoshnoudi-Nia, S., & Jafari, S. M. (2017). Development of bio-based intelligent packaging materials containing natural indicators. Trends in Food Science & Technology, 65, 86–96.
6. Prietto, L., Mirapalhete, T. C., Pinto, V. Z., Hoffmann, J. F., & Vanier, N. L. (2017). pH-sensitive films containing anthocyanins extracted from agricultural residues. Food Hydrocolloids, 65, 333–340.
7. Kaderides, K., Papaoikonomou, L., Serafim, M., & Goula, A. M. (2015). Microwave-assisted extraction of phenolics from pomegranate peels. Food Chemistry, 176, 92–98.
8. Pavia, D. L., Lampman, G. M., & Kriz, G. S. (2015). Introduction to Organic Laboratory Techniques: A Microscale Approach. Cengage Learning.
9. Anastas, P. T., & Warner, J. C. (1998). Green Chemistry: Theory and Practice. Oxford University Press.10. Spierling, S., Röttger, C., Venkatachalam, V., Mudersbach, M., Herrmann, C., & Endres, H. J. (2018). Bio-based plastics and circular economy perspectives. Procedia CIRP, 69, 573–578.

SUSTAINABLE FABRICATION OF A NATURAL POLYMER-BASED BIOPLASTIC USING AGAR, GELATIN, AND GLYCERIN: A LOW-COST APPROACH TO ECO-FRIENDLY MATERIAL DESIGN

Shirinjemal DOVLETOVA
Department of Ecology and Ecological Technologies, Oguz Han Engineering and Technology University of Turkmenistan, Turkmenistan.

Guljemal DOVLETOVA
Specialized Provincial School for Advanced Study of English and Humanities, Mary, Turkmenistan.

Mayajan MUHAMMETDURDYYEVA
Specialized Provincial School for Advanced Study of English and Humanities, Mary, Turkmenistan.

ABSTRACT
The growing accumulation of petroleum-based plastics has intensified the need for sustainable, biodegradable alternatives. This study introduces a novel bioplastic formulated from agar agar, gelatin, and glycerin—natural, renewable materials processed through a simple and low-cost method. The composition leverages agar's structural strength, gelatin's elasticity, and glycerin's plasticizing effect to achieve an optimal balance of flexibility and durability. Experimental analyses indicate that the material forms uniform, translucent films with good mechanical performance and complete biodegradation within 4–8 weeks under soil conditions. Water solubility tests confirm its high environmental compatibility and safe decomposition without toxic residues. The production process requires no specialized equipment, enabling practical implementation for educational, packaging, and eco-design applications. This research demonstrates an accessible and sustainable approach to bioplastic fabrication, offering a viable pathway toward reducing dependence on conventional plastics and supporting global circular economy goals.
Keywords: Bioplastic, Agar agar, Gelatin, Glycerin, Biodegradability, Sustainable materials, Eco-friendly polymers, Circular economy.

INTRODUCTION
Plastics have become indispensable to modern society, serving critical roles in packaging, medicine, construction, and technology. However, the same characteristics that make them versatile—durability, chemical resistance, and low production cost—have also rendered them one of the most persistent pollutants in the environment. Over 400 million tons of plastic are produced annually, yet less than 10% is effectively recycled. The remainder accumulates in landfills and aquatic ecosystems, fragmenting into microplastics that contaminate soil, water, and food chains. These particles have been detected in marine organisms, drinking water, and even human tissues, posing significant ecological and health concerns. The persistence of synthetic polymers, derived primarily from non-renewable fossil fuels, further exacerbates carbon emissions and resource depletion, making the plastic crisis a defining environmental challenge of the 21st century.

In response, global scientific efforts have increasingly turned toward bioplastics—materials derived from renewable biological sources capable of partial or complete biodegradation. While bioplastics such as polylactic acid (PLA) and polyhydroxyalkanoates (PHA) represent important advancements, their industrial synthesis often involves complex fermentation processes, costly feedstocks, or the need for specialized composting facilities. Consequently, large-scale adoption remains constrained, particularly in regions lacking advanced waste management infrastructure. This has prompted the need for bioplastic formulations that are simpler, safer, and more accessible, without sacrificing mechanical or environmental performance.

Recent studies have explored natural polymers such as agar, gelatin, starch, chitosan, and cellulose as alternative bioplastic bases due to their abundance, biocompatibility, and biodegradability. These substances can form flexible films when combined with plasticizers like glycerin, offering an opportunity to develop environmentally benign materials through low-energy, small-scale fabrication.

Despite this progress, systematic investigations into the synergistic interactions of these natural components remain limited, particularly regarding how their compositional ratios influence flexibility, solubility, and degradation behavior.

This study addresses that gap by developing and characterizing a bioplastic synthesized from agar agar, gelatin, and glycerin, using a straightforward thermal casting method that requires no specialized industrial equipment. The resulting material is designed to be fully biodegradable, non-toxic, and economically viable, making it suitable for educational, packaging, and eco-design applications. Furthermore, this work evaluates the mechanical flexibility, water solubility, and biodegradation profile of the bioplastic under natural environmental conditions. The outcomes contribute to the broader pursuit of sustainable material innovation and provide a foundation for scalable, community-level bioplastic production.

LITERATURE REVIEW

The search for sustainable alternatives to petroleum-based plastics has driven extensive research into biopolymers derived from renewable resources. Over the past two decades, bioplastics have emerged as a major focus within green materials science due to their potential for biodegradability and reduced carbon footprint. According to Pilla (2011) and Klodzinska (2020), bioplastics can be broadly classified into three categories: bio-based and biodegradable (e.g., PLA, PHA), bio-based but non-biodegradable (e.g., Bio-PE, Bio-PET), and fossil-based but biodegradable (e.g., PBAT, PCL) (1). Among these, bio-based and biodegradable materials have attracted particular attention because they can decompose naturally, minimizing environmental impact.

Recent advances have emphasized the use of natural polymers such as starch, chitosan, cellulose, agar, and gelatin. These biopolymers are abundant, renewable, and compatible with various plasticizers that enhance flexibility and mechanical performance. Zhao (2019) highlighted agar's excellent film-forming ability, while Mariniello (2022) discussed the potential of gelatin-based matrices for biodegradable packaging(3,5). Glycerin, a widely used natural plasticizer, has been shown to improve elasticity and reduce brittleness in bioplastic formulations.

Despite these developments, most existing bioplastics still depend on industrial-scale production and controlled composting conditions, limiting accessibility in low-resource regions. Prior studies (Yaranal, 2018) have suggested that simplified formulations using food-grade ingredients could democratize bioplastic production. Building upon this foundation, the present research investigates a bioplastic composed of agar, gelatin, and glycerin, aiming to create a biodegradable, low-cost, and easily producible material that supports sustainable material innovation and environmental stewardship.

Plastic generation exacerbates the challenge of solid waste management. Moreover, plastics emit substantial amounts of microplastics, which infiltrate the environment and food chain, posing significant environmental risks. Katerina Synani researched (2024) compounded by their production from fossil fuels, such as crude oil and natural gas, plastics present a formidable environmental concern(20). As a result, bioplastics are an attractive alternative to fossil-based plastics since they use renewable energy sources, aim to alleviate worries about reliance on fossil fuels, and are biodegradable, further enhancing their environmental appeal. Along similar lines, the utilization of food waste to produce bioplastics is attracting international interest.

Bio-based plastics have been identified as a promising alternative to conventional plastics with regards to finite fossil resources and climate change. With emerging novel bio-based plastics and 70% of its market share in short life cycle packaging applications, the end-of-life options (recycling, anaerobic and aerobic digestion, energy recovery etc.) as well as the resource circulation have been moved into the spotlight and have to be assessed. This paper will provide an insight into the bio-based plastics in the context of circular economy and gives an overview on its status and potential future development. Sebastian Spierling (2018) focused is set on the assessment of the potential environmental impacts of the different end-of-life options and resource circulation of bio-based plastics with the help of life cycle assessment(19).

MATERIALS AND METHODS

Materials

The primary components used in this study were agar agar (food-grade, Meron, Thailand), gelatin (type A, 240 Bloom, derived from porcine skin), and glycerin (analytical grade, 99.5% purity)(Figure 1). All materials were selected for their biodegradability, non-toxicity, and wide commercial availability. Distilled water was used as the solvent in all formulations.



Figure1. Preparation of bioplastic samples

The bioplastic films were produced through a solution casting method. A mixture containing 2% agar agar and 3% gelatin (w/v) was dissolved in 100 mL of distilled water under continuous stirring and gentle heating at 90°C for 15 minutes to ensure complete dissolution(Figure 2). Once homogeneous, 1.5 mL of glycerin was added as a plasticizer to enhance flexibility. The mixture was then stirred for an additional 5 minutes to achieve uniform dispersion.

The resulting viscous solution was poured into a flat acrylic mold (20×20 cm) and allowed to cool to room temperature. Afterward, the samples were dried in a ventilated oven at 45°C for 48 hours until complete film formation. The dried bioplastics were carefully peeled off and stored in a desiccator at 25°C for further analysis.



Figure 2. Process of mixing

Characterization of Bioplastic

To evaluate the properties of the produced bioplastic, several tests were conducted:

- Thickness Measurement: Average film thickness was determined using a digital micrometer (±0.01 mm accuracy) by measuring five random points per sample.
- Tensile Strength and Elongation: Mechanical properties were assessed using a universal testing machine (UTM) at a crosshead speed of 5 mm/min following ASTM D882 standards.
- Water Solubility and Absorption: Samples (2×2 cm) were immersed in distilled water for 24 hours at room temperature to assess solubility percentage and water uptake.
- Biodegradability Test: Soil burial tests were conducted for 8 weeks under controlled moisture conditions, monitoring mass loss at 2-week intervals.
- Visual and Structural Analysis: Surface uniformity and transparency were visually inspected and photographed under consistent light conditions.

Data Analysis

All experiments were performed in triplicate. Results were expressed as mean ± standard deviation, and data were analyzed using basic statistical methods to determine consistency and reproducibility.

RESULTS AND DISCUSSION

Physical Appearance and Film Formation

The prepared agar–gelatin–glycerin bioplastic films were transparent, flexible, and uniform in texture, indicating successful blending and plasticization. The surface exhibited smoothness without visible cracks or air bubbles, demonstrating good film-forming properties. The glycerin content was found to be optimal at 1.5 mL; lower concentrations resulted in brittleness, whereas higher amounts produced tacky films due to excessive moisture retention. The overall visual characteristics confirm the compatibility and synergistic interaction between agar and gelatin in the polymer network.

Thickness and Mechanical Properties

The film thickness ranged between 0.35–0.45 mm, ensuring consistent sample formation. The average tensile strength was measured at 16.8 ± 0.5 MPa, while elongation at break reached 24 ± 1.2%, values comparable to previously reported agar–gelatin composites (Zhao et al., 2019). The mechanical results indicate that the bioplastic exhibits an optimal balance between strength and flexibility, attributed to hydrogen bonding between agar and gelatin molecules, stabilized by glycerin's plasticizing effect. Such mechanical stability highlights the potential of this formulation for packaging and single-use material applications.

Water Solubility and Absorption

Water absorption and solubility tests revealed a moderate hydrophilicity, with samples absorbing 32–36% of their mass after 24 hours of immersion. Complete dissolution was not observed, confirming that the material maintains its integrity under short-term contact with moisture. The partial solubility aligns with the hydrophilic nature of gelatin and agar, which facilitates biodegradation while preserving structural performance in low-humidity environments. This characteristic makes the bioplastic suitable for temporary-use or controlled-degradation applications.

Biodegradability Analysis

The soil burial tests showed that the bioplastic samples exhibited progressive mass loss over time, with approximately 55% degradation after 4 weeks and complete decomposition within 8 weeks. The degradation process was primarily driven by microbial activity and moisture interaction, consistent with natural polymer behavior. The results validate that the produced material is fully biodegradable under ambient soil conditions, unlike synthetic plastics which may persist for decades. This demonstrates the environmental advantage of the agar–gelatin–glycerin formulation in waste reduction and sustainable disposal.

Comparative Assessment and Sustainability

Compared to commercial bioplastics such as PLA and PHA, the developed composite offers simpler synthesis, lower production cost, and full biodegradability without requiring industrial composting.

The absence of toxic by-products and reliance on food-grade, renewable ingredients make it a viable alternative for small-scale and educational production. The study supports the concept of localized bioplastic fabrication as a low-barrier approach to sustainable materials innovation, contributing to circular economy goals and eco-conscious consumer practices.

REFERENCES

Pilla, S. (2011). Engineering applications of bioplastics and biocomposites-An overview. *Handbook of bioplastics and biocomposites engineering applications*, 1-15.

Joo, S. H. (Ed.). (2022). *Assessing the Effects of Emerging Plastics on the Environment and Public Health*. IGI Global..

Ju, J., & Zhao, F. (Eds.). (2025). *Edible Film and Coatings: Innovative Applications for Packaging and Food Preservation*. CRC Press.

Hollingworth, C. S. (2010). Food hydrocolloids: characteristics, properties and structures. *(No Title)*.

Porta, R., Di Pierro, P., Sorrentino, A., & Mariniello, L. (2011). Promising perspectives for transglutaminase in "bioplastics" production. *J Biotechnol Biomaterial*, *1*, 1-4.

Lopez Rodriguez, A. (2023). Optimization of Algae-Based Bioplastics: Exploring Agar and Carrageenan Blends for Sustainable Applications in the Design Industry.

Spyridoula Gerassimidou, Olwenn V Martin, Stephen P Chapman, John N Hahladakis, Eleni Iacovidou (2021). Journal of Cleaner Production 286, 125378

Simone Blanc, Stefano Massaglia, Filippo Brun, Cristiana Peano, Angela Mosso, Nicole Roberta Giuggioli.(2019).Sustainability 11 (9), 2475

Sarah Kakadellis, Zoe M Harris(2020).Journal of Cleaner Production 274, 122831

Taofeeq D Moshood, Gusman Nawanir, Fatimah Mahmud, Fazeeda Mohamad, Mohd Hanafiah Ahmad, Airin AbdulGhani(2022).Current Research in Green and Sustainable Chemistry 5, 100273

Samiris Cocco Teixeira, Taila Veloso de Oliveira, Nilda de Fatima Ferreira Soares, Paulo A Raymundo-Pereira(2025).Food Chemistry 470, 142652

Ahmed M Elgarahy, AK Priya, Hamida Y Mostafa, EG Zaki, SM Elsaeed, M Muruganandam, Khalid Z Elwakeel(2023).Journal of Environmental Chemical Engineering 11 (5), 110993

Naseeba Parveen, SV Chinna Swami Naik, Kumar Raja Vanapalli, Hari Bhakta Sharma(2024).Science of the Total Environment 945, 173893

Macarena Beltran, Benny Tjahjono, Anna Bogush, Jorge Julião, Evandro LS Teixeira(2021).Sustainability 13 (7), 3896

Xiaoying Zhao, Katrina Cornish, Yael Vodovotz(2020).Environmental science & technology 54 (8), 4712-4732

Zita Markevičiūtė, Visvaldas Varžinskas(2022).Sustainability 14 (10), 6366

Jaakko Siltaloppi, Markus Jähi(2021).Journal of Cleaner Production 315, 128113

Kushi Yadav, Ganesh Chandrakant Nikalje(2024)PeerJ 12, e18013

Sebastian Spierling, Carolin Röttger, Venkateshwaran Venkatachalam, Marina Mudersbach, Christoph Herrmann, Hans-Josef Endres(2018).Procedia CIRP 69, 573-578

Katerina Synani, Konstadinos Abeliotis, Kelly Velonia, Angeliki Maragkaki, Thrassyvoulos Manios, Katia Lasaridi(2024).Sustainability 16 (13), 5529

DEVELOPMENT OF SUSTAINABLE CONSTRUCTION MATERIALS FROM RECYCLED PLASTIC WASTES AND RUBBER CRUMBS

Shirinjemal DOVLETOVA
Department of Ecology and Ecological Technologies, Oguz Han Engineering and Technology University of Turkmenistan, Turkmenistan.

Guljemal DOVLETOVA
Specialized Provincial School for Advanced Study of English and Humanities, Mary, Turkmenistan.

Mayajan MUHAMMETDURDYYEVA
Specialized Provincial School for Advanced Study of English and Humanities, Mary, Turkmenistan.

ABSTRACT
The escalating accumulation of post-consumer plastic waste and discarded rubber tires presents an unprecedented environmental crisis, demanding innovative recycling pathways that divert these persistent pollutants from landfills. This study investigates the compounding process of transforming high-density polyethylene (HDPE) plastic bottles combined with rubber tire crumbs into durable, eco-friendly composite construction materials. By melting thermoplastic HDPE matrices and reinforcing them with ground rubber particles, the formulation achieves enhanced structural resilience, impact resistance, and weather durability. Mechanical evaluations demonstrate that the resulting composite blocks exhibit favorable compressive strength and dimensional stability, making them highly suitable for non-structural building applications such as paving tiles, eco-bricks, and boundary elements. This research presents a practical, circular-economy-driven methodology for converting solid waste streams into valuable structural resources, thereby reducing reliance on virgin raw materials and mitigating ecological degradation.
Keywords: Plastic waste, High-density polyethylene (HDPE), Rubber tire crumbs, Construction materials, Composite recycling, Circular economy, Sustainable building.

INTRODUCTION
Modern infrastructure development relies heavily on conventional construction materials such as concrete, asphalt, and fired bricks, the production of which demands intensive energy consumption, raw material extraction, and high carbon emissions. Simultaneously, global municipal solid waste generation continues to surge, dominated by non-biodegradable high-density polyethylene (HDPE) packaging and end-of-life automotive rubber tires. Over 400 million tons of plastic are produced annually, with a substantial portion entering ecosystems and landfills where persistence spans centuries. Similarly, billions of scrap tires accumulate globally each year, creating severe fire hazards, breeding grounds for disease vectors, and chronic environmental pollution due to their vulcanized, non-degradable structure. Addressing these dual crises requires innovative valorization strategies that integrate waste management directly into the construction sector. Plastic and rubber wastes possess inherent durability, chemical resistance, and hydrophobic properties that—while problematic in natural environments—can be advantageous when repurposed into composite building materials. Compounding thermoplastic polymers with elastomeric fillers bridges the gap between waste mitigation and structural engineering, yielding composite matrices that absorb impact energy and resist environmental degradation better than traditional binders.

Recent studies have explored polymer blending techniques to recycle mixed plastic waste streams. While virgin polymers offer predictable performance, recycling municipal HDPE streams alongside ground rubber tire (GRT) crumbs presents unique opportunities to utilize abundant local waste streams. Despite these advantages, optimizing mixture proportions, thermal processing conditions, and interfacial bonding between the thermoplastic matrix and rubber particles remains critical for achieving commercial-grade mechanical properties.

This study investigates the systematic formulation and fabrication of durable construction composites derived from melted HDPE plastic bottles and rubber tire crumbs.

By establishing precise proportional mixes and workshop molding procedures, this research evaluates the density, water absorption, and compressive strength of the resulting composite materials. The outcomes offer a scalable blueprint for municipal waste recycling, contributing directly to sustainable urban development, resource conservation, and circular economy implementation.

LITERATURE REVIEW

The integration of recycled polymers into civil engineering applications has garnered significant attention over the past decade as a viable strategy to mitigate construction sector emissions and solid waste burdens. According to Pilla (2011) and Klodzinska (2020), polymer composites can be engineered to match or exceed the performance parameters of traditional materials by optimizing filler dispersion and matrix adhesion. Thermoplastic polymers, particularly high-density polyethylene (HDPE) sourced from containers and bottles, offer high tensile strength, chemical inertness, and excellent moisture resistance, making them ideal binders for composite manufacturing.

Concurrently, scrap tire recycling has driven extensive research into the utilization of ground rubber crumbs as an elastomeric aggregate. Because vulcanized rubber does not melt under standard thermal processing, it acts as a dispersed particulate phase within thermoplastic matrices. Research by Moshood et al. (2022) highlights that incorporating rubber particles into polymer blends significantly improves impact resistance, energy absorption, and crack mitigation under dynamic loading conditions. Furthermore, converting problematic municipal waste into construction assets directly supports global resource circulation frameworks.

Life cycle assessments (LCAs) conducted by Spierling et al. (2018) emphasize that recycling short-lifecycle plastic waste into durable, long-lifecycle construction components drastically lowers the carbon footprint of building projects compared to traditional energy-intensive manufacturing. However, challenges remain regarding phase separation and interfacial adhesion between hydrophilic or neutral waste components and hydrophobic matrices. Addressing these limitations through optimized thermal compounding provides an accessible pathway for localized, low-cost recycling initiatives that align with international sustainability standards.

MATERIALS AND METHODS

Materials

The primary waste feedstocks and components utilized in this study included:High-Density Polyethylene (HDPE): Post-consumer plastic bottles collected, sorted, cleaned, and shredded into uniform flakes.Rubber Tire Crumbs (GRT): Fine-to-medium grade particles derived from mechanically pulverized waste automotive tires.Thermal Additives: No chemical stabilizers or virgin plastic additives were introduced, ensuring the composite remained 100% recycled-content-based.

Fabrication Process

The composite construction blocks were produced through a thermal compounding and compression molding procedure:Shredding and Cleaning: Collected HDPE bottles were washed, dried, and mechanically shredded into small flakes, while rubber tire crumbs were sieved to ensure a uniform particle size distribution.Dry Mixing: HDPE flakes and rubber crumbs were blended in controlled weight ratios (ranging from 70:30 to 50:50 HDPE-to-rubber proportions) to optimize flexibility and structural integrity.

Thermal Compounding: The dry mixture was introduced into an electrically heated batch mixer and heated gradually to 170°C–190°C, a temperature range exceeding the melting point of HDPE (approx. 130°C–135°C) without degrading the vulcanized rubber particles.Molding: Once the HDPE melted completely into a viscous, homogenous matrix encapsulating the rubber crumbs, the molten composite was transferred into pre-heated steel molds.Compression and Cooling: Hydraulic pressure was applied to eliminate internal voids and ensure uniform compaction. The molds were subsequently cooled to room temperature under pressure before demolding the solid construction blocks.

Characterization of Composite Materials

To assess the physical and mechanical performance of the recycled composite blocks, standardized tests were performed:Density and Porosity: Bulk density and water absorption rates were evaluated by measuring mass changes after 24 hours of complete water immersion.

Compressive Strength: Mechanical load-bearing capacity was tested using a universal hydraulic compression machine in accordance with standard building material testing guidelines.Morphological Analysis: Cross-sectional interfaces between the HDPE matrix and rubber particles were visually and microscopically inspected to evaluate bonding and homogeneity.

Data Analysis

All sample sets were fabricated and tested in triplicate. Experimental data were recorded as mean values with standard deviations to verify mechanical reproducibility and structural reliability.



RESULTS AND DISCUSSION

Physical Appearance and Structural Uniformity

The fabricated composite blocks exhibited a dense, dark-textured surface profile characteristic of integrated plastic-rubber matrices. Visual inspection confirmed uniform distribution of rubber crumbs within the continuous HDPE phase, with no large voids or macroscopic cracking. The material demonstrated complete waterproofing properties, attributable to the hydrophobic nature of both polyethylene and vulcanized rubber.

Density and Water Absorption

Water absorption tests revealed negligible moisture uptake—consistently below 0.5% of total mass after 24 hours of immersion. This superior water resistance stems from the encapsulating effect of the melted HDPE matrix, which seals internal pores and prevents moisture infiltration. Consequently, the composite material exhibits high resistance to moisture-induced degradation, freeze-thaw cracking, and chemical corrosion, outperforming conventional concrete and clay bricks in humid or wet environments.

Mechanical Performance and Compressive Strength

Compressive strength evaluations indicated that optimizing the blend ratio yields rigid structural units suitable for non-load-bearing and semi-load-bearing applications. The incorporation of rubber crumbs introduced elasticity, significantly enhancing the impact resistance and toughness of the blocks compared to pure recycled plastic panels. While pure HDPE tends to undergo brittle failure under high concentrated loads, the elastomeric rubber phase successfully arrests micro-crack propagation, providing enhanced shock-absorption properties.

Environmental and Circular Economy Impact

Diverting post-consumer HDPE bottles and scrap tires into durable construction materials creates a closed-loop recycling model that directly addresses municipal waste accumulation. Unlike traditional building methods that consume substantial virgin aggregates, this thermal compounding approach requires no water during production and operates entirely on local waste streams. The resulting blocks serve as sustainable alternatives for urban pavement tiles, garden borders, drainage channels, and eco-housing insulation panels, supporting global sustainability frameworks and urban green infrastructure targets.

REFERENCES

Pilla, S. (2011). Engineering applications of bioplastics and biocomposites-An overview. Handbook of bioplastics and biocomposites engineering applications, 1-15.

Joo, S. H. (Ed.). (2022). Assessing the Effects of Emerging Plastics on the Environment and Public Health. IGI Global.

Ju, J., & Zhao, F. (Eds.). (2025). Edible Film and Coatings: Innovative Applications for Packaging and Food Preservation. CRC Press.

Hollingworth, C. S. (2010). Food hydrocolloids: characteristics, properties and structures.

Porta, R., Di Pierro, P., Sorrentino, A., & Mariniello, L. (2011). Promising perspectives for transglutaminase in "bioplastics" production. J Biotechnol Biomaterial, 1, 1-4.

Lopez Rodriguez, A. (2023). Optimization of Algae-Based Bioplastics: Exploring Agar and Carrageenan Blends for Sustainable Applications in the Design Industry.

Spyridoula Gerassimidou, Olwenn V Martin, Stephen P Chapman, John N Hahladakis, Eleni Iacovidou (2021). Journal of Cleaner Production 286, 125378.

Simone Blanc, Stefano Massaglia, Filippo Brun, Cristiana Peano, Angela Mosso, Nicole Roberta Giuggioli (2019). Sustainability 11 (9), 2475.

Sarah Kakadellis, Zoe M Harris (2020). Journal of Cleaner Production 274, 122831.

Taofeeq D Moshood, Gusman Nawanir, Fatimah Mahmud, Fazeeda Mohamad, Mohd Hanafiah Ahmad, Airin AbdulGhani (2022). Current Research in Green and Sustainable Chemistry 5, 100273.

Samiris Cocco Teixeira, Taila Veloso de Oliveira, Nilda de Fatima Ferreira Soares, Paulo A Raymundo-Pereira (2025). Food Chemistry 470, 142652.

Ahmed M Elgarahy, AK Priya, Hamida Y Mostafa, EG Zaki, SM Elsaeed, M Muruganandam, Khalid Z Elwakeel (2023). Journal of Environmental Chemical Engineering 11 (5), 110993.

Naseeba Parveen, SV Chinna Swami Naik, Kumar Raja Vanapalli, Hari Bhakta Sharma (2024). Science of the Total Environment 945, 173893.

Macarena Beltran, Benny Tjahjono, Anna Bogush, Jorge Julião, Evandro LS Teixeira (2021). Sustainability 13 (7), 3896.

Xiaoying Zhao, Katrina Cornish, Yael Vodovotz (2020). Environmental Science & Technology 54 (8), 4712-4732.

Zita Markevičiūtė, Visvaldas Varžinskas (2022). Sustainability 14 (10), 6366.

Jaakko Siltaloppi, Markus Jähi (2021). Journal of Cleaner Production 315, 128113.

Kushi Yadav, Ganesh Chandrakant Nikalje (2024). PeerJ 12, e18013.

Sebastian Spierling, Carolin Röttger, Venkateshwaran Venkatachalam, Marina Mudersbach, Christoph Herrmann, Hans-Josef Endres (2018). Procedia CIRP 69, 573-578.

Katerina Synani, Konstadinos Abeliotis, Kelly Velonia, Angeliki Maragkaki, Thrassyvoulos Manios, Katia Lasaridi (2024). Sustainability 16 (13), 5529.

POSTHARVEST HANDLING AND QUALITY MANAGEMENT OF CITRUS FRUIT IN COMMERCIAL PACKING FACILITIES IN BERKANE, MOROCCO

Asmae MISBAH
Agri-food Technology and Quality Laboratory, Regional Center of Oujda, Qualipole of Berkane, National Institute of Agricultural Research, Rabat, Morocco.

Nadia HOUMY
Agri-food Technology and Quality Laboratory, Regional Center of Oujda, Qualipole of Berkane, National Institute of Agricultural Research, Rabat, Morocco.

Abdelhak KHALLOU
Plant Protection Laboratory, Regional Center of Oujda, Qualipole of Berkane, National Institute of Agricultural Research, Rabat, Morocco.

Abstract: Citrus postharvest losses represent a major challenge for export-oriented production systems, as fruit quality may be affected by orchard conditions as well as subsequent harvesting, handling, and packing operations. Despite the importance of citrus production in the Berkane region of Morocco, limited information is available on current postharvest handling practices and the main factors associated with quality losses along the commercial chain. This study aimed to characterize postharvest handling practices in eight citrus packing stations, assess the main quality defects encountered during processing, and identify the major sources of fruit losses. Field visits and structured surveys were conducted in packing stations with seasonal capacities ranging from 500 to 100,000 tons. The surveyed facilities mainly processed clementine varieties, including *Bruno*, *Orogrande*, *Nules*, *Nour*, *Esbal*, *Fina Berkane*, and *Berkane Clementine*, for export markets, particularly the European Union and Russia. Despite differences in processing capacity, equipment, and infrastructure, the stations generally followed a comparable sequence of operations, including reception, drencher treatment, degreening, waxing, sorting, packing, labeling, and storage. The main quality defects were already observed at reception and were reported by packing-station managers to be primarily associated with orchard conditions, phytosanitary management, harvesting, and handling practices. Mottling was the most frequently reported defect (6.09% ± 3.93), whereas fungal rot and insect-related damage became more evident following degreening. Additional quality deviations involved fruit color, peduncle characteristics, and size, which may not compromise edibility but can result in rejection from export markets. Estimated rejection rates ranged from 20% to 50% across the stations surveyed, with marketable fruit failing to meet export specifications generally redirected to the domestic market at lower prices. Despite the substantial volumes involved, industrial valorization of downgraded citrus remains limited in the Oriental region. Overall, the findings emphasize the need for improved coordination between orchard and packing-house practices, better control of degreening and handling operations, and the development of valorization pathways for fruit excluded from export markets. These measures could contribute to reducing postharvest losses and improving the competitiveness and sustainability of the regional citrus value chain.

Keywords: Citrus; Postharvest handling; Packing stations; Fruit defects; Degreening; Quality losses; Export markets.

PHYTOCHEMICAL PROFILES AND ANTIOXIDANT PROPERTIES OF LOQUAT (ERIOBOTRYA JAPONICA) LEAVES, SEED COATS, AND KERNELS FROM ZEGZEL, MOROCCO

Asmae MISBAH
Agri-Food and Quality Department, National Institute of Agricultural Research (INRA), Berkane, Morocco.

Adnane BOUAZZAOUI
Department of Food Engineering, École Polytechnique d'Agadir, Universiapolis, Agadir, Morocco.

Abdelhak KHALLOU
Plant Protection Department, National Institute of Agricultural Research (INRA), Berkane, Morocco.

Zineb HARNAFI
Plant Protection Department, National Institute of Agricultural Research (INRA), Berkane, Morocco.

Nadia HOUMY
Agri-Food and Quality Department, National Institute of Agricultural Research (INRA), Berkane, Morocco.

Hanane KHALLOUF
Department of Environment and Natural Resources, National Institute of Agricultural Research (INRA), Oujda, Morocco.

Kaoutar ABOUKHALID
Department of Environment and Natural Resources, National Institute of Agricultural Research (INRA), Oujda, Morocco.

Abstract
The loquat tree (*Eriobotrya japonica*) is an important fruit resource in the Zegzel Valley, Berkane Province, while several of its by-products, particularly leaves and seeds, remain underutilized. This study aimed to characterize the physicochemical and phytochemical properties of three loquat-derived matrices—seed coat flour, kernel flour, and leaf powder—and to evaluate their antioxidant potential. The samples were dried, ground, and analysed. Loquat leaves showed high ash (7.99%) and protein (8.94%) contents, whereas seed coats exhibited crude fiber content (18.70%) and low water activity (0.334). Kernels were characterized by high total sugar content (63.33%) and lightness (L* = 69.87). Concerning biochemical analyses, loquat leaves contained the highest amounts of total phenolics (4,042.42 mg GAE/100 g DW), flavonoids (564.117 mg Quercetin/100 g DW), and condensed tannins (7,973.51 mg catechin/100 g DW). At an extract concentration of 1 mg/mL, the DPPH assay showed the highest inhibition for leaves (76.14%), followed by seed coats (71.33%) and kernels (58.00%). A similar trend was observed in the ABTS assay, with inhibition values of 95.32%, 70.82%, and 53.92% for leaves, seed coats, and kernels, respectively. The total antioxidant capacity determined by the phosphomolybdate assay was also highest in leaves (14,108.56 mg AAE/100 g DW), followed by seed coats (5,455.96 mg AAE/100 g DW) and kernels (700.30 mg AAE/100 g DW). Overall, leaves and seed coats showed stronger antioxidant potential than kernels, suggesting that these underutilized loquat matrices could be further explored for food and nutraceutical applications.
Keywords: Loquat; *Eriobotrya japonica*; Leaves; Seed coats; Kernels; Phytochemical characterization; Antioxidant activity; Valorisation.

EFFECT OF GORON TULA (AZANZA GARCKEANA) SYRUP ON THE SENSORY PROPERTIES AND MINERAL COMPOSITION OF ZOBO (HIBISCUS SABDARIFFA) BEVERAGE

Maryjane Adaobi OBI
Department of Food Science and Technology, School of Applied Science and Technology, Federal Polytechnic Oko, Anambra State, Nigeria.

ABSTRACT
Zobo, a popular Nigerian beverage brewed from the calyces of Hibiscus sabdariffa, is conventionally sweetened with sugar or artificial sweeteners, despite consumer interest in naturally sweetened, functional alternatives. Goron tula (Azanza garckeana), an indigenous African fruit valued for its mineral and phytochemical content, has been proposed as a natural sweetening syrup with additional health benefits. This study evaluated the sensory acceptability and mineral composition of zobo beverage sweetened with goron tula syrup at three levels: Zb1 (100% goron tula syrup), Zb2 (a 1:1 blend of goron tula syrup and artificial sweetener) and Zb3 (control, 100% artificial sweetener). A ten-member semi-trained panel scored colour, aroma, taste, mouthfeel and overall acceptability on a 9-point hedonic scale, while pH, vitamin C, calcium, iron and potassium were determined by standard analytical methods. The control (Zb3) was the most sensorily acceptable sample (8.00), followed by the 1:1 blend Zb2 (7.95), while the 100% goron-tula-sweetened sample Zb1 was least accepted (5.17), largely due to its unfamiliar taste and low pH (2.40). However, Zb1 recorded the highest vitamin C (26.00 mg) and calcium (1756.00 mg/100 g) content, while Zb3 recorded the highest iron (5.43 mg) and lowest calcium (1720.00 mg/100 g). These findings indicate a trade-off between sensory acceptability and mineral enrichment, and support blended formulations as a practical route to introducing goron tula syrup into zobo beverages without compromising consumer acceptance.
Keywords: goron tula, Azanza garckeana, zobo, Hibiscus sabdariffa, natural sweetener, mineral composition, sensory evaluation

SENSORY AND PROXIMATE EVALUATION OF BREAD SPREAD PRODUCED FROM BLENDS OF CASHEW NUT PASTE AND DATE FRUIT SYRUP

Maryjane Adaobi OBI
Department of Food Technology, Federal Polytechnic Oko, Anambra State, Nigeria.
Obianuju ENEASATO
Department of Food Technology, Federal Polytechnic Oko, Anambra State, Nigeria.

ABSTRACT
Commercial bread spreads such as margarine, mayonnaise and butter are widely consumed but are often high in saturated fat and low in fibre, prompting interest in plant-based alternatives from underutilised local crops. This study evaluated bread spreads produced from blends of roasted cashew nut (Anacardium occidentale) paste and date (Phoenix dactylifera) fruit syrup at four ratios, 80:20 (DAC), 70:30 (ACD), 60:40 (PAD) and 50:50 (CAD) cashew nut to date syrup, benchmarked against a commercial butter control (BBA). A ten-member panel evaluated colour, spreadability, taste, mouthfeel and overall acceptability using a 9-point hedonic scale, while the proximate composition of the most preferred formulated sample was determined by standard AOAC methods. The control was rated highest across all sensory attributes, but sample PAD (60% cashew nut: 40% date syrup) and ACD (70:30) competed favourably with the control in spreadability, taste and mouthfeel, achieving overall acceptability scores of 7.13 and 6.93 respectively, while the date-rich sample CAD (50:50) was least accepted owing to an excessively watery texture. Proximate analysis of the most preferred formulation (PAD) showed 10.25% moisture, 6.91% ash, 10.93% fat, 19.70% protein, 5.90% crude fibre and 46.31% carbohydrate. These results demonstrate that cashew nut and date syrup can be combined at a 60:40 ratio to produce a nutritionally rich, sensorially acceptable spread, offering a viable local alternative to conventional butter-based spreads and a value-added outlet for underutilised cashew and date resources.
Keywords: cashew nut, date syrup, bread spread, proximate composition, sensory evaluation, nut butter alternative

INVONTORY OF LEAF SPOT DISEASE (CURVULARIA SP.) AT THE OIL PALM NURSERY OF PT KETAPANG HIJAU LESTARI2 IN ABIT VILLAGE, MOOK MANAAR BULATN SUB DISTRICT OF WEST KUTAI DISTRIC

Helda SYAHFARI
Faculty of Agriculture, University of 17 Agustus 1945 Samarinda, Samarinda, East Kalimantan, Indonesia.

Noor JANNAH
Faculty of Agriculture, University of 17 Agustus 1945 Samarinda, Samarinda, East Kalimantan, Indonesia.

ABSTRACT
Objective of the research was to study the frequency and intensity of leaf spot disease attack (Curvularia sp.) at the oil palm nursery of PT Ketapang Hijau Lestari-2. It was expected that this research could give information regarding the disease attack intensity level at the oil palm nursery. It used 500 oil palm seedlings that comprised at 2 places, namely at pre nursery and main nursery, with using purposive sampling method. Results of the research indicated that the oil palm nursery at PT Ketapang Hijau Lestari-2 could be categorised as healthy nursery, due to number of seedlings attack level of leaf spot disease was little. It also founded the attack level is bigger at main nursery than at pre nursery. Based on the calculation, frecuency of leaf spot disease at pre nursery was 5,2%, thus level of attack caused by the fungus was relatively small, whereas its intensity was 2,5%. meanwhile, the frequency of laf spot disease at main nursery was 8,0% and intensity was 3,7%, thus the attack level of this disease was categorised as light damage, due to the seedlings condition is still healthy and number of seedling attacked by this disease was very small.
Keywords: Invontory, Spot Disease, intensity, seedling.

PENGARUH PUPUK KOMPOS DAN PUPUK ORGANIK CAIR NASA TERHADAP PERTUMBUHAN DAN HASIL TANAMAN MENTIMUN (CUCUMIS SATIVUS L.) VARIETAS MISANO F1

Abdul RAHMI
Faculty of Agriculture, University of 17 Agustus 1945 Samarinda, Samarinda, East Kalimantan, Indonesia.

Marisi NAPITUPULU
Faculty of Agriculture, University of 17 Agustus 1945 Samarinda, Samarinda, East Kalimantan, Indonesia.

ABSTRACT
The research objective were to study the effect of compost fertilizer and Nasa liquid organic fertilizer (POC Nasa) and its interaction on the growth and yield of cucumber and also to find the proper dosage of compost fertilizer and POC Nasa concentration for obtaining the best growth and yield of cucumber. The research was conducted at the end of February 2017 until April 2017 at house yard area on Jalan Cut Nyak Dien RT 3 in Barong Tongkok Urban Village, Barong Tongkok Subdistrict of West Kutai Regency, East Kalimantan Province. The research used Completely Randomized Design (CRD) in 4 x 4 Factorial Experiment and three replications. The factor was the dosage of compost fertilizer (K) consisting of 4 levels : no compost fertilizer application (k0), 48 g polybag-1 (k1), 64 g polybag-1 (k2); and 80g polybag-1 (k3). The second factor was the concentration of POC Nasa (D) consisting 4 levels : no POC Nasa application (d0), 1 ml l-1water (d1), 2 ml l1water (d2), and 3 ml l-1water (d3). The results showed that: (1) the compost fertilizer treatment affected significantly on the weight of one fruit and the weight of fruit per plant, it affected very significantly on the plant lenght at age 15 and 30 days after planting, and fruit diameter, but it did not affect significantly on the number of fruit per plant. The best production was produced at 48 g polybag-1 (k1) treatment of 3,77 kg plant-1 , while the least one was produced at the 80 g polybag-1 (k3) treatment of 3,06 kg plant-1 ; (2)the POC Nasa treatment affected significantly on the weight of one fruit; and it affected very significanly on the plant lenght at age 30 days after planting and fruit diameter, but it did not affect significantly on the plant lenght at age 15 days after planting, number of fruit per plant, and fruit weight per plant; and (3) the interaction treatment between compost fertilizer and POC Nasa affected significantly on the weight of one fruit and affected very significantly on the fruit diameter, but did not affect significantly on the plant lenght at age 15 and 30 after planting, the number of fruit and fruit weight per plant.
Key words: Compost Fertilizer Nasa Liquid Organic Fertilizer Cucumber

ANALYSIS OF SOIL CHEMICAL PROPERTIES CHARACTERISTICS IN COAL PRE AND POST MINING LAND IN PT TRUBAINDO COAL MINING, WEST KUTAI REGENCY, EAST KALIMANTAN PROVINCE

Zuhdi YAHYA
Faculty of Agriculture, University of 17 Agustus 1945 Samarinda, Samarinda, East Kalimantan, Indonesia.

Legowo KAMARUBAYANA
Faculty of Agriculture, University of 17 Agustus 1945 Samarinda, Samarinda, East Kalimantan, Indonesia.

ABSTRACT
The purpose of this study was to determine the characteristics of soil chemical properties on the original pre-mining land and on postmining revegetation land that experienced abnormal growth of plants and normal growth. The research method uses purposive sampling method, namely sampling based on consideration of post-mining revegetation land processing age with Jabon plant species (Anthocephalus cadamba). Soil sampling follows the standard method of the Food and Agriculture Organization (FAO 1976), namely at 0-30 and 30-60 cm depths at each observation point, then analyzed the soil chemical properties and will be compared. Analysis of soil chemical properties was carried out at the Land Laboratory of the Humida Tropical Forest Reforestation Study Center (PUSREHUT), Faculty of Forestry, Mulawarman University, Samarinda. Based on the results of the analysis of soil chemical properties in the original pre-mining land in the research location generally have very low pH values ranging from (4.12-3.71 H2O), moderate to very low C-organic ranges (2.42-0,22%), low to very low nitrogen ranging from (0.18 to 0.05%), very low phosphorus ranging from (4.27 to 0.22 ppm), low to very low potassium ranging from (0.15 to 0.07 meq/100 gr), very low sodium ranging from (0.02-0.01 meq/100 gr), low to very low magnesium ranging from (0.25-0.03 meq/100 gr), calcium very low ranging between (0,14-0,04 meq/100 gr), very low cation exchange capacity ranging from (9,96-3,04 meq/100 gr), very low base saturation ranging between (8,11- 2.08%) and high aluminum saturation up to high levels ranging between (56.59-72.26%). As for the chemical properties of soil in post-mining revegetation land in a research location both on plants that experience growth abnormalities and those that grow normally do not have significant differences except magnesium which has a moderate value and alkaline saturation has a relatively high value in normal growing plants, the following details pH values range from (4.09-4.53 H2O), C-organiK ranges between (0.44-1.27%), nitrogen ranges from (0.08-0.10%), phosphorus ranges between (0 , 22-2,50 ppm), potassium ranges (0,11- 0,15 meq/100 gr), sodium ranges from (0,00-0,02 meq/100 gr), magnesium ranges between (0,15 -1.89 meq / 100 gr), calcium is between (0.05-1.29 meq/100 gr), CEC ranges from (4.50 to 6.12 meq/100 gr), and aluminum saturation ranges between (23.76-76.83).
Keywords: Open Mining, revegetation, analysis, soil chemical properties

POTENCY OF POLE AND TREE LEVEL STAND IN EDUCATION AND TRAINING KHDTK FOREST AREAL LOA HAUR KECAMATAN LOA JANAN KABUPATEN KUTAI KARTANEGARA EAST KALIMANTAN PROVINCE

JUMANI
Faculty of Agriculture, University of 17 Agustus 1945 Samarinda, Samarinda, East Kalimantan, Indonesia.

Heni EMAWATI
Faculty of Agriculture, University of 17 Agustus 1945 Samarinda, Samarinda, East Kalimantan, Indonesia.

ABSTRACT
The activity of education and training forest management is needed to give a clear description regarding education and training forest potency which will be managed. From that management activity result then will be obtained the potency of forest condition, topography, climate and the condition of community inside and the vicinity, in which, those datas, in turn, will be used as a base for arranging further forest management as per field condition and the scheduled training. The aim of this research is to understand potency of pole level stand in Education and Training KHDTK forest areal Loa Haur Environment and Forestry Center Samarinda, understand potency of tree level stand in Education and Training KHDTK forest areal Loa Haur Environment and Forestry Center Samarinda and understand the diversity of stands type that dominate Education and Training KHDTK forest areal Loa Haur Environment and Forestry Center Samarinda. Used method in the research and data sampling in the field is using purposive sampling technic While diversity value is counted by using Diversity Index Value Shannon-Wiener 1992. The result obtained base on recapitulation of 5 plots from 26 ha research sample with 5% sampling intensity in Education and Training KHDTK forest areal Loa Haur generate result that pole level stand is 111 m3 with total population 1.159 stand or equal with 4,269 m3 /ha and population 45 stands /ha. While in tree level stand resulted potency 189,7 m3 with total population 497 stand or equal to 7,30 m3 /ha and population 19 stands /ha. Diversity index value H' for Meranti pole level type group is 2,14 and tree level is 1,72. Diversity index value for Mixed Rimba pole level is 1,98 and tree level is 2,31. Both Meranti group and Mixed Rimba group have medium category of diversity index value. Diversity index value for Kayu Indah pole level is 1,20 and for tree level is 0,94. Base on the research result of 5 sample plots with 26 Ha area with 5% sampling intensity it is known that stands which have highest diversity index value both for pole and tree level is Mahang (Macaranga sp) type, where sand for every pole is obtained total 312 stands with diversity index value 0,153, while tree level stand is 94 and diversity index value is 0,137 and this is categorizes as low category.
Keywords: Potency, pole, tree, level stand, diversity type

OVERVIEW THE STRATEGIC AGRICULTURAL COMMODITIES AS THE BASE FOR DETERMINATING IMPROVED LOCAL PRODUCTS AT VILLAGE LEVEL IN PASER REGENCY OF EAST KALIMANTAN PROVINCE.

Abdul FATAH
Faculty of Agriculture, University of 17 Agustus 1945 Samarinda, Samarinda, East Kalimantan, Indonesia.

Abdul RAHMI
Faculty of Agriculture, University of 17 Agustus 1945 Samarinda, Samarinda, East Kalimantan, Indonesia.

Maya Preva BIANTARY
Faculty of Agriculture, University of 17 Agustus 1945 Samarinda, Samarinda, East Kalimantan, Indonesia.

ABSTRACT
The purposes of this research are: (1) to identify type of agricultural commodities and products marketed in the study area that has the potential for improved competitiveness; (2) create a ranking of agricultural commodities and type of the product identified in the study area designated as higher competitiveness commodity sector; (3) lists one village one product (OVOP) and their distribution in the study area as a commodity that having higher competitiveness; (4) analyze the factors that influence the development plan of OVOP in Paser Regency; and (5) recommend alternative strategies in order to accelerate the development of OVOP program in Paser Regency. The research was conducted in the area of Paser Regency of East Kalimantan Province with two villages in each district as a sample. The research was conducted within the time span for approximately eight months until the end of the reporting. Data collected includes: (1) primary data from interviews with respondents (household level/groups and/or businesses) at the study area; and (2) secondary data obtained from relevant agencies such as the Department/Agencies that handle the food crop commodity and tree cropo commodities, the Department of Industry and Trade, Bappeda, BPS of Paser Regency and East Kalimantan Province. The method of data collection through surveys, key informant interviews and a review of secondary data. The number of respondents in each district as much as ± 10 businesses. The analysis tool used is a Location Quotient (LQ) model and Shift-Share, in particular in order to identify types of commodities or products that have higher competitiveness in each district. The results of this analysis will be the basis for reviewing the next, namely the establishment of OVOP in each district. To formulate strategies and policies that are recommended for application of OVOP program used a SWOT analysis. The results showed that: (1) sub-districts of the most dominant in Paser for food crops commodities covers sub distrits of Kuaro, Muara Samu, Long Kali, and the Tanjung Harapan; and (2) sub-districts of the most dominant in Paser for tree crop commodities covers sub districts of Muara Komam, Tanah Grogot, tanjung Harapan, and Kuaro.

Keywords : Strategic Agricultural Commodities, village, Paser Regency

STUDY ON THE DEVELOPMENT OF SOCIAL FORESTRY ACTIVITIES IN THE UTILIZATION OF DUMARING RIVER PARK ECOTOURISM IN DUMARING VILLAGE, BERAU REGENCY AS A ASSISTED BY UPTD KPHP BERAU PANTAI

ISMAIL
Faculty of Agriculture, University of 17 Agustus 1945 Samarinda, Samarinda, East Kalimantan, Indonesia.

Mohammad Taufan TIRKAAMIANA
Faculty of Agriculture, University of 17 Agustus 1945 Samarinda, Samarinda, East Kalimantan, Indonesia.

Rolly YULIANTHI
Faculty of Agriculture, University of 17 Agustus 1945 Samarinda, Samarinda, East Kalimantan, Indonesia.

ABSTRACT
The potential of ecotourism around forest communities has encouraged the emergence of two forest area management agendas, namely improving community welfare, particularly for communities living around forests and creating effective forest conservation models. The government has prepared a program known as the Social Forestry Program, which is intended for all communities living around forest areas through an empowerment-based approach while remaining guided by principles of sustainability. The purpose of this study is to examine the social forestry activities implemented in the Dumaring River Park. After identifying the scheme implemented, the researcher analyzes the development and outcomes of social forestry activities in the Dumaring River Park, as well as provides an overview of the implementation of Social Forestry activities in Dumaring Village. The research was conducted with a qualitative approach method which was carried out for 2 months effectively. Dumaring Village, Talisayan District, Berau Regency, East Kalimantan Province, is the location of research because it is one of the implementation of the Social Forestry Program. The results of the analysis show that the Social Forestry Program in Dumaring Village has received approval for the implementation of Village Forest Social Forestry with a total area of 5,083 Ha in the Protection forest area and community participation in Dumaring Village is very enthusiastic about the Social Forestry Program.
Keywords : Ecotourism potential, Dumaring Village, Social forestry

YOUNGER GENERATION AWARENESS OF THE MANGROVE ECOSYSTEM

JUMANI
Faculty of Agriculture, University of 17 Agustus 1945 Samarinda, Samarinda, East Kalimantan, Indonesia.

Naqiyyah Ariska JANUATI
Faculty of Agriculture, University of 17 Agustus 1945 Samarinda, Samarinda, East Kalimantan, Indonesia.

Karolina Sherly ORIANTO
Faculty of Agriculture, University of 17 Agustus 1945 Samarinda, Samarinda, East Kalimantan, Indonesia.

Zevie Tresna EVRIZAL
Faculty of Agriculture, University of 17 Agustus 1945 Samarinda, Samarinda, East Kalimantan, Indonesia.

Heni EMAWATI
Faculty of Agriculture, University of 17 Agustus 1945 Samarinda, Samarinda, East Kalimantan, Indonesia.

ABSTRACT
Coastal management faces various obstacles, both in terms of the ecosystem and the lack of public awareness of mangrove forests. Public awareness of mangrove forests is still considered lacking. The method of this community service activity is a visit to the Balikpapan Mangrove Center. This service is given material from a resource person from the Mangrove Center, about the importance of mangrove forests and their management. The community service students and lecturers are introduced to the mangrove ecosystem, starting from the beginning of mangrove management, from ecosystems damaged due to being used as fish ponds. Mangrove forest education for the younger generation is very necessary. Various problems occur, starting from ecosystem damage, wind disasters that cause damage to housing close to the beach. Mangrove forests are essential for coastal areas, so their existence needs to be maintained. The importance of mangrove forests is by providing insight and awareness to the younger generation, including students and lecturers, to participate in maintaining and preserving them through real actions, both directly and indirectly.
Keywords : Coastal management, Mangrove forests, Mangrove education

ENHANCING CLIMATE CHANGE ADAPTATION IN GRAZING SYSTEMS THROUGH INTEGRATED FORAGE QUALITY ASSESSMENT AND INDIGENOUS KNOWLEDGE

Kaoutar ABOUKHALID
Regional Center of Agricultural Research of Oujda, National Institute of Agricultural Research (INRA), Morocco.

Soufiane ELAAYADI
Department of Animal Production and Biotechnology, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II (IAV Hassan II), Rabat, Morocco.

Taha NOUR
Department of Animal Production and Biotechnology, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II (IAV Hassan II), Rabat, Morocco.

Abdesselam MAÂTOUGUI
Regional Center of Agricultural Research of Oujda, National Institute of Agricultural Research (INRA), Morocco.

Hanane KHALLOUF
Regional Center of Agricultural Research of Oujda, National Institute of Agricultural Research (INRA), Morocco.

Mounsef NEFFA
Laboratory of Bioresources, Biotechnology, Ethnopharmacology and Health, Faculty of Sciences, Mohammed First University, Oujda, Morocco.

Abstract
Pastoral plant species play a central role in sustaining livestock production in semi-arid rangelands, where climate change is increasingly altering vegetation dynamics, forage availability, and nutritional quality. In this context, this study evaluates an integrated approach combining biochemical analysis, near-infrared spectroscopy (NIRS), and herders' ecological knowledge to classify forage quality and support adaptive grazing strategies in Eastern Morocco. Twenty pastoral plant species were analyzed for crude protein, fiber fractions, and ash content using conventional laboratory methods and NIRS. In parallel, herders' perceptions of forage quality were collected through structured interviews, considering local knowledge shaped by long-term exposure to environmental variability. Biochemical analyses revealed significant interspecific variability, allowing classification into three forage quality groups. NIRS reproduced this classification with high accuracy (95%; Kappa = 0.91), although its predictive performance was lower for structural components such as neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent lignin (ADL). In contrast, herders' classifications showed low agreement with biochemical groupings (35% accuracy; Kappa = −0.15), reflecting a broader evaluation framework that integrates palatability, seasonal availability, toxicity, and animal health responses, factors that are increasingly influenced by climate variability. Overall, the results highlight that NIRS provides a rapid and reliable tool for forage quality assessment, while herders' knowledge offers essential complementary insights for adaptive grazing management. The integration of these knowledge systems is particularly relevant under climate change, as it enables a more holistic evaluation of forage resources and supports resilient pastoral systems in semi-arid environments.
Keywords: Pastoral species; forage quality; near-infrared spectroscopy (NIRS); local ecological knowledge; semi-arid rangelands; Eastern Morocco.

ADAPTIVE RESPONSES OF PASTORAL SPECIES TO ARID CLIMATE CONDITIONS IN EASTERN MOROCCO

Kaoutar ABOUKHALID
Regional Center of Agricultural Research of Oujda, National Institute of Agricultural Research (INRA), Morocco.

Abdesselam MAÂTOUGUI
Regional Center of Agricultural Research of Oujda, National Institute of Agricultural Research (INRA), Morocco.

Hanane KHALLOUF
Regional Center of Agricultural Research of Oujda, National Institute of Agricultural Research (INRA), Morocco.

Mounsef NEFFA
Laboratory of Bioresources, Biotechnology, Ethnopharmacology and Health, Faculty of Sciences, Mohammed First University, Oujda, Morocco.

Abstract
In eastern Morocco, steppe pastures have experienced significant degradation over the past few decades due to the interaction of several factors, including overgrazing and increasingly frequent droughts. The objective of this study is to investigate the adaptation of certain pastoral and forage species to the edapho-climatic conditions of eastern Morocco, with the aim of diversifying and selecting the plant material for future efforts to rehabilitate degraded pastures. For this purpose, 14 native and introduced species were planted in the rural commune of Ain Béni Mathar (Jerada Province). The experimental design included at least ten replications for each species. The trial was monitored over three years from 2021 to 2024. The results showed that almost all species survived the first year. However, the mortality rate increased significantly in the second year, with notable differences between species. After three years of planting, only 517 plants (37%) of the 1390 initially planted survived. The mortality rate was indeed very high for most species. This is the case *for Acacia saligna, Bituminaria bituminosa, Colutea atlantica, Lavandula dentata, Medicago arborea, Periploca graeca, and Salvia rosmarinus*, for which the mortality rate can reach 100%. *Atriplex polycarpa, Caroxylon vermiculatum and Atriplex canescens* were the only species that achieved a high survival rate after three years of planting: 100%, 70% and 60%, respectively. These results contribute to a better understanding of the species' ability to adapt to the arid climate of eastern Morocco and to the selection of plant material for future rehabilitation programs targeting degraded rangelands.
Keywords: Forage species; Degradation; Rangelands; Adaptation; Climate change; Eastern Morocco

PRESERVING MOROCCO'S BOTANICAL HERITAGE: GENETIC INSIGHTS INTO TWO ENDEMIC ORIGANUM SPECIES

Kaoutar ABOUKHALID
Regional Center of Agricultural Research of Oujda, National Institute of Agricultural Research (INRA), Morocco.

Chaouki AL FAIZ
Regional Center of Agricultural Research of Rabat, National Institute of Agricultural Research (INRA), Rabat, Morocco.

Nathalie MACHON
Centre for Ecology and Conservation Sciences (CESCO), Muséum National d'Histoire Naturelle, Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Sorbonne Université, Paris, France.

Mohamed BAKHA
Unit of Plant Biotechnology and Sustainable Development of Natural Resources (B2DRN), Polydisciplinary Faculty of Beni Mellal, Sultan Moulay Slimane University, Beni Mellal, Morocco.

Abdelkarim KHIRAOUI
Environmental, Ecological and Agro-Industrial Engineering Laboratory, Faculty of Sciences and Technologies, Sultan Moulay Slimane University, Beni Mellal, Morocco.

Mounsef NEFFA
Laboratory of Bioresources, Biotechnology, Ethnopharmacology and Health, Faculty of Sciences, Mohammed First University, Oujda, Morocco.

Abstract
Oregano is a highly valued aromatic and medicinal herb in the Mediterranean, appreciated for its culinary, therapeutic, and ecological significance. Classification within the *Origanum* genus is complicated by extensive morphological variation and frequent interspecies hybridization. In this study, we assessed the genetic diversity and population structure of *O. elongatum* and *O. grosii* across their full distribution in Morocco, sampling 264 individuals from seven populations and analyzing them with 13 microsatellite (SSR) markers. Despite its restricted native range, *O. elongatum* displayed considerable genetic diversity (Ho = 0.455, He = 0.429), whereas *O. grosii* showed lower diversity (Ho = 0.285) but higher differentiation among populations. Bayesian clustering, Principal Coordinates Analysis, and STRUCTURE analysis revealed four main genetic groups largely corresponding to geographic origin and clearly separating the two species. These results indicate strong species divergence and the existence of distinct population structures, underscoring the need for species-specific conservation measures. We recommend integrating in-situ and ex-situ strategies, including habitat protection, genetic reinforcement, and germplasm preservation in gene banks. Overall, this study illustrates how genetic data can inform conservation planning for rare endemic plants in ecologically sensitive regions, providing a model applicable to other Mediterranean mountain ecosystems facing climate and land-use pressures.
Keywords: Conservation Genetics, Endemic species, *Origanum elongatum*, *Origanum grosii*, Genetic Diversity, SSR Markers.

METABOLIC AND INFLAMMATORY CHANGES IN MASTITIC DAIRY COWS: THE ROLE OF OXIDATIVE STRESS AND THE THERAPEUTIC POTENTIAL OF ANTIOXIDANT SUPPLEMENTATION

A. A. ELKADY
Department of Physiology and Biochemistry, Faculty of Veterinary Medicine, Misurata University, Misurata, Libya.

E. Kh. GERISH
Department of Research Affairs and Consultations, Libyan Authority for Scientific Research, Tripoli, Libya.

A. M. ABU IRKHEIS
Women's Support and Empowerment Office, Ministry of Agriculture, Libya.

ABSTRACT

Background: Bovine mastitis persists as one of the most economically consequential disorders confronting the global dairy industry, yet the interplay between mammary oxidative stress and systemic metabolic disruption remains incompletely characterised at the biomarker level, and evidence-based antioxidant protocols are still lacking.

Objectives: To quantify oxidative-stress biomarkers, inflammatory cytokines, and milk-quality indices in Holstein-Friesian cows with subclinical mastitis, and to determine whether an eight-week course of multi-component natural antioxidant supplementation can restore redox homeostasis and improve productive performance.

Methods: Sixty lactating cows in second-to-fourth parity were enrolled in a randomised, controlled, parallel-group trial and allocated equally to three arms: Group I (healthy controls; SCC < 200,000 cells/mL), Group II (subclinical mastitis, untreated; SCC > 500,000 cells/mL), and Group III (subclinical mastitis receiving daily oral supplementation with vitamin E [3,000–4,000 IU], organic selenium [3–5 mg], flaxseed [400–600 g], turmeric [10–15 g], and green tea extract [5–10 g], plus once-daily intramammary green tea extract infusion). Blood and composite quarter-milk samples were collected at weekly intervals.
Superoxide dismutase (SOD), glutathione peroxidase (GPx), catalase (CAT), malondialdehyde (MDA), and total antioxidant capacity (TAC) were assayed in plasma. Tumour necrosis factor-α (TNF-α), interleukin-6 (IL-6), and interleukin-1β (IL-1β) were quantified by species-specific ELISA. Milk fat, protein, lactose, and solids-non-fat (SNF) were analysed by automated infrared spectroscopy; somatic cell count (SCC) was determined by electronic cell counting. Mammary biopsies obtained at trial end were processed for haematoxylin-and-eosin histopathology.

Results: By week 8, Group II showed profound antioxidant depletion (SOD: 27.1 ± 1.5 U/mL; GPx: 20.3 ± 1.6 U/mL) alongside elevated MDA (10.5 ± 0.8 nmol/mL) and declining TAC (0.8 ± 0.1 mmol/L), with cytokine levels rising markedly (TNF-α: 18.4 ± 1.2 pg/mL at week 2; IL-1β: 11.3 ± 0.8 pg/mL at week 8). In Group III, SOD and GPx approached control values (43.7 ± 2.0 and 38.6 ± 2.1 U/mL, respectively), MDA fell to 5.2 ± 0.4 nmol/mL, TAC rose to 1.6 ± 0.1 mmol/L, and all three cytokines declined significantly.
SCC decreased from 8.5×10^5 to 4.2×10^5 cells/mL ($p < 0.01$), while milk fat and protein improved from 3.4% and 3.1% to 3.8% and 3.5%, respectively. Histopathology confirmed reduced neutrophil infiltration and partial alveolar architectural recovery in Group III.

Conclusions: Multi-component natural antioxidant supplementation effectively reverses the oxidative-inflammatory cascade in subclinical bovine mastitis, translating into measurable gains in milk quality and udder health.

These findings provide a rigorous experimental basis for incorporating antioxidant regimens into evidence-based mastitis management as a complement — and partial alternative — to antimicrobial therapy.

Keywords: bovine mastitis; oxidative stress; superoxide dismutase; malondialdehyde; antioxidant supplementation; vitamin E; selenium; green tea extract; somatic cell count; inflammatory cytokines; dairy cow health

GEOSPATIAL ASSESSMENT OF THE IMPACT OF CLIMATE ON THE PERFORMANCE OF FUTA RESEARCH FARM

Dr. S. O. OGUNLADE
Federal University of Technology Akure, Akure, Nigeria.

ABSTRACT

This study geospatially assessed the impact of climate on the performance of a University research Farm with a view to understanding the effects of climatic variability on agricultural productivity. Field surveys were conducted to gather essential data of farmland plot planting boundaries for the geospatial crop yield modeling for eleven planting seasons (2012-2022). Landsat satellite imagery were used to capture crop growth dynamics throughout the growing seasons, and data on temperature and precipitation were obtained from climate databases. The crop yield measurement from various plots within the FUTA farm were collected from the relevant department. The data were integrated and analyzed in ArcGIS 10.5 software environment. The Satellite imagery was subjected to appropriate processing, to ensure data quality. The study adopted the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Green Chlorophyll index (GCI), to quantify crop growth and vegetation vigor; regression and correlation analysis to quantify the relationship between climatic variables and farm performance indicators. It was observed that NDVI and GCI values increased between 2014 and 2016, slightly decreased between 2017 and 2019; and increased again in 2021 and 2022, indicating healthier crops. The correlation analysis showed a weak negative correlation between NDVI and the average temperature ($p = -0.445$, $r^2=0.1996$), a weak positive correlation ($p=0.299$, $r^2=0.0867$) between NDVI values and average precipitation, a positive correlation ($p=0.256$ $r^2=0.0639$) between GCI values and average temperature, positive correlation ($p=0.134$, $r^2 =0.0176$) between GCI values and average precipitation; a very weak and negative ($r= -0.014$) not statistically significant correlation (p-value = 0.968) between Temperature and Crop Yield; a significant strong negative correlation ($r = -0.821$, $p = 0.002$) between precipitation and crop yield, a not significant very weak correlation ($r = -0.001$ and $p = 0.998$) between GCI and Crop Yield, a non-significant positive correlation ($r = 0.031$, $p = 0.928$) between NDVI and Crop yield. The study concluded a proportionate effect of climate changes on the crop yield in the study area and the invaluableness of geospatial technology in monitoring agricultural productivity.

Keywords: Agricultural Productivity, Climatic Factors, Correlation, Crop Yield, Vegetation index

SALVİA SCLAREA L. UÇUCU YAĞININ DPPH YÖNTEMI İLE İN VİTRO ANTİOKSİDAN AKTİVİTESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

EVALUATION OF THE IN VITRO ANTIOXIDANT ACTIVITY OF SALVIA SCLAREA L. ESSENTIAL OIL USING THE DPPH ASSAY

Asst. Prof. Dr. Merve NENNİ
Department of Analytical Chemistry, Faculty of Pharmacy, Çukurova University, Adana, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-3165-1060

ÖZET

Oksidatif stres, çeşitli patolojik süreçlerin gelişiminde rol oynadığından, bitkisel kaynaklı antioksidan bileşiklere yönelik araştırmalar önemini korumaktadır. Lamiaceae familyasına ait Salvia sclarea L., uçucu yağ içeriği nedeniyle farmasötik açıdan ilgi gören aromatik bitkilerden biridir. Bu çalışmada, Salvia sclarea uçucu yağının in vitro antioksidan aktivitesinin 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) radikal süpürme yöntemiyle değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Salvia sclarea uçucu yağının metanol ile farklı konsantrasyonlarda çözeltileri hazırlanmıştır. Antioksidan aktivite, 96 kuyucuklu mikroplakalarda DPPH yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Her bir kuyucuğa 150 µL örnek çözeltisi ve 50 µL 0,1 mM DPPH çözeltisi eklenmiştir. Mikroplakalar bir dakika çalkalandıktan sonra oda sıcaklığında, karanlık ortamda 45 dakika inkübe edilmiştir. Absorbans değerleri 517 nm'de ölçülmüş ve deneyler üç tekrarlı gerçekleştirilmiştir. Pozitif kontrol olarak askorbik asit kullanılmıştır. Radikal süpürme yüzdelerinden konsantrasyon-yanıt doğruları oluşturularak IC_{50} değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca etkin konsantrasyon (EC_{50}), antiradikal güç (ARP) ve askorbik asit eşdeğeri antioksidan kapasite (AEAC) parametreleri değerlendirilmiştir.

Salvia sclarea uçucu yağının IC_{50} değeri 262,712 ± 13,135 mg/mL, askorbik asidin IC_{50} değeri ise 0,013 ± 0,003 mg/mL olarak belirlenmiştir. Uçucu yağ için hesaplanan EC_{50}, ARP ve AEAC değerleri sırasıyla 6,662, 15,010 ve 4,956 olarak bulunmuştur. Uçucu yağın IC_{50} değerinin askorbik aside kıyasla oldukça yüksek olması, DPPH radikal süpürme aktivitesinin referans antioksidana göre belirgin düzeyde düşük olduğunu göstermiştir.

Salvia sclarea uçucu yağı, kullanılan DPPH deney koşullarında sınırlı radikal süpürme aktivitesi göstermiştir. Bulgular, uçucu yağın antioksidan potansiyelinin değerlendirilmesinde farklı in vitro yöntemlerin ve kimyasal bileşen analizlerinin kullanılmasının yararlı olabileceğini düşündürmektedir.

Anahtar Kelimeler: Salvia sclarea, uçucu yağ, antioksidan aktivite, DPPH, IC_{50}.

ABSTRACT

Oxidative stress contributes to various pathological processes, making plant-derived antioxidant compounds an important area of research. Salvia sclarea L., a member of the Lamiaceae family, is an aromatic plant of pharmaceutical interest due to its essential oil content. This study aimed to evaluate the in vitro antioxidant activity of Salvia sclarea essential oil using the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging assay.

Solutions of Salvia sclarea essential oil at different concentrations were prepared using methanol. Antioxidant activity was assessed using the DPPH assay in 96-well microplates. Each well received 150 µL of sample solution and 50 µL of 0.1 mM DPPH solution. The microplates were shaken for one minute and incubated in the dark at room temperature for 45 minutes. Absorbance was measured at 517 nm, and experiments were performed in triplicate. Ascorbic acid was used as a positive control. IC_{50} values were calculated from concentration-response curves based on radical scavenging percentages. Effective concentration (EC_{50}), antiradical power (ARP), and ascorbic acid equivalent antioxidant capacity (AEAC) were also evaluated.

The IC_{50} value of Salvia sclarea essential oil was 262.712 ± 13.135 mg/mL, compared with 0.013 ± 0.003 mg/mL for ascorbic acid. The calculated EC_{50}, ARP, and AEAC values for the essential oil were 6.662, 15.010, and 4.956, respectively. The substantially higher IC_{50} value of the essential oil indicated considerably lower DPPH radical scavenging activity than that of the reference antioxidant.

Salvia sclarea essential oil exhibited limited radical scavenging activity under the experimental conditions of the DPPH assay.

These findings suggest that additional in vitro assays and chemical composition analyses may be useful for further characterizing its antioxidant potential.

Keywords: Salvia sclarea, essential oil, antioxidant activity, DPPH, IC_{50}.

MİNYATÜR SEBZELER VE KULLANIMI
MINIATURE VEGETABLES AND THEIR USES

Dr. Hatice Şeyma YÜCEL
Department of Plant and Animal Production, Samsun Vocational School, Ondokuz Mayıs University, Samsun, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-7290-2749

ÖZET
Minyatür sebzeler, geleneksel sebze türleriyle benzer morfolojik ve besinsel özelliklere sahip alternatif tarımsal ürünlerdir. Bu sebzeler, daha küçük boyutları, görsel çekicilikleri ve kullanım kolaylıklarıyla öne çıkmaktadır. Son yıllarda tüketici tercihlerinin değişmesi ve gastronomi sektörünün gelişmesi, minyatür sebzelere olan ilgiyi artırmıştır. Ayrıca katma değeri yüksek ürünlere yönelik talep, minyatür sebze yetiştiriciliğinin önem kazanmasını sağlamıştır. Bu çalışmada, minyatür sebzelerin yetiştiricilik özellikleri, tür ve çeşitliliği, kullanım alanları, hasat sonrası muhafaza koşulları ve ekonomik potansiyeli değerlendirilmiştir. Minyatür karpuz, kabak, domates, patlıcan ve havuç gibi farklı sebze türlerinde geliştirilen çeşitler, üretim ve pazarlama açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Minyatür sebze yetiştiriciliğinde uygun çeşit seçimi büyük önem taşımaktadır. Bunun yanında ekim ve dikim zamanlarının doğru planlanması ve düzenli hasat yapılması gerekmektedir. Bazı minyatür sebzelerin geleneksel çeşitlere göre daha kısa sürede yetişmesi, aynı üretim alanından bir sezonda birden fazla ürün alınmasına olanak sağlamaktadır. Ancak birim alan veriminin düşük olması ve işçilik maliyetlerinin yüksekliği üretimi sınırlandırmaktadır. Hasat sonrası dayanıklılığın sınırlı olması da yetiştiricilik ve pazarlama açısından önemli bir sorundur. Türkiye'de minyatür sebze üretimi, özellikle turizm, otelcilik ve restoran sektörlerinden gelen talepler doğrultusunda gelişmektedir. Ülkemizde mini karpuz çeşitlerinin verim ve kalite özelliklerine yönelik çeşitli araştırmalar yürütülmektedir. Ayrıca aşılı yetiştiricilik üzerine yapılan çalışmalar, uygun genotip ve anaç seçiminin önemini ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, minyatür sebzeler yüksek pazar değerleri ve ürün çeşitlilikleri sayesinde alternatif sebzecilik açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Tüketici beklentilerine uygun özellikleri de bu ürünlerin pazardaki önemini artırmaktadır. Ancak bu potansiyelin sürdürülebilir biçimde değerlendirilebilmesi için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle çeşit geliştirme, yetiştirme tekniklerinin iyileştirilmesi, hasat sonrası kalite yönetimi ve pazarlama stratejileri üzerine yapılacak çalışmalar önem taşımaktadır.
Anahtar Kelimeler: Minyatür sebzeler, alternatif sebzecilik, çeşit geliştirme, verim ve kalite, pazarlama.

ABSTRACT
Miniature vegetables are alternative agricultural products that share similar morphological and nutritional characteristics with conventional vegetable crops. These vegetables are distinguished by their smaller size, visual appeal, and convenience of use. In recent years, changing consumer preferences and the development of the gastronomy sector have increased interest in miniature vegetables. Furthermore, the growing demand for high-value-added products has contributed to the increasing importance of miniature vegetable production. This study evaluates the cultivation characteristics, species and varietal diversity, utilization areas, postharvest storage conditions, and economic potential of miniature vegetables. Varieties developed in different vegetable crops, including miniature watermelon, squash, tomato, eggplant, and carrot, offer significant opportunities for production and marketing. Appropriate variety selection is of great importance in miniature vegetable cultivation. In addition, proper planning of sowing and planting dates and regular harvesting are essential. The shorter growing periods of some miniature vegetables compared with conventional varieties allow multiple cropping cycles within the same growing season. However, relatively low yields per unit area and high labor costs are major constraints on production. Limited postharvest shelf life also presents significant challenges for cultivation and marketing. In Türkiye, miniature vegetable production has developed particularly in response to increasing demand from the tourism, hospitality, and restaurant sectors. Various studies have been conducted in Türkiye to evaluate the yield and quality characteristics of miniature watermelon varieties.

Furthermore, research on grafted cultivation has highlighted the importance of selecting appropriate genotypes and rootstocks. In conclusion, miniature vegetables have considerable potential in alternative vegetable production due to their high market value and product diversity. Their characteristics, which meet evolving consumer expectations, further enhance their market significance. However, additional research is needed to ensure the sustainable utilization of this potential. In particular, further studies focusing on variety development, improvement of cultivation techniques, postharvest quality management, and marketing strategies are essential.

Keywords: Miniature vegetables, alternative vegetable production, varietal diversity, yield and quality, marketing

THE EFFECT OF LED LIGHT INTENSITIES AND GROWING MEDIA ON COWPEA (*Vigna unguiculata* L. Walp) MICROGREENS AGRIBUSINESS

Undang
Agrotechnology Study Program, Faculty of Agriculture, Siliwangi University, Tasikmalaya, West Java, Indonesia.

Ristina Siti SUNDARI
Agribusiness Study Program, Faculty of Agriculture, University of Perjuangan Tasikmalaya, Tasikmalaya, West Java, Indonesia.
ORCID ID: 0000-0002-5310-8520

Rizky Adi Nugraha TARIGAN
Agrotechnology Study Program, Faculty of Agriculture, Siliwangi University, Tasikmalaya, West Java, Indonesia.
ORCID ID: 0000-0002-6076-1165

Shazma ANWAR
Department of Agronomy, The University of Agriculture, Peshawar, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan.
ORCID ID: 0000-0002-8682-3627

Korkmaz BELLİTÜRK
Faculty of Agriculture, Tekirdağ Namık Kemal University, Tekirdağ, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-4944-3497

ABSTRACT
This study aimed to examine the effects of 6500K white LED light intensity and growing media on the growth and yield of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) microgreens. The experiment was conducted in Nagarawangi Village, Cihideung Subdistrict, Tasikmalaya City (355 m asl) from January to February 2025 using a factorial randomized block design. Treatments consisted of two factors: light intensity (i0 = control; i1 = 3000 lux; i2 = 4000 lux; i3 = 5000 lux; i4 = 6000 lux) and growing media (m1 = rockwool; m2 = vermicompost), each replicated three times. Data were analyzed using ANOVA followed by DMRT at a 5% significance level. Results revealed a significant interaction between light intensity and growing media on fresh weight and germination speed, while both factors independently influenced plant height and germination capacity. The best performance was achieved at a light intensity of 5000 lux with rockwool medium, which provided superior water retention and aeration, thereby supporting photosynthesis and uniform seedling development. Furthermore, the findings highlight the agribusiness potential of cowpea microgreens, characterized by a short harvesting cycle (7–14 days), strong demand in premium markets, and efficient production. Their high nutritional value and rapid turnover make them suitable for functional food development and profitable micro-scale enterprises. The simple combination of LED lighting and rockwool medium enables cultivation in limited spaces, making this commodity highly prospective for sustainable urban agribusiness as well as small-scale rural farming. These results provide practical insights for optimizing microgreen production systems and contribute to the broader discourse on climate-smart agriculture and food security.
Keywords: cowpea, growing media, microgreens, light intensity, rockwool, vermicompost, agribusiness

INTRODUCTION
Rising public awareness of healthy lifestyles has significantly increased fruit and vegetable consumption, from 226.2 g per capita per day in 2021 to 237.5 g per capita per day in 2022 (National Food Agency, 2023). However, rapid land conversion due to population growth has reduced available farmland, necessitating innovative farming systems that maximize limited space, such as urban farming (Kozai, 2018).

One promising approach is the indoor cultivation of microgreens, which are harvested within 7–21 days and provide nutrient density that is four to six times higher than that of mature vegetables (Xiao et al., 2012; Galieni et al., 2020). Their short production cycle, minimal input requirements, and growing popularity among health-conscious consumers make microgreens a strategic commodity for sustainable agribusiness (Harakotr et al., 2019; Maseva et al., 2023).

Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) is a versatile crop with high protein (23.4%) and carbohydrate (56.8%) content, and has been recognized for its role in alleviating protein-energy malnutrition and iron deficiency in Africa and Asia (Kasno & Moedjiono, 2001; Enyiukwu et al., 2018). As microgreens, cowpea demonstrates enhanced phytochemical and isoflavonoid bioactivity when harvested at seven days (Galieni et al., 2020), making it a promising candidate for functional food and agribusiness development. Its nutritional profile and adaptability further strengthen its potential as a microgreen species for both urban and rural farming systems (Butkute et al., 2019; Yasser et al., 2020).

Indoor farming relies on artificial light to support photosynthesis. White LED lights, particularly at 6500K, closely mimic natural sunlight and are effective for vegetative growth, stimulating pigment and photoreceptor activity while remaining energy-efficient (Nozue et al., 2018; Sharakshane, 2017; Hammock, 2023). Light intensity is a critical factor influencing biomass, chlorophyll formation, and nutrient accumulation. Optimal ranges for microgreens generally fall between 3,000–6,000 lux, with excessive intensity causing chlorophyll damage and insufficient intensity reducing pigment production (Schramm, 2018; Mustofa, 2022; Balázs et al., 2023). Meanwhile, growing media play a vital role in water retention, nutrient supply, and root aeration. Rockwool offers high porosity and water-holding capacity (Bintang et al., 2021), while vermicompost enhances macro- and micronutrient content through biological activity (Weber, 2016; Şahin et al., 2018).

Despite growing interest in microgreens, few studies have examined the interaction between LED light intensity (6500K spectrum) and different growing media (rockwool vs. vermicompost) in cowpea microgreens. Addressing this gap is crucial for identifying optimal cultivation strategies that maximize growth, yield, and nutritional quality while simultaneously strengthening the **agribusiness potential** of cowpea microgreens in sustainable urban farming systems. Therefore, this study aims to evaluate the effects of LED light intensities and growing media on the growth, yield, and agribusiness prospects of cowpea microgreens.

METHODS

Location and Duration

The experiment was conducted in Tasikmalaya City, Indonesia, at an elevation of 355 meters above sea level, from January to February 2025.

Materials and Equipment

The materials included cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) seeds of a local variety obtained from Tentrem Lestari, rockwool, vermicompost, and mineral water. Equipment consisted of 5-watt 6500K white LED lamps, food-grade plastic trays (16 × 16 × 5 cm), electrical wiring, lamp sockets, power plugs, a digital scale (precision 0.1 g), a temperature-humidity meter, a digital caliper, a lux meter, a hand sprayer, labels, a camera, tweezers, and writing instruments.

Experimental Design

A factorial **Randomized Block Design (RBD)** was employed with two factors:

1. LED light intensity (I): i0 = control (no light), i1 = 3000 lux, i2 = 4000 lux, i3 = 5000 lux, i4 = 6000 lux.
2. Growing medium (M): m1 = rockwool, m2 = vermicompost.

This resulted in 10 treatment combinations, each replicated three times, for a total of 30 experimental plots. Each plot contained 150 seeds, totaling 4,500 seeds. The linear model applied was:

$$X_{ijh} = \mu + \rho_i + \alpha_j + \beta_h + (\alpha\beta)_{jh} + \varepsilon_{ijh}$$

where X_{ijh} is the observation in the i-th replication, treatment factor I at level j, and factor M at level h; μ is the overall mean; ρ_i is the effect of replication; α_j is the effect of light intensity; β_h is the effect of the growing medium; $(\alpha\beta)_{jh}$ is the interaction effect; and ε_{ijh} is the random error.

Experimental Procedure

Preparation: Seeds were sorted for uniformity and soaked in water for 6 hours to accelerate germination. Rockwool slabs (14 × 14 × 2 cm) and vermicompost (216 g per tray, depth 2 cm) were prepared. A rack with compartments (25 × 25 × 50 cm) was constructed with partitions to prevent light interference between treatments. The electrical installation was completed, and lamp spacing was adjusted to achieve the target intensities using a lux meter.

Planting: Thirty trays were filled with the respective growing media and moistened with mineral water. Seeds (150 per tray) were evenly distributed and kept in darkness for 2 days to initiate germination. On day 3, LED light treatments were applied for 12 hours daily (06:00–18:00).

Light Intensity Application: LED lamps were suspended vertically above each plot. Distances were calibrated to achieve the desired intensities: 30 cm (3000 lux), 25.5 cm (4000 lux), 22 cm (5000 lux), and 20 cm (6000 lux).

Maintenance: Watering was performed twice daily (06:00 and 16:00) with 25 ml per application, totaling 50 ml per plot per day, to maintain medium moisture.

Harvesting: Microgreens were harvested 8 days after planting by cutting just above the medium surface, leaving roots intact (Eswaranpillai et al., 2023).

Observations

The following parameters were recorded: Germination capacity (% of seeds germinated), Germination rate (days), Microgreen height (cm), Fresh weight of microgreens (g)

Data Analysis

Data were subjected to Analysis of Variance (ANOVA) to test the significance of treatment effects. When significant differences were detected, Duncan's Multiple Range Test (DMRT) was applied at the 5% significance level to compare means.

RESULT AND DISCUSSION

Germination rate (%/day)

Statistical analysis revealed a significant interaction between light intensity and growing medium on the germination rate of cowpea microgreens. Increasing light intensity consistently enhanced germination speed, with the highest rate observed at 6000 lux in rockwool medium. This improvement can be attributed to enhanced imbibition and oxygen diffusion, which stimulate enzymatic activity—particularly amylase-mediated hydrolysis of starch into sugars—thereby providing energy for radicle and plumule emergence (Dharma et al., 2015; Fatikhasari et al., 2022). Light exposure also activates gibberellin hormones, breaking seed dormancy and accelerating cell division and elongation (Mustofa, 2022).

Table 4. Effect of light intensity and growing media on the germination rate of cowpea microgreens (%/day)

Medium (M)		**M1 (rockwool)**		**M2 (vermicompost)**	
LED Intensity (I) (Lux)	I0 Control)	81.24 B	a	0.86 A	a
	I1 (3000)	1.42 B	b	1.13 A	b
	I2 (4000)	1.48 B	bc	1.16 A	b
	I3 (5000)	1.53 B	c	1.22 A	bc
	I4 (6000)	2.01 B	d	1.26 A	c

Note: Mean values followed by the same uppercase letter (vertically) and lowercase letter (horizontally) do not differ significantly according to Duncan's Multiple Range Test at the 0.05 level.

Rockwool medium produced higher germination rates than vermicompost across all light intensities. Its high porosity (up to 95%) ensures superior water retention and aeration, facilitating rapid imbibition and uniform seedling emergence (Bintang et al., 2021). Vermicompost, although nutrient-rich, may have lower aeration and less consistent moisture distribution, which slows down germination compared to rockwool. The interaction effect indicates that optimal germination speed requires both adequate light intensity and a medium that balances water availability with oxygen supply.

From an agribusiness perspective, faster and more uniform germination under rockwool and moderate-to-high light intensity (4000–6000 lux) is advantageous, as it shortens production cycles and ensures consistent microgreen quality. This efficiency directly translates into higher profitability and scalability for urban farming systems.

Germination capacity

The growing medium plays a crucial role in determining seed germination capacity, as it directly influences water availability, aeration, and nutrient absorption (Komang et al., 2024). The results showed that cowpea microgreens grown in rockwool exhibited higher germination capacity than those grown in vermicompost. This can be attributed to the physical properties of rockwool, an inorganic fibrous medium with high porosity and water-holding capacity, which ensures optimal moisture and oxygen around the seed surface, thereby accelerating radicle and plumule emergence (Zade et al., 2023). Faster cotyledon splitting under rockwool conditions indicates efficient water absorption and reduced mechanical resistance during germination.

Table 1. Effect of light intensity and growing media on germination capacity of cowpea microgreens (%)

Medium (M)		**M1 (rockwool)**		**M2(vermicompost)**	
LED Intensity (I) (Lux)	I0 Control)	81,78 B	a	77,55 A	a
	I1 (3000)	90,00 B	b	83,56 A	b
	I2 (4000)	90,89 B	c	84,67 A	b
	I3 (5000)	93,11 B	d	84,89 A	b
	I4 (6000)	93,33 B	d	85,78 A	b

Note: Mean values followed by the same uppercase letter (vertically) and lowercase letter (horizontally) do not differ significantly according to Duncan's Multiple Range Test at the 0.05 level.

In contrast, vermicompost, an organic medium produced through earthworm decomposition, contains beneficial microorganisms that enhance soil biological activity and nutrient availability (Şahin et al., 2018). However, its relatively denser texture and variable moisture distribution may limit oxygen diffusion, resulting in slightly lower germination rates compared to rockwool. These findings suggest that physical properties of the medium, rather than nutrient content alone, are critical during the early germination phase of microgreens. From an agribusiness perspective, the superior germination performance in rockwool highlights its potential for scalable, controlled microgreen production systems, particularly in urban farming environments where consistency and efficiency are essential.

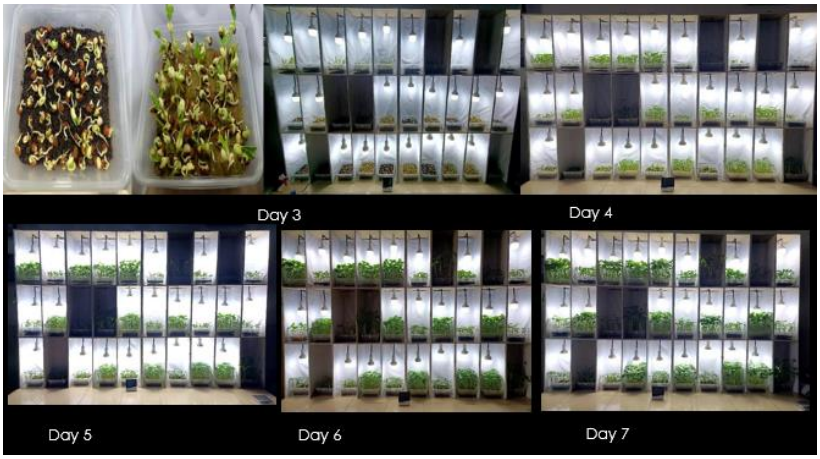


Figure 1. Microgreen's growth under LED and growing media

Microgreen fresh weight

The results indicate that increasing light intensity generally enhances the fresh weight of cowpea microgreens across both growing media. This trend reflects the positive relationship between light availability and photosynthetic activity, as higher light intensity promotes chlorophyll synthesis and carbohydrate accumulation (Alhadi et al., 2016; Balázs et al., 2023). However, at 6000 lux, a slight decline in fresh weight was observed in rockwool, likely due to excessive evaporation and transpiration, which can reduce water availability and disturb the plant's physiological balance (Toscano et al., 2021).

Table 2. Effect of light intensity and growing medium on the fresh weight of cowpea microgreens

Medium (M)		**M1 (rockwool)**		**M2(vermicompost)**	
Light Intensity (I) (Lux)	I0 Control)	84.43 B	a	44.63 A	a
	I1 (3000)	84.77 B	a	51.63 A	b
	I2 (4000)	88.73 B	b	53.00 A	b
	I3 (5000)	95.67	c	65.57 A	c
	I4 (6000)	89.80 B	b	71.33 A	d

Note: Mean values followed by the same uppercase letter (vertically) and lowercase letter (horizontally) do not differ significantly according to Duncan's Multiple Range Test at the 0.05 level.

At all light intensity levels, rockwool produced higher fresh weight than vermicompost. This can be attributed to its superior water-holding capacity—up to 95% pore space—which ensures consistent moisture and oxygen supply for photosynthesis and growth (Bintang et al., 2021). The porous structure of rockwool facilitates root respiration and nutrient uptake, leading to greater biomass accumulation. In contrast, vermicompost, although rich in nutrients and beneficial microorganisms, has lower porosity and less uniform moisture distribution, which may limit water absorption and reduce photosynthetic efficiency (Tria et al., 2023).

These findings emphasize that physical properties of the growing medium, particularly water retention and aeration, are critical determinants of microgreen productivity under controlled LED lighting. From an agribusiness perspective, the combination of moderate light intensity (around 5000 lux) and rockwool medium offers optimal growth performance and resource efficiency, making it suitable for scalable urban microgreen production systems.

Microgreen height

Light intensity had a significant independent effect on cowpea microgreen height. The tallest plants were observed under the control treatment (no light), which can be explained by etiolation a physiological response where seedlings elongate excessively in search of light due to reduced chlorophyll synthesis and altered auxin distribution (Alhadi et al., 2016). In contrast, increasing light intensity progressively reduced plant height, with the shortest plants recorded at 6000 lux.

This reduction is likely associated with enhanced photosynthetic efficiency and compact growth under sufficient light, while excessive intensity may induce stress, leading to stomatal closure and reduced elongation (Toscano et al., 2021).

The growing medium also influenced plant height. Microgreens grown in rockwool were consistently taller than those in vermicompost. Rockwool's high porosity (up to 95%) ensures superior water retention and aeration, supporting cell expansion and photosynthesis (Bintang et al., 2021). Vermicompost, although nutrient-rich, has lower porosity and less uniform moisture distribution, which may limit water availability and reduce elongation growth (Şahin et al., 2018).

Table 3. Effect of light intensity and growing medium on plant height of cowpea microgreens

Medium (M)		**M1 (rockwool)**		**M2(vermicompost)**	
LED Intensity (I) (Lux)	I0 Control)	25.79 B	a	14.96 A	d
	I1 (3000)	20.75 B	a	10.82 A	c
	I2 (4000)	19.87 B	b	9.84 A	c
	I3 (5000)	18.23 B	c	68.38 A	b
	I4 (6000)	15.93 B	b	6.68 A	a

Note: Mean values followed by the same uppercase letter (vertically) and lowercase letter (horizontally) do not differ significantly according to Duncan's Multiple Range Test at the 0.05 level.

These findings highlight that plant height in microgreens is not solely a function of nutrient supply but is strongly regulated by light intensity and medium properties. From an agribusiness perspective, moderate plant height under optimal light (4000–5000 lux) and in rockwool medium is desirable, as it produces uniform, sturdy microgreens with higher market value than elongated, fragile seedlings produced under low-light conditions.

CONCLUSION

1. A significant interaction between light intensity and growing medium was observed for fresh weight and germination rate, whereas no interaction was found for germination capacity and plant height. Both factors independently influenced germination capacity and height of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) microgreens.
2. The combination of 5000 lux LED light intensity and rockwool medium produced the most favorable outcomes in terms of growth and yield, highlighting this treatment as the optimal condition for cowpea microgreen cultivation.
3. These findings emphasize that physical properties of the growing medium and appropriate light intensity are critical determinants of microgreen productivity, with direct implications for sustainable urban agribusiness systems.

Suggestions

1. For practical cultivation, a light intensity of 5000 lux combined with rockwool medium is recommended to achieve optimal growth and yield of cowpea microgreens.
2. Future studies should explore higher LED intensities in vermicompost medium, as well as evaluate nutritional quality, phytochemical content, and economic feasibility to strengthen the agribusiness potential of cowpea microgreens.
3. Additional research on scalability, resource efficiency, and consumer acceptance would further support the integration of cowpea microgreens into urban farming and commercial agribusiness models.

References

Alhadi, D.G.D., S. Triyono., dan N. Haryono. 2016. Pengaruh penggunaan beberapa warna lampu neon terhadap pertumbuhan tanaman kailan (*Brassica oleraceae*) pada sistem hidroponik indoor. Jurnal Teknik Pertanian Lampung. 5(1): 13–24.

Balázs, L., G.P. Kovács., C. Gyuricza., P. Piroska., Á. Tarnawa dan Z. Kende. 2023. Quantifying the effect of light intensity uniformity on the crop yield by pea microgreens growth experiments. Horticulturae. 9(11): 1-16.

Bintang, P., L.N. Santika dan D. Amrih. 2021. Study of microgreens growth on various planting medium. Proceeding Of The 7th International Conference Of Science, Technology, And Interdisciplinary Research. Hal 1-6.

Butkute, B., L. Taujenis dan E. Norkevičiene. 2019. Small-seeded legumes as a novel food source variation of nutritional, mineral and phytochemical profiles in the chain: raw seeds-sprouted seeds-microgreens. Molecules. 24(1): 2-18.

Cavallaro, V dan R. Muleo. 2022. The effects of led light spectra and intensities on plant growth. Plants. 11(15): 17-21.

Elam, T. R. 2018. Everyone can grow! a curriculum to bring nature indoors.
Independently Published, Arkansas.

Enyiukwu, D., A. Amadioha dan C. Ononuju. (2018). Nutritional significance of cowpea leaves for human consumption. Greener Trends in Food Science and Nutrition. 1(1): 1–10.

Eswaranpillai, U., P. Murugesan dan P. Karuppiah. 2023. Assess the impact of cultivation substrates for growing sprouts and microgreens of selected four legumes and two grains, and evaluation of their nutritional properties. Plant Science Today. 10(2): 160–169.

Fatikhasari, Z., Lailaty, I. Q., Sartika, D., dan Ubaidi, M. A. (2022). Viabilitas dan vigor benih kacang tanah (*Arachis hypogaea* L.), kacang hijau (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek), dan jagung (*Zea mays* L.) pada temperatur dan tekanan osmotik yang berbeda. Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia, 27(1), 7–17.

Flipkart. 2021. Jeba garden enriched vermicompost 5kg first quality worm compost manure (5 kg, powder). https://www.flipkart.com/jeba-garden-enriched- vermicompost. Diakses tanggal: 10 November 2024.

Flores, M., C. Hernández., M.J. Guevara & V.H. Escalona. 2024. Effect of different light intensities on agronomic characteristics and antioxidant compounds of *Brassicaceae* microgreens in a vertical farm system. Frontiers in Sustainable Food Systems. 8: 1349423.

Galieni, A., B. Falcinelli, F. Stagnari, A. Datti e P. Benincasa. 2020. Sprouts and microgreens: trends, opportunities, and horizons for novel research. Agronomy. 10(9).

Gofar, N., T.P. Nur., S. Dwi., I. Permatasari., dan N. Sriwahyuni. 2022. Teknik Budidaya Microgreens. Bening Media Publishing, Palembang.

Gomez, K. A. dan A.A. Gomez. (2011). Prosedur Statistik untuk Penelitian Pertanian.
Edisi 2. Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press), Jakarta.

Gustia, dan Rosdiana. (2019). Komposisi media tanam dan penambahan pupuk organik cair terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman cabai. Jurnal Agrosains Dan Teknologi. 4(2): 70–78.

Hammock, H. A. (2023). The influence of spectral quality on primary and secondary the influence of spectral quality on primary and secondary metabolism of hydroponically grown basil metabolism of hydroponically grown basil. Doctoral Dissertations. University of Tennessee, Knoxville.

Harakotr, B., S. Srijunteuk, P. Rithichai, and S. Tabunhan. (2019). Effects of light-emitting diode light irradiance levels on yield, antioxidants, and antioxidant capacities of indigenous vegetable microgreens. Science & Technology Asia. 24(3).

Ibrahim, M., David, A. A., Mshelia, J. S., John, A. B., Sunday, B. A dan Stephanie, S.
B.U. 2021. Effect of climate variation on the yield of cowpea (*Vigna unguiculata*). African Journal of Agricultural Research, 17(3): 456–462.

Komang, S. T. A., Sesanti, R. N., Kartina, R., & Sismanto, S. 2024. Pertumbuhan dan kandungan vitamin c microgreen bayam merah (*Amaranthus tricolor*) pada berbagai konsentrasi nutrisi dan media tanam. Journal of Horticulture Production Technology, 2(1), 28-38.

Kozai, T. 2018. Smart plant factory: the next generation indoor vertical farms. Springer, Singapore.

Kozai, T., K. Fujiwara dan E.S Runkle. (2016). LED lighting for Urban agriculture.
Springer, Singapore.

Maghfiroh, J. 2017. Pengaruh intensitas cahaya terhadap pertumbuhan tanaman.
Prosiding seminar nasional pendidikan biologi. Yogyakarta.

Mali, M dan N.C Aery. 2009. Effect of silicon on growth, biochemical constituents, and mineral nutrition of cowpea. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 40(7–8): 1041–1052.

Mamonto, B.J.A., dan M.T Lasut. 2019. Pengaruh media tanam terhadap pertumbuhan semai *Aquilaria malaccensis* Lamk di persemaian. E Journal Universitas Sam Ratulangi. 10(3).

Maseva, S., P. Utama., A.H Sodiq dan I. Rohmawati, I. 2023. The effect of LED light (light-emitting diode) and the type of planting media on the growth of red spinach microgreens (*Amaranthus tricolor* L.). Jurnal Pertanian Agros. 25(4).

Michael, P.R., D.E. Johnston, & W. Moreno. (2020). A conversion guide: solar irradiance and lux illuminance. Journal of Measurements in Engineering. 8(4): 153–166.

Mitache, M., A. Baidani, B. Bencharki, and O. Idrissi. 2024. Exploring the impact of light intensity under speed breeding conditions on the development and growth of lentil and chickpea. Plant Methods. 20(1).

Mustofa, L. 2022. Pengaruh cahaya LED (light emite diode) biru. Skripsi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang.

Nozue, H., K. Shirai., K. Kajikawa., M. Gomi dan M. Nozue. 2018. White LED light with wide wavelength spectrum promotes high-yielding and energy-saving indoor vegetable production. Acta Horticulturae. 1227: 585–592.

Pinto, E., A. Agostinho., Almeida., A. Ana., Aguiar dan M.P.L.V.O. Isabel. 2015. Comparison between the mineral profile and nitrate content of microgreens and mature lettuces. Journal of Food Composition and Analysis. 37(3): 38–43.

Rani, S., N. Singh, C. Kaur, & E. Varghese. (2024). Measurement of phytochemical content and nutritional characteristics of microgreens grown in high altitude region of India. Journal of Food Measurement and Characterization. 18(5): 3113–3127.

Raven, P.H., R.F. Evert dan S.E. Eichhorn. (2005). Biology of Plants, 7th Edition: Photosynthesis, Light, and Life. W.H. Freeman, San Francisco.

, M., S. Laili., D. Sama' dan I. Tito. 2022. Respons tanaman alfalfa (*Medicago sativa* L.) terhadap pemberian pupuk organik cair dengan sistem hidroponik rakit apung. Sciscitatio. 3(2): 68-81.

Rohimin, I.F., H. Purnamawati dan J.G. Kartika. 2018. Evaluasi produktivitas kacang tunggak (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) pada dataran menengah. Agrohorti. 6(2): 171 - 178.

Rukmana, dan Oesman. 2000. Kacang Tunggak. Kanisius, Yogyakarta.

Ruppenthal, R. 2012. How to Sprout Raw Food: Grow an Indoor Organic Garden with Wheatgrass, Bean Sprouts, Grain Sprouts, Microgreens, and More. CreateSpace Independent Publishing, San Francisco.

Şahin, S., M. Erman dan M. Ceritoğlu. 2018. Effects of vermicompost on plant growth and soil structure. Selcuk Journal of Agricultural and Food Sciences. 32(3): 607– 615.

Sakhonwasee, S., K. Tummachai dan N. Nimnoy. 2017. Influences of LED light quality and intensity on stomata behavior of three petunia cultivars grown in a semi-closed system. Environmental Control in Biology. 55(2): 93–103.

Sarjiyah, dan A.S. Nugroho. 2020. Upaya meningkatkan produktifitas lahan dengan tumpangsari jagung manis dan kacangan. Urecol. 12(4): 5-10.

Schramm, D. D. 2018. Revitalizing human health can be achieved through herbal microgreen permaculture. Advances In Complementary and Alternative Medicine. 1(5): 66-67.

Sharakshane, A. 2017. Whole high-quality light environment for humans and plants. Life Sciences in Space Research. 15: 18–22.

Shiren, J., Z.R Hail., A. Naofel dan P.F. Michael. 2023. The impact of led (light-emitting diode) spectra on plant growth and quality. Plants. 10: 1-16.

Sodedji, F.A.K., D. Ryu., J. Choi., S. Agbahoungba., A.E. Assogbadjo dan H.Y. Kim. 2022. Genetic diversity and association analysis for carotenoid content among sprouts of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). International Journal of Molecular Sciences. 23(7).

Sri, S.R., D. Prajitno dan Toekidjo. 2011. Characterization eight indigenous accessions of cowpea (*Vigna unguiculata* (L). Walp) origin special province of Yogyakarta. Vegatalika UGM. 1(1): 1-5.

Stefani, S dan Andayani, D. E. 2022. Anti aging benefits of microgreen. Journal of Medicine and Health, 4(2), 190-202.

Sumi, M. J., S.S. Thamid., R.H. Rabbi dan S. Imran. 2024. Comparative analysis of red and green lettuce microgreens under different artificial LED lighting conditions. Archives of Agriculture and Environmental Science. 9(2): 230–235.

Suyanto, H. , dkk. 2011. Pengaruh intensitas cahaya merah 680 nm terhadap laju pertumbuhan dan kadar klorofil-a pada fase pembibitan tanaman tomat. Seminar Nasional Fisika. Pusat Penelitian Fisika-LIPI. 6.

Tefa A. 2017. Uji viabilitas dan vigor benih padi (*Oryza sativa* L.) selama penyimpanan pada tingkat kadar air yang berbeda. Savana Cendana. 2(3): 48–50.

Toscano, S., V. Cavallaro., A. Ferrante., D. Romano dan C. Patané. 2021. Effects of different light spectra on final biomass production and nutritional quality of two microgreens. Plants. 10(8).

Tria, S. N., S.R. Novi., E. Maulana., R. Kartina., D.W. Anrya dan F. Dila. 2023. Lama penyinaran dan daya lampu LED terhadap pertumbuhan dan hasil microgreen tanaman bunga matahari (*Helianthus annus*). Journal of Horticulture Production Technology. 1(1): 46-55.

Vivosun. 2024. 1" Rockwool Grow Cubes, 4 Sheets of 200 Plugs. Diakses tanggal: 10 November 2024.

Wawo, A. H., Lestari, P., Setyowati, N., Gunawan, I., Damayanti, F., & Kholidah, N. 2024. Intensitas cahaya pada perkecambahan benih dan pertumbuhan semai cabai merah landung (*Capsicum annuum* cv. Landung). Biota: Jurnal Ilmiah Ilmu Hayati, 306-318.

PAENARTHROBACTER NİTROGUAJACOLİCUS (KF3B) FAYDALI BAKTERİSİ VE FARKLI NEM DÜZEYLERİNİN ZAKKUM ÇELİKLERİNİN SÜRGÜN VERİMİNE ETKİLERİ

EFFECTS OF THE BENEFICIAL BACTERIUM PAENARTHROBACTER NITROGUAJACOLICUS (KF3B) AND DIFFERENT MOISTURE LEVELS ON THE SHOOT YIELD OF OLEANDER CUTTINGS

Muazzez DEĞERLİ ERDOĞAN
Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Siirt University, Siirt, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-7828-3512

Arzu ÇIĞ
Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Siirt University, Siirt, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-2142-5986

ÖZET
Süs bitkileri üretiminde sürgün gelişimi, kaliteli fidan elde edilmesinin önemli bir bileşenidir. Son zamanlarda dekoratif yaprakları ve çiçekleriyle peyzajda değer taşıyan süs bitkilerinde bitki gelişimini teşvik eden bakterilerin (PGPB) büyüme ve stres toleransını destekleme potansiyelleri araştırılmaktadır. Bu kapsamda, bu çalışma, *Paenarthrobacter nitroguajacolicus* KF3B suşu ve farklı köklendirme ortamı nem düzeylerinin zakkum (*Nerium oleander* L.) çeliklerinin sürgün gelişimine etkilerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü Laboratuvarı'nda üç tekerrürlü tesadüf parselleri deneme desenine göre yürütülen araştırmada, bakterili ve bakterisiz çelikler steril perlitte %25, %50 ve %100 nem uygulamalarında yetiştirilmiştir. Köklenen çeliklerde sürgün sayısı, uzunluğu, yaş ağırlığı ve kuru ağırlığı değerlendirilmiştir. KF3B + %25 nemde köklenme ve sürgün gelişimi gözlenmemiştir. Sürgün sayısı ve uzunluğunda uygulamalar arasındaki fark istatistik olarak önemli bulunmazken, yaş ve kuru ağırlıkta uygulamalar arasındaki fark P<0,001 düzeyine göre önemli bulunmuştur. Bakterisiz %50 nemde sürgün sayısı 2,15 adet, uzunluğu 47,75 mm ve yaş ağırlığı 2,83 g ile sayısal olarak en yüksek değerleri vermiştir. En yüksek kuru ağırlık bakterisiz %25 nemde 0,40 g olmuştur. KF3B + %50 ve KF3B + %100 nemde yaş ağırlık sırasıyla 0,71 ve 1,04 g, kuru ağırlık 0,12 ve 0,16 g olarak belirlenmiştir.
Anahtar kelimeler: Zakkum çeliği, KF3B, ortam nemi, sürgün gelişimi, sürgün biyokütlesi.

Abstract
In the production of ornamental plants, shoot development is a crucial component for obtaining high-quality nursery stock. Recently, the potential of plant growth-promoting bacteria (PGPB) to enhance growth and stress tolerance in ornamental plants—valued in landscaping for their decorative foliage and flowers—has been a subject of investigation. In this context, this study was conducted to determine the effects of the *Paenarthrobacter nitroguajacolicus* strain KF3B and varying moisture levels in the rooting medium on the shoot development of oleander (*Nerium oleander* L.) cuttings. The research was carried out at the Laboratory of the Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Siirt University, using a randomized complete block design with three replications. Cuttings—both treated with the bacteria and untreated—were grown in sterile perlite at moisture levels of 25%, 50%, and 100%. The number of shoots, shoot length, fresh weight, and dry weight were evaluated for the rooted cuttings. No rooting or shoot development was observed in the KF3B + 25% moisture treatment. While the differences between treatments regarding the number of shoots and shoot length were not statistically significant, the differences in fresh and dry weights were found to be significant (P<0.001). The highest numerical values—2.15 shoots, a length of 47.75 mm, and a fresh weight of 2.83 g—were recorded for the untreated cuttings grown at 50% moisture. The highest dry weight (0.40 g) was observed in the untreated cuttings grown at 25% moisture. For KF3B + 50% and KF3B + 100% moisture, the wet weight was determined to be 0.71 g and 1.04 g, respectively, while the dry weight was 0.12 g and 0.16 g.
Keywords: Oleander cutting, KF3B, substrate moisture, shoot development, shoot biomass.

1. GİRİŞ

Zakkum (*Nerium oleander* L.), dekoratif yaprakları ve çiçekleri nedeniyle dış mekân süs bitkileri üretiminde değer taşıyan bir türdür. Çelikle çoğaltmada sürgün oluşumu ve biyokütle gelişimi, elde edilen fidanların kalitesini değerlendirmede kullanılan göstergelerdir. Zakkumda büyüme düzenleyici uygulamalarının sürgün özelliklerini değiştirebildiği bildirilmiştir (Köse ve Kostak, 2000).

Bakteriyel inokulantların bahçe bitkilerinde kullanılması, uygun bakteri ve uygulama protokolü seçimine bağlı bir biyostimülasyon yaklaşımıdır (Ruzzi ve Aroca, 2015). Rizobakterilerin büyümeye etkileri doğrudan veya dolaylı olabilir; kök yüzeyinin etkin kolonizasyonu bu ilişkinin önemli bir bileşenidir (Lugtenberg ve Kamilova, 2009). Bu nedenle bakterilerin ön karakterizasyon özelliklerinin, üretimde ölçülen sürgün yanıtlarıyla birlikte değerlendirilmesi gerekir.

PGPB uygulamaları süs bitkilerinde çoğaltım materyalinin geliştirilmesi, bitki beslenmesinin desteklenmesi, abiyotik stres yanıtlarının düzenlenmesi ve çiçek kalitesinin iyileştirilmesi gibi farklı amaçlarla araştırılmaktadır. Azot fiksasyonu, fosfatın çözünürleştirilmesi, siderofor üretimi ve büyüme düzenleyici bileşiklerin sentezi doğrudan gelişimle; patojenlerle rekabet ve bazı antagonistik mekanizmalar ise dolaylı gelişim desteğiyle ilişkilidir (Lugtenberg ve Kamilova, 2009; Ruzzi ve Aroca, 2015). Bu mekanizmaların bir izolatta bulunması, her bitki türünde bütün kalite özelliklerinin birlikte artacağını göstermez.

ACC deaminaz üreten bakteriler, stresle ilişkili etilen düzeylerinin düzenlenmesi yoluyla büyümeyi destekleyebilir (Glick, 2014). Bununla birlikte bakteriyel kaynaklı kuraklık toleransının gösterilmesi, su stresi koşullarının tanımlanmasını ve büyümenin yanında fizyolojik göstergelerin incelenmesini gerektirir (Ngumbi ve Kloepper, 2016). Ortam neminin değişmesiyle görülen bir biyokütle farkı, tek başına stres toleransının artırıldığının göstergesi olarak düşünülmemelidir.

Çelikle çoğaltılan süs bitkileri arasında kalanşoya ek olarak krizantem ve kuşburnunda da bakteriyel uygulamalar araştırılmıştır. Dalda-Sekerci ve ark. (2026), krizantem yeşil çeliklerinde *Bacillus, Pseudomonas* ve *Stenotrophomonas* içeren formülasyonlarla köklenme oranı, kök uzunluğu, fide boyu, yaprak sayısı ve fide yaş ağırlığında artış bildirmiştir. Kınık ve Çelikel (2017) ise kuşburnu odun çeliklerinde bazı *Bacillus megaterium* ve *Pseudomonas fluorescens* uygulamalarında %30, kontrolde %10 köklenme saptamış; bakteri ile IBA birlikteliğinin suşa göre farklı sonuçlar verdiğini göstermiştir. Bu bulgular, çelik üretiminde köklenmenin yanı sıra gelişen fidanın toprak üstü özelliklerinin de izlenmesini desteklemektedir.

PGPB'nin kullanım alanı çelik köklendirmeyle sınırlı değildir. Yıldız Taşkesen ve ark. (2024), sera koşullarında sprey karanfilde KF3B dâhil altı bakteri suşunun büyüme ve çiçek kalitesine etkilerini incelemiştir. Uygulamaların çiçek sapı uzunluğu, sap kalınlığı ve bazı çiçeklenme özelliklerine etkileri önemli bulunurken dal ağırlığı üzerindeki etkileri önemsiz kalmıştır. Böylece kalite özelliklerindeki yanıtın biyokütle yanıtıyla aynı yönde olmayabileceği görülmektedir. Begonyada yaprak besin elementi durumu ve bitki büyümesi üzerine elde edilen sonuçlar da bakteriyel uygulamaların beslenme ve saksılı bitki kalitesi amacıyla değerlendirildiğini göstermektedir (Şenol Kotan, 2025).

Soğanlı süs bitkilerinde de bakteriyel uygulamalar büyüme ve beslenme amacıyla incelenmiştir. Bintaş ve ark. (2021), sümbülde TV119E ile en yüksek bitki boyunu 364,24 mm, TV113C ile en yüksek yaprak uzunluğunu 245,57 mm olarak bildirmiştir.

Atalay (2022), lalede TV126C, KF63C ve TV61C suşlarını tek başına ve NPK ile birlikte değerlendirmiş; bitki boyunda uygulamalar arası fark önemli bulunmamıştır. Alkaç (2023), lale ve zambakta *Bacillus cereus* ZE-7 ve *Pseudomonas putida* ZE-12 uygulamalarını kompost ve gübreleme düzeyleriyle birlikte incelemiştir. Lalede %20 kompost ve bakteri uygulamasında 33,94 cm çiçek sapı uzunluğu bildirilmiştir. Bununla birlikte, bu ortak uygulamanın sonuçları yalnızca bakteriye atfedilmemekle beraber çiçek soğan rezervleri ve yetiştirme ortamı zakkum çeliklerinden farklılık göstermesi gözardı edilmemelidir.

Zakkumu da içeren beş süs bitkisi türünde KF58B, KF63C ve IBA uygulamalarını inceleyen Batur ve Çığ (2025a), sürgün özelliklerinde uygulama ana etkisinin önemli olmadığını, tür × uygulama etkileşiminin ise yalnızca sürgün kuru ağırlığında önemli olduğunu bildirmiştir. Pakyürek ve Çığ (2021), Zivzik narı çeliklerinde sürgün sayısı ve uzunluğunu değerlendirmiştir. Zakkumda KF3B, TV53D ve KF63C suşlarını salisilik asitle birlikte inceleyen Dirikolu ve Çığ (2025) ise aynı türde sürgün oluşumlarına ilişkin veriler sunmaktadır. Kök ve sürgün özelliklerindeki farklı yanıtlar, çoğaltım başarısının birden fazla göstergeyle değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir (Batur ve Çığ, 2025b).

Bu araştırmanın amacı, *Paenarthrobacter nitroguajacolicus* KF3B suşunun %25, %50 ve %100 köklendirme ortamı nem düzeylerinde zakkum çeliklerinin sürgün sayısı, sürgün uzunluğu, sürgün yaş ağırlığı ve sürgün kuru ağırlığı üzerindeki etkilerini belirlemektir. Çalışmada farklı sürgün göstergelerinin aynı uygulamalara verdikleri yanıtlar karşılaştırılmış ve inokulasyonun sürgün gelişimi bakımından katkısı değerlendirilmiştir.

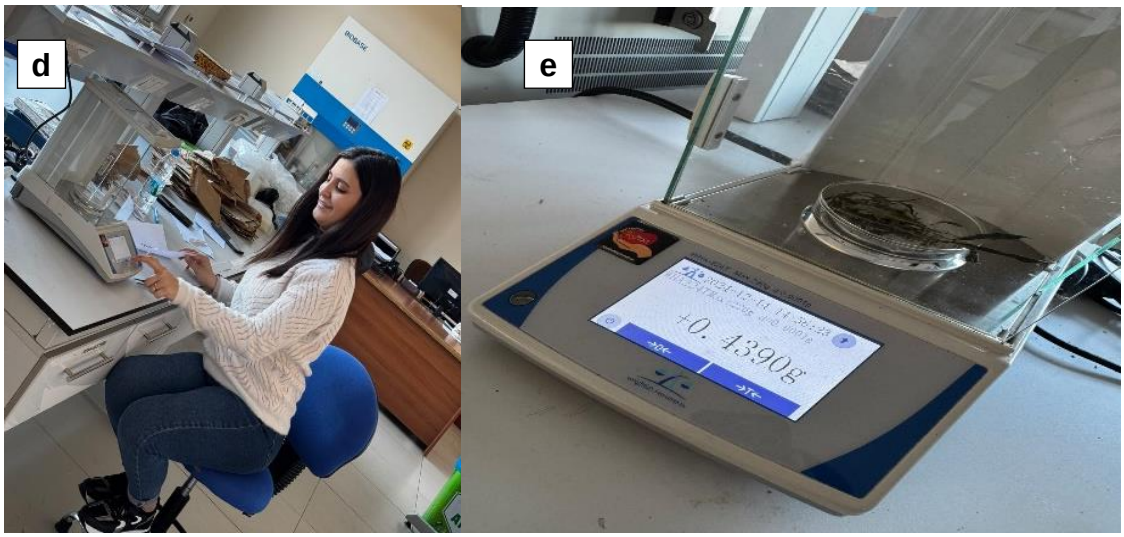
2. MATERYAL VE METOT

2.1 Bitki materyali ve deneme düzeni

Bitkisel materyal, Siirt Üniversitesi'nin Kezer Yerleşkesi'nde yetiştirilen sağlıklı zakkum (*Nerium oleander* L.) anaçlarından temin edilmiştir. Araştırma, Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü Laboratuvarı'nda, tesadüf parselleri deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak yürütülmüş ve her tekerrürde 30 çelik kullanılmıştır. Bir veya iki yaşlı sürgünlerden alınan çelikler (Şekil 1a) 30 cm uzunluğunda ve en az üç göz içerecek biçimde hazırlanmıştır. Çeliklerin dip kısmında 0,5 cm uzunluğunda kabuk kaldırılarak yara dokusu açılmış ve çelikler aynı gün dikime hazırlanmıştır (Şekil 1b).

Köklendirme ortamı olarak steril perlit kullanılmış; çelikler yaklaşık 40 cm derinliğindeki plastik kasalara dikilmiştir. Uygulamalar, bakteri inokulasyonu yapılmayan %25, %50 ve %100 nem düzeyleri ile KF3B inokulasyonu yapılan aynı üç nem düzeyinden oluşmuştur. Böylece bakteri varlığı/yokluğu ve üç nem düzeyinin birlikte ele alındığı altı uygulama oluşturulmuştur. Kontrol çeliklerine bakteriyel muamele yapılmamıştır.





Şekil 1: Zakkum çeliklerinin a) Anaç bitkiden kesilmesi, b) Dikime hazırlanması, c) Görünümü ve TDR ile nem ölçümünün yapılması, d) Sürgün ölçümlerinin yapılması, e) Sürgün kuru ağırlıklarının alınması

2.2 Bakteri izolatı ve inokulasyon

Siirt ili ekolojik koşullarından izole edilmiş KF3B (Paenarthrobacter nitroguajacolicus) suşu, Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü'nden temin edilmiştir. İzolatın tanısı 16S ribozomal DNA analiziyle yapılmıştır. Ön karakterizasyonunda azot bağlama ve siderofor üretimi pozitif, fosfat çözme negatif, ACC deaminaz etkinliği ise çok kuvvetli olarak bildirilmiştir.

Katı kültür ortamı için 1 L saf suya 20 g nutrient agar (Merck-VM71680604), sıvı kültür ortamı için 1 L saf suya 8 g nutrient broth (Merck VM775843711) eklenmiş ve ortamların pH'sı 7,0'ye ayarlanmıştır. Besi ortamları 121 °C'de 15 dakika sterilize edilmiştir. Stok kültürler katı besi yerine aktarılarak 26 ± 2 °C'de 24 saat inkübe edilmiş; daha sonra tek koloni sıvı ortama alınarak aynı sıcaklıkta 24 saat ve 120 rpm'de çalkalanmıştır. Süspansiyon yoğunluğu turbidimetrik olarak yaklaşık 10^8 CFU mL^{-1} düzeyine ayarlanmıştır.

Çeliklerin dip kısmındaki 1 cm'lik bölüm bakteriyel süspansiyonda iki saat bekletilmiştir. Dikimden sonra her çeliğin kök boğazı çevresine şırınga yardımıyla 5 mL bakteriyel süspansiyon verilmiştir. Kontrol grubu aynı nem düzeylerinde bakterisiz olarak yetiştirilmiştir.

2.3 Ortam neminin düzenlenmesi

Nem uygulamaları, köklendirme ortamının su içeriğine göre düzenlenmiştir. Referans %100 nem düzeyinde perlit suyla doyurulmuş ve bu düzey tarla kapasitesi yaklaşımıyla esas alınmıştır. Diğer uygulamalar, bu referansa göre %50 ve %25 düzeylerinde düzenlenmiştir. Ortam nemi TDR (Time Domain Reflectometry) cihazıyla izlenmiş ve sulama uygulamaları hedef düzeylere göre yapılmıştır (Şekil 1c). Burada kullanılan yüzdeler atmosferik bağıl nemi değil, köklendirme ortamı için tanımlanan göreli nem uygulamalarını ifade etmektedir. Günlük gözlemler ve nem ölçümleriyle çeliklerin gelişimi takip edilmiştir.

2.4 Gözlem ve ölçümler

Morfolojik ölçümler köklenen çeliklere ait olup, köklenen çeliklerde oluşan sürgünler sayılmış ve sürgün uzunlukları dijital kumpasla ölçülmüştür (Şekil 1d). Sürgün yaş ağırlığı, çelikler ortamdan çıkarıldıktan sonra bekletilmeden hassas teraziyle tartılarak belirlenmiştir. Kuru ağırlık için sürgünler önce laboratuvar koşullarında, ardından 70 °C'de etüvde kurutulmuş ve tartılmıştır (Şekil 1e). Sonuçlar sayı için adet, uzunluk ve kalınlık için mm, ağırlıklar için g cinsinden verilmiştir.

2.5 İstatistiksel değerlendirme

Veriler R istatistik yazılımıyla değerlendirilmiş; ortalamaların karşılaştırılmasında LSD testi α=0,05 önem düzeyinde kullanılmıştır (Keskin ve ark., 2025).

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmanın sonunda KF3B + %25 nem uygulamasında köklenme ve sürgün gelişiminin gerçekleşmediği belirlenmiştir. Bu grubun gelişim göstermemesi bir uygulama sonucu olarak dikkate alınmış, fakat köklenen çeliklere ait morfolojik özellikler için ise beş uygulamanın ortalamaları kullanılmıştır. Dolayısı ile bu faktör istatistik analize katılmamıştır.

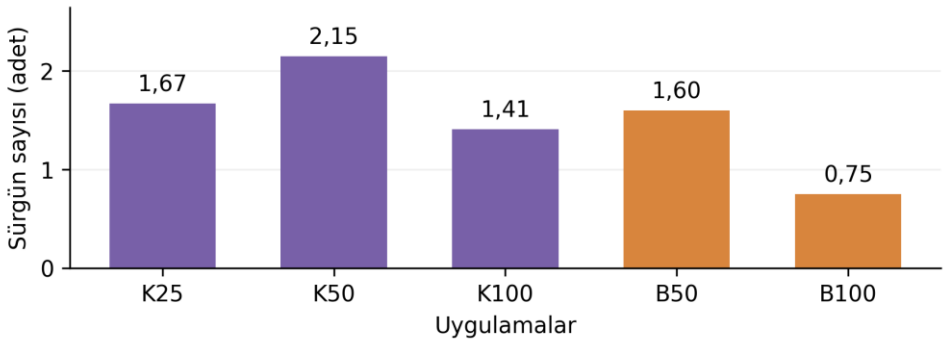
Tablo 1: Uygulamaların zakkum çeliklerinin sürgün özelliklerine etkileri

Özellik	K25	K50	K100	B50	B100	P değeri
Sürgün sayısı (adet)	1,67	2,15	1,41	1,60	0,75	ÖD
Sürgün uzunluğu (mm)	44,16	47,75	20,70	34,13	34,56	ÖD
Sürgün yaş ağırlığı**(g)	2,11 b	2,83 a	2,40 ab	0,71 c	1,04 c	P<0,001
Sürgün kuru ağırlığı** (g)	0,40 a	0,23 bc	0,27 b	0,12 d	0,16 cd	P<0,001

K25: Bakterisiz kontrol, %25 nem; **K50:** Bakterisiz kontrol, %50 nem; **K100:** Bakterisiz kontrol, %100 nem; **B:** Bakteri - KF3B *Paenarthrobacter nitroguaiacolicus*; **B50:** KF3B uygulanmış çelikler, %50 nem; **B100:** KF3B uygulanmış çelikler, %100 nem; ÖD: İstatistik olarak önemli değil.
**Aynı satırda farklı harfler ile gösterilen ortalamalar arasında istatistik olarak P<0,001 düzeyinde fark vardır.

3.1 Sürgün sayısı

Sürgün sayısı yönünden uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Bakterisiz %25, %50 ve %100 nem düzeylerinde ortalamalar sırasıyla 1,67; 2,15 ve 1,41 adet olmuştur. KF3B + %50 nemde 1,60 adet, KF3B + %100 nemde 0,75 adet sürgün belirlenmiştir. En yüksek sayısal değer bakterisiz %50 nemde, en düşük değer ise KF3B + %100 nemde elde edilmiştir (Tablo 1; Şekil 2). KF3B + %25 nem uygulamasında köklenme ve sürgün gelişimi gözlenmemiştir.



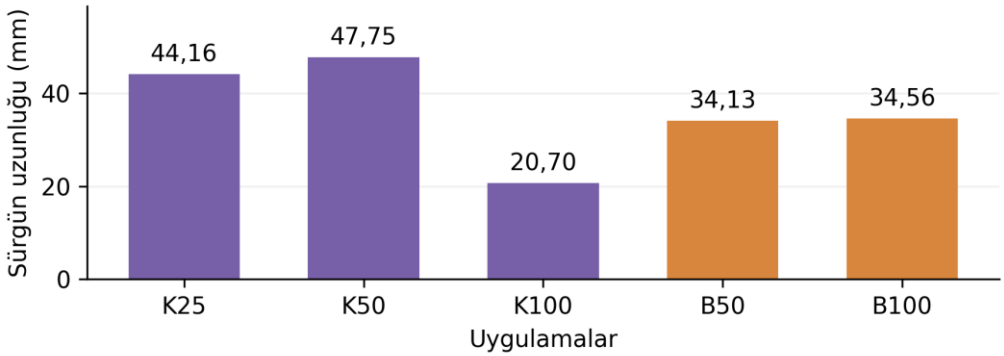
Şekil 2: Sürgün sayısı (adet)
K25/K50/K100: bakterisiz %25/%50/%100 nem; B50/B100: KF3B + %50/%100 nem.

Pakyürek ve Çığ (2021), Zivzik narında TV53D uygulamasıyla 5,6 adet, kontrol grubunda 3,5 adet sürgün bildirmiş, ancak sürgün sayısındaki farkı istatistik olarak önemli bulmamıştır. Benzer şekilde Batur ve Çığ (2025a), beş süs bitkisi türünde sürgün sayısı için hem uygulama ana etkisini hem tür × uygulama etkileşiminin istatistik olarak önemsiz bulunduğunu rapor etmiştir. Bu çalışmalar, mevcut denemede sürgün sayısındaki sayısal farklılıklardan istatistiksel bir üstünlük çıkarılamayacağını desteklemektedir.

3.2 Sürgün uzunluğu

Sürgün uzunluğu uygulamalar arasında 20,70-47,75 mm arasında değişmiş ve fark önemli bulunmamıştır. Bakterisiz %25, %50 ve %100 nem düzeylerinde değerler 44,16; 47,75 ve 20,70 mm; KF3B + %50 ve KF3B + %100 nemde ise 34,13 ve 34,56 mm olmuştur (Tablo 1; Şekil 3).

Dalda Şekerci ve Ünlü (2023) kalanşoda bakteri uygulamalarıyla fide boyunda yaklaşık iki kat artış rapor etmiştir. Zakkumda KF3B ile elde edilen sonuçlar aynı yönlü ve anlamlı bir uzunluk değeri gösterememiştir.

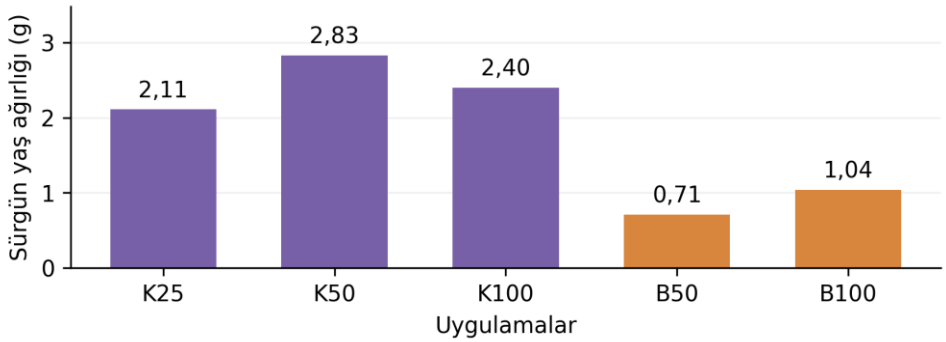


Şekil 3: Sürgün uzunluğu (mm)
K25/K50/K100: bakterisiz %25/%50/%100 nem; B50/B100: KF3B + %50/%100 nem.

Pakyürek ve Çığ (2021), nar çeliklerinde TV53D ile 30,4 cm, kontrolde 10,4 cm sürgün uzunluğu elde etmiş ve bu ortalamaları farklı istatistiksel gruplarda göstermiştir. Mevcut zakkum denemesinde ise sürgün uzunluğunda önemli fark bulunmamıştır. Nar çalışmasının toprak, kum ve çiftlik gübresi içeren harçta yürütülmesi, farklı suş kullanılması ve dip daldırma süresinin 30 dakika olması, perlitte iki saat KF3B uygulanan bu denemeyle yöntem bakımından ayrılmaktadır.

3.3 Sürgün yaş ağırlığı

Sürgün yaş ağırlığında uygulamalar arasındaki fark istatistik olarak önemli bulunmuştur ($P<0,001$). En yüksek değer bakterisiz %50 nemde 2,83 g ile elde edilmiştir. Bakterisiz %100 nemde 2,40 g, %25 nemde 2,11 g kaydedilmiştir. KF3B + %50 ve KF3B + %100 nem uygulamalarında ise sırasıyla 0,71 ve 1,04 g belirlenmiş ve her iki uygulama istatistik olarak aynı grupta yer almıştır (Tablo 1; Şekil 4).



Şekil 4: Sürgün yaş ağırlığı (g)
K25/K50/K100: bakterisiz %25/%50/%100 nem; B50/B100: KF3B + %50/%100 nem.

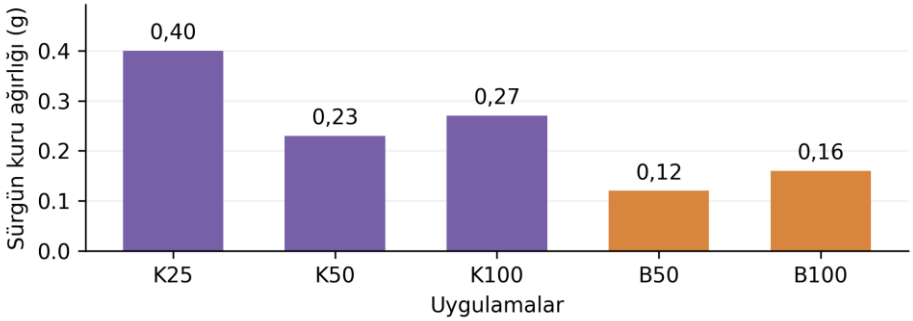
Mayak ve ark. (2004), domates ve biber fidelerinde *Achromobacter piechaudii* ARV8 ile geçici su stresi altında yaş ve kuru ağırlıkta artış bildirmiştir. Burada KF3B'nin sürgün yaş ağırlığı değeri bahse konu araştırmada elde edilen değer ile örtüşmemektedir. Farklı bakteri, bitki materyali ve stres uygulamalarının kullanılması nedeniyle bu karşıtlık, bakteriyel inokulantların bütün koşullarda aynı etkiyi göstermediğini ortaya koyan bir karşılaştırma olarak ele alınmalıdır.

Batur ve Çığ'ın (2025a) yaptığı çalışmada zakkuma ait sonuçlarında KF58B, KF63C ve kontrol uygulamalarının sürgün yaş ağırlıkları sırasıyla 0,59; 0,78 ve 0,76 g olarak bulunmuştur.

Bununla birlikte, sürgün yaş ağırlığı için tür × uygulama etkileşimi istatistik olarak önemli bulunmamıştır. Buradan farklı suşların sonuçlarının ortak bir "bakteri etkisi" altında genellenmemesi gerektiği düşüncesi oluşmaktadır.

3.4 Sürgün kuru ağırlığı

Sürgün kuru ağırlığı bakımından da uygulamalar arasındaki fark önemli bulunmuştur ($P<0,001$). Bakterisiz %25 nemde 0,40 g, %50 nemde 0,23 g, %100 nemde 0,27 g belirlenmiştir. KF3B + %50 ve KF3B + %100 nemde değerler sırasıyla 0,12 g ve 0,16 g olmuştur (Tablo 1; Şekil 5). En yüksek kuru ağırlık bakterisiz %25 nemde elde edilmiştir.



Şekil 5: Sürgün kuru ağırlığı (g)
K25/K50/K100: bakterisiz %25/%50/%100 nem; B50/B100: KF3B + %50/%100 nem.

Batur ve Çığ (2025a), sürgün kuru ağırlığında tür × uygulama etkileşimini istatistik olarak önemli bulmuş ve zakkumda KF58B (0,14 g), KF63C (0,17 g) ve kontrol (0,14 g) ortalamalarını istatistik olarak aynı gruplarda göstermiştir.

Dalda Şekerci ve Ünlü (2023) kalanşoda bakteri formülasyonlarıyla fide yaş ağırlığında yaklaşık dört kat artış bildirmiştir. Şenol Kotan (2025) ise begonyada *Bacillus megaterium* M-3 ile bitki boyunda %40 ve yaprak sayısında %133 artış rapor etmiştir.

Egamberdiyeva (2007), mısırda bakteriyel inokulantların büyüme ve besin alımı üzerine etkisinin toprak tipine göre değiştiğini göstermiştir. Bu bulgu, bakterinin etkinliğini değerlendirmede yetiştirme ortamının dikkate alınmasını destekler.

Dirikolu (2025), zakkumda KF3B ile kontrolün altında köklenme (%50,00 ve %70,00), ancak kontrolün üzerinde kök yaş ağırlığı (3,48 ve 2,32 g) bildirmiştir. Batur ve Çığ'ın (2025b) kök çalışmasındaki türe bağlı yanıtlar da kök ve sürgün göstergelerinin birlikte, fakat kendi istatistiksel sonuçlarıyla değerlendirilmesinin önemini ortaya koymaktadır.

4. SONUÇ

Zakkum çeliklerinin sürgün gelişiminde, KF3B uygulaması aynı nem düzeyindeki bakterisiz kontrollere göre yaş ve kuru biyokütlede üstünlük sağlamamıştır. Sürgün sayısı ve uzunluğunda uygulamalar arası fark önemli bulunmazken, yaş ve kuru ağırlık anlamlı biçimde farklılaşmıştır. En yüksek sürgün yaş ağırlığı bakterisiz %50 nemde 2,83 g, en yüksek kuru ağırlık bakterisiz %25 nemde 0,40 g olarak belirlenmiştir. Bu farklı sıralama, sürgün performansının yalnızca sayı, uzunluk veya tek bir ağırlık ölçütüyle tanımlanamayacağını göstermektedir. KF3B + %25 nemde gelişim gözlenmemesi ve diğer inokulasyon gruplarının aynı nemdeki kontrollerin altında kalması nedeniyle, kullanılan protokol sürgün biyokütlesini artıran bir uygulama olarak önerilemez. Bulgular köklenen çeliklerdeki sürgün özelliklerini temsil ettiğinden, üretim düzeyinde karar vermek için toplam dikilen çelik başına sürgün biyokütlesi ve yaşama oranının da belirlenmesi gerekir. Farklı inokulum yoğunlukları ve uygulama süreleriyle yapılacak çalışmalar, ortam nemi yönetimi ile bakteriyel uygulamanın birlikte optimize edilip edilemeyeceğini açıklığa kavuşturacaktır. KF3B + %25 nemde gelişim olmaması, bu protokolün düşük nem koşullarında başarılı bir sürgün oluşumu sağlamadığını göstermektedir. Bakteriyel uygulamaların kuraklıkla ilişkili performansının değerlendirilmesinde fizyolojik ölçümlere ve tutarlı tarama yöntemlerine ihtiyaç vardır (Ngumbi ve Kloepper, 2016). Sonraki çalışmalarda toplam çelik başına biyokütle, yaşama oranı, inokulum dozu, uygulama süresi ve ortam su içeriğinin birlikte izlenmesi önerilmektedir.

Teşekkür: Bu çalışma, Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yüksek lisans yapan Muazzez DEĞERLİ ERDOĞAN tarafından yürütülen "Zakkum Çeliklerinin Köklendirilmesinde Kullanılan ve ACC Deaminaz Etkinligi Gösteren KF3B (*Paenarthrobacter nitroguajacolicus*) Bakterisinin Farklı Nem Düzeylerindeki Etkisi" adlı yüksek lisans tez çalışmasının bir kısmından üretilmiştir.

Kaynaklar

Alkaç, O. S. (2023). Yetiştirme Ortamına Kompost, Bakteri ve Mikoriza Uygulamalarının Lale ve Zambak Yetiştiriciliğinde Büyüme ve Çiçeklenme Kalitesine Etkisi [Doktora tezi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi].

Atalay, K. (2022). Siirt Ekolojik Koşullarında Yetiştirilen Lalenin (*Tulipa* L.) Gelişiminde Bitki Gelişimini Teşvik Edici Bakterilerin Rolü [Yüksek lisans tezi, Siirt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].

Batur, Ş., & Çığ, A. (2025a). Bazı süs bitkileri çeliklerinde bakteriyel inokülasyon ve IBA'nın sürgün gelişimine etkileri. Bahçe, 54(Özel Sayı 1), 343–348. https://doi.org/10.53471/bahce.1558751

Batur, Ş., & Çığ, A. (2025b). Rizobakteriyel inokülasyon ve IBA'nın bazı süs bitkileri çeliklerinin köklenmesi üzerine etkilerin belirlenmesi. Bahçe, 54(Özel Sayı 1), 335–342. https://doi.org/10.53471/bahce.1558628

Bintaş, P. A., Çığ, A., & Türkoğlu, N. (2021). Some phenological and morphological properties of *Hyacinthus orientalis* cv. "Delft Blue" with treated bacterial inoculations. Polish Journal of Environmental Studies, 30(2), 1549–1556. https://doi.org/10.15244/pjoes/126484

Dalda Şekerci, A., & Ünlü, E. (2023). Bitki gelişimini teşvik eden rizobakteri (PGPR) uygulamalarının kalanşo (Kalanchoe blossfeldiana) çeliklerinde köklenme ve fide kalitesine etkisi. Erciyes Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi, 6(1), 73-78. https://doi.org/10.55257/ethabd.1265770

Dalda-Sekerci, A., Unlu, E., Avci, M., & Yetisir, H. (2026). Evaluation of the impact of IAA gene-expressing PGPR strains on rooting efficiency, seedling vigor, and protein profile in chrysanthemum cuttings. Biologia, 81, Article 47. https://doi.org/10.1007/s11756-025-02125-w

Dirikolu, S. M. (2025). Zakkum Çeliklerinin Köklenmesinde Bitki Büyümeyi Teşvik Edici Bakteri ve Salisilik Asit Uygulamalarının Etkileri [Yüksek lisans tezi, Siirt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].

Dirikolu, S. M., & Çığ, A. (2025). Bitki büyümeyi teşvik edici bakteri ve salisilik asit uygulamalarının zakkum çeliklerinde bazı sürgün özelliklerine etkileri. M. F. Baran & S. Seydoşoğlu (Ed.), International Conference on Global Practice of Multidisciplinary Scientific Studies – X Proceedings Book. International Conference on Global Practice of Multidisciplinary Scientific Studies – X, Mayıs 23 - 28, 2025, Kyrenia, CYPRUS, pp: 1482-1491.

Egamberdiyeva, D. (2007). The effect of plant growth promoting bacteria on growth and nutrient uptake of maize in two different soils. Applied Soil Ecology, 36(2–3), 184–189. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2007.02.005

Glick, B. R. (2014). Bacteria with ACC deaminase can promote plant growth and help to feed the world. Microbiological Research, 169(1), 30-39. https://doi.org/10.1016/j.micres.2013.09.009

Keskin, İ., Başpınar, E., Mikail, N., & Altay, Y. (2025). Deneysel istatistik yöntemler (RStudio uygulamalı). Necmettin Erbakan Üniversitesi Yayınları. https://doi.org/10.51144/neupress.2025.400

Kınık, E., & Çelikel, F. G. (2017). Bakteri ve oksin uygulamalarının kuşburnu bitkisinin çelikle çoğaltılması üzerine etkileri. Türk Tarım - Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5(13), 1714–1719. https://doi.org/10.24925/turjaf.v5i13.1714-1719.1526

Köse, H., & Kostak, S. (2000). Panaşalı zakkumun (*Nerium oleander* L. cv. Variegata) çelikle çoğaltılması ve paclobutrazolun büyüme ve çiçeklenmeye etkileri. ANADOLU Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi, 10(1), 31-42. https://dergipark.org.tr/tr/pub/anadolu/issue/1780/21898

Lugtenberg, B., & Kamilova, F. (2009). Plant-growth-promoting rhizobacteria. Annual Review of Microbiology, 63, 541-556. https://doi.org/10.1146/annurev.micro.62.081307.162918

Mayak, S., Tirosh, T., & Glick, B. R. (2004). Plant growth-promoting bacteria that confer resistance to water stress in tomatoes and peppers. Plant Science, 166(2), 525–530. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2003.10.025

Ngumbi, E., & Kloepper, J. (2016). Bacterial-mediated drought tolerance: Current and future prospects. Applied Soil Ecology, 105, 109-125. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.04.009

Pakyürek, M., & Çığ, A. (2021). The effect of bacterial & hormonal applications on the rooting of Zivzik pomegranate cuttings. B. Kır & S. Seydoşoğlu (Ed.), 3rd International Conference on Food, Agriculture and Veterinary, 19-20 June 2021, İzmir, Türkiye, pp: 1347-1357.

Ruzzi, M., & Aroca, R. (2015). Plant growth-promoting rhizobacteria act as biostimulants in horticulture. Scientia Horticulturae, 196, 124-134. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.042

Şenol Kotan, M. (2025). Effect of PGPB on leaf nutrient status and growth of *Begonia semperflorens*. International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences, 9(2), 551-558. https://doi.org/10.31015/2025.2.28

Yıldız Taşkesen, E., Çığ, A., & Türkoğlu, N. (2024). Effects of PGPB inoculations on plant growth and quality of spray carnation cultivation in greenhouse. Journal of Agricultural Sciences, 30(4), 668–684. https://doi.org/10.15832/ankutbd.1339822

PEG 6000 KAYNAKLI OZMOTİK STRESİN KARPUZ FİDELERİNDE SÜRGÜN BİYOKÜTLESİ VE ADVENTİF KÖK YAYILIMI ÜZERİNE ETKİLERİ

EFFECTS OF PEG 6000-INDUCED OSMOTIC STRESS ON SHOOT BIOMASS AND ADVENTITIOUS ROOT SPREAD IN WATERMELON SEEDLINGS

Dilan KARATAŞ
Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Siirt University, Siirt, Türkiye.
ORCID ID: 0009-0000-0925-8209

M. Zeki KARİPÇİN
Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Siirt University, Siirt, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-0105-6052

Özet

Kuraklık koşullarına dayanıklı bitkilerin geliştirilmesinde, erken gelişme dönemindeki sürgün ve kök sistemi tepkilerinin belirlenmesi önem taşımaktadır. Bu çalışmada, farklı polietilen glikol 6000 (PEG 6000) konsantrasyonlarının karpuz fidelerinde toprak üstü yaş ağırlığı ve adventif köklerin enine yayılımı üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Araştırmada bitkisel materyal olarak 37 numaralı karpuz genotipi kullanılmıştır. Deneme, tesadüf parselleri deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak kurulmuş ve her tekerrürde beş fide yer almıştır. Benzer gelişme düzeyindeki çimlenmiş tohumlar, modifiye edilmiş kâğıt rulo–PVC plaka sistemine aktarılmış ve 0, 3, 6, 12, 24, 48, 96, 192 ve 384 g L^{-1} PEG 6000 içeren uygulama ortamlarında 15 gün süreyle yetiştirilmiştir. Deneme sonunda toprak üstü yaş ağırlığı tartılarak belirlenmiş; adventif köklerin enine yayılımı ise 300 dpi çözünürlükte elde edilen kök görüntüleri üzerinden ImageJ yazılımı kullanılarak ölçülmüştür. Kontrol–96 g L^{-1} arasındaki uygulamalara ait tekerrür ortalamaları tek yönlü varyans analiziyle değerlendirilmiş ve ortalamalar Tukey HSD testiyle karşılaştırılmıştır. PEG 6000 konsantrasyonlarının toprak üstü yaş ağırlığı ve adventif köklerin enine yayılımı üzerindeki etkileri önemli bulunmuştur (sırasıyla, $F_{6,14}$ = 55,752 ve 34,412; $p < 0,001$). Toprak üstü yaş ağırlığı kontrol grubunda 1,300 g iken 24, 48 ve 96 g L^{-1} uygulamalarında sırasıyla 0,493, 0,100 ve 0,001 g olarak belirlenmiştir. Adventif köklerin enine yayılımı 12 g L^{-1} uygulamasında 8,857 cm iken 24 g L^{-1} uygulamasında 1,533 cm'ye düşmüş; 24, 48 ve 96 g L^{-1} uygulamaları aynı istatistiksel grupta yer almıştır. Ayrıca, 192 ve 384 g L^{-1} uygulamalarında deneme sonunda yaşayan fide bulunmamıştır. Bulgular, artan PEG 6000 konsantrasyonlarının karpuz fidelerinde toprak üstü gelişimi baskıladığını ve adventif köklerin enine yayılımını sınırlandırdığını göstermiştir. Özellikle 12–24 g L^{-1} aralığında adventif kök yayılımında belirgin bir değişim görülmesi, sonraki çalışmalar için bu aralığın daha ayrıntılı incelenmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Anahtar kelimeler: *Citrullus lanatus*, PEG 6000, ozmotik stres, toprak üstü yaş ağırlığı, adventif kök yayılımı

Abstract

Drought-resistant plant development requires an understanding of shoot and root system responses during early growth stages. This study aimed to determine the effects of different polyethylene glycol 6000 (PEG 6000) concentrations on aboveground fresh weight and the lateral spread of adventitious roots in watermelon seedlings. Watermelon genotype 37 was used as the plant material. The experiment was established in a completely randomized design with three replicates, each consisting of five seedlings. Germinated seeds at similar developmental stages were transferred to a modified paper roll–PVC plate system and grown for 15 days in media containing 0, 3, 6, 12, 24, 48, 96, 192, and 384 g L^{-1} PEG 6000. At the end of the experiment, aboveground fresh weight was determined by weighing, while the lateral spread of adventitious roots was measured using ImageJ software from root images acquired at a resolution of 300 dpi. Replicate means from the control through the 96 g L^{-1} treatment were subjected to one-way analysis of variance, and the means were compared using Tukey's HSD test. PEG 6000 concentration significantly affected both aboveground fresh weight and the lateral spread of adventitious roots ($F_{6,14}$ = 55.752 and 34.412, respectively; $p < 0.001$). Aboveground fresh weight was 1.300 g in the control and decreased to 0.493, 0.100, and 0.001 g under the 24, 48, and 96 g L^{-1} treatments, respectively.

The lateral spread of adventitious roots decreased from 8.857 cm at 12 g L^{-1} to 1.533 cm at 24 g L^{-1}, while the 24, 48, and 96 g L^{-1} treatments were included in the same statistical group. Furthermore, no surviving seedlings were observed at the end of the experiment under the 192 and 384 g L^{-1} treatments. These findings demonstrate that increasing PEG 6000 concentrations suppress aboveground growth and restrict the lateral spread of adventitious roots in watermelon seedlings. The marked change in adventitious root spread between 12 and 24 g L^{-1} indicates that this concentration range should be investigated in greater detail in future studies.
Keywords: *Citrullus lanatus*, PEG 6000, osmotic stress, aboveground fresh weight, adventitious root spread

Giriş

Kuraklık, bitkilerde su alımını sınırlandırarak büyüme ve gelişmenin birçok aşamasını etkileyen önemli bir abiyotik stres etmenidir. Karpuz (*Citrullus lanatus*) sıcak ve kurak koşullara belirli ölçüde uyum gösterebilmekle birlikte, su noksanlığı bitkinin morfolojik ve fizyolojik özellikleri ile verim oluşumunu olumsuz etkileyebilmektedir. Nitekim yabani ve kültür karpuzu genotipleriyle yürütülen araştırmalarda, kuraklık koşullarına verilen tepkilerin genotiplere göre önemli ölçüde değiştiği belirlenmiştir (Karipçin ve ark., 2012). Karpuz köklerinde kısa süreli ozmotik stres altında gerçekleştirilen transkriptom analizleri de hücre bölünmesi, kök büyümesi, ozmotik düzenleme, hormon sinyalleri ve stres savunmasıyla ilişkili çok sayıda sürecin etkilendiğini göstermiştir (Yang ve ark., 2016).

Kök sistemi, bitkinin suya ulaşmasını sağlamasının yanı sıra su noksanlığını ilk algılayan ve bu koşullara uyum tepkilerini başlatan temel organlardan biridir. Köklerin uzunluğu, dağılımı ve dallanma biçimi, bitkinin sınırlı su kaynaklarından yararlanma kapasitesini doğrudan etkileyebilir. Yabani karpuz üzerinde yapılan bir çalışmada, kuraklığın erken döneminde kök gelişiminin teşvik edildiği ve bunun daha derin katmanlardaki suya ulaşmaya yönelik bir kuraklıktan kaçınma mekanizmasıyla ilişkili olabileceği bildirilmiştir. Stresin ilerleyen dönemlerinde ise kök sistemindeki moleküler ve yapısal tepkilerin değiştiği belirlenmiştir (Yoshimura ve ark., 2008). Bu bulgular, karpuzda kuraklığa tepkinin yalnızca kök uzunluğu üzerinden değil, kök sisteminin uzamsal dağılımı ve sürgün gelişimiyle birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Polietilen glikol 6000, kontrollü koşullarda yetiştirme ortamının ozmotik potansiyelini azaltarak su noksanlığına benzer koşullar oluşturmak amacıyla kullanılmaktadır. Bununla birlikte PEG 6000 çözeltisinin ozmotik potansiyeli, konsantrasyonla doğrusal biçimde değişmemekte ve ortam sıcaklığından da etkilenmektedir (Michel ve Kaufmann, 1973). Bu nedenle PEG 6000 konsantrasyonlarının bitki türü, genotip, gelişme dönemi ve uygulama süresi dikkate alınarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Karpuzda PEG 6000 kullanılarak yürütülen çalışmalar, kök dokusunun ozmotik strese hızlı ve çok yönlü tepkiler verdiğini ortaya koymuş olsa da farklı konsantrasyonların erken fide döneminde sürgün gelişimi ve kök sisteminin enine yayılımı üzerindeki etkilerine ilişkin bilgiler sınırlıdır (Yang ve ark., 2016).

Bu çalışmada, farklı PEG 6000 konsantrasyonlarının karpuz fidelerinde toprak üstü yaş ağırlığı ve adventif köklerin enine yayılımı üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, fide gelişiminin sürdürülebildiği ve büyüme özelliklerinde belirgin değişimlerin ortaya çıktığı PEG 6000 konsantrasyon aralıklarının sonraki çalışmalar için ön değerlendirilmesi hedeflenmiştir.

Materyal ve Yöntem

Bitkisel materyal ve deneme düzeni

Araştırma, Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma ve Uygulama Laboratuvarında yürütülmüştür. Bitkisel materyal olarak 37 numaralı karpuz (*Citrullus lanatus*) genotipi kullanılmıştır. Deneme, tesadüf parselleri deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak kurulmuş ve her tekerrürde beş fide yer almıştır.

Benzer büyüklük ve ağırlıktaki tohumlar seçilmiş; yüzey sterilizasyonu amacıyla önce %5'lik sodyum hipoklorit çözeltisinde 5 dakika, ardından %70'lik etanolde 1 dakika bekletilmiştir. Sterilizasyonun ardından tohumlar distile suyla yıkanmış ve embriyo gelişimi gözleninceye kadar Petri kaplarına yerleştirilmiş çimlendirme kâğıtları üzerinde çimlendirilmiştir.

PEG 6000 uygulamaları

Erken dönem kök gelişiminin incelenmesinde, Zhu ve ark. (2006) tarafından bildirilen kâğıt rulo yönteminden uyarlanan kök analiz sistemi kullanılmıştır.

Sistem, 40 × 40 cm boyutlarındaki sert PVC plakalar arasına yerleştirilen çimlendirme kâğıtlarından oluşturulmuştur. Benzer gelişme düzeyindeki çimlenmiş tohumlar, PVC plakalar içerisindeki çimlendirme kâğıtlarına 10 cm aralıklarla yerleştirilmiştir. Plakalar dikey konumda ve 20 cm su seviyesine sahip kaplar içerisinde tutulmuş; köklerin ışık almasını önlemek amacıyla kapların dış kısmı siyah materyalle örtülmüştür. Deneme süresince sıvı seviyesi düzenli olarak kontrol edilmiştir.
PEG 6000 uygulamaları, bir litre saf suya sırasıyla 0, 3, 6, 12, 24, 48, 96, 192 ve 384 g PEG 6000 ilave edilerek hazırlanmıştır. PEG 6000 içermeyen uygulama kontrol olarak değerlendirilmiştir. Deneme 15 gün sürdürülmüştür.

İncelenen özellikler

Bu bildiri kapsamında sürgün biyokütlesi, toprak üstü yaş ağırlığı üzerinden değerlendirilmiş; ayrıca adventif köklerin enine yayılımı belirlenmiştir. Deneme sonunda fidelerin toprak üstü kısımları ayrılarak hassas terazide tartılmış ve toprak üstü yaş ağırlığı gram (g) cinsinden kaydedilmiştir.
Kök sistemleri, deneme sonunda çimlendirme kâğıtları dikkatlice açıldıktan sonra 300 dpi çözünürlüğe ayarlanmış taşınabilir dijital tarayıcıyla görüntülenmiştir. Görüntüleme sırasında çimlendirme kâğıdının üst tabakası çıkarılmış ve köklerin konumunu korumak amacıyla fidelerin üzerine şeffaf bir levha yerleştirilmiştir. Adventif köklerin iki yana doğru oluşturduğu toplam enine yayılım, dijital görüntüler üzerinden ImageJ yazılımı kullanılarak ölçülmüş ve santimetre olarak ifade edilmiştir.
Her tekerrürde bulunan fidelerden elde edilen ölçümlerin ortalaması alınmış ve bu ortalamalar istatistiksel analizde bağımsız gözlem olarak kullanılmıştır.

İstatistiksel analiz

Toprak üstü yaş ağırlığı ve adventif köklerin enine yayılımına ilişkin veriler tek yönlü varyans analiziyle değerlendirilmiştir. Analizde PEG 6000 konsantrasyonu sabit faktör olarak ele alınmış ve her uygulama üç tekerrürle temsil edilmiştir. Uygulama etkisinin önemli bulunduğu durumlarda ortalamalar arasındaki farklılıklar Tukey HSD testi ile belirlenmiştir ($p < 0,05$). Sonuçlar ortalama ± standart hata biçiminde verilmiştir. Kontrol ile 96 g L^{-1} arasındaki uygulamalar büyüme özelliklerine ilişkin istatistiksel analize dâhil edilmiştir. Deneme sonunda 192 ve 384 g L^{-1} uygulamalarında yaşayan fide bulunmadığından, bu uygulamalara kaydedilen sıfır değerleri büyüme ölçümü olarak kabul edilmemiş ve varyans analizine alınmamıştır. Bu uygulamalardaki fide kaybı tanımlayıcı bulgu olarak değerlendirilmiştir. Analizler JMP Pro 18 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) programında gerçekleştirilmiştir.

Bulgular

PEG 6000 konsantrasyonlarının karpuz fidelerinde toprak üstü yaş ağırlığı ve adventif köklerin enine yayılımı üzerindeki etkilerine ilişkin ortalama değerler ve Tukey grupları Tablo 1'de verilmiştir. PEG 6000 konsantrasyonlarının her iki özellik üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,001$).
Farklı PEG 6000 konsantrasyonları karpuz fidelerinin toprak üstü yaş ağırlığını önemli düzeyde etkilemiştir ($F_{6,14}=55,752$; $p <0,001$). En yüksek toprak üstü yaş ağırlığı kontrol uygulamasında 1,300 ± 0,115 g olarak belirlenmiştir. PEG 6000 uygulanan fidelerde bu değer 3, 6 ve 12 g L^{-1} konsantrasyonlarında sırasıyla 0,701 ± 0,022, 0,768 ± 0,055 ve 0,785 ± 0,052 g olmuştur. Bu üç uygulama arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık bulunmamıştır. Toprak üstü yaş ağırlığı 24 g L^{-1} uygulamasında 0,493 ± 0,072 g'a, 48 g L^{-1} uygulamasında ise 0,100 ± 0,000 g'a düşmüştür. En düşük değer 0,001 ± 0,000 g ile 96 g L^{-1} uygulamasında belirlenmiş; 48 ve 96 g L^{-1} uygulamaları aynı istatistiksel grupta yer almıştır. Kontrol uygulaması bütün PEG 6000 uygulamalarından önemli derecede yüksek bulunmuştur (Tablo 1).

Tablo 1. Farklı PEG 6000 konsantrasyonlarının karpuz fidelerinde toprak üstü yaş ağırlığı ve adventif köklerin enine yayılımı üzerine etkileri

PEG 6000	**Toprak üstü yaş ağırlığı (g)**	**Adventif kök yayılımı (cm)**
Kontrol	1,300 ± 0,115 a	11,000 ± 1,155 a
3 g L^{-1}	0,701 ± 0,022 bc	7,463 ± 0,520 b
6 g L^{-1}	0,768 ± 0,055 bc	8,604 ± 1,246 ab
12 g L^{-1}	0,785 ± 0,052 b	8,857 ± 0,595 ab
24 g L^{-1}	0,493 ± 0,072 c	1,533 ± 0,291 c
48 g L^{-1}	0,100 ± 0,000 d	1,090 ± 0,064 c
96 g L^{-1}	0,001 ± 0,000 d	1,413 ± 0,126 c

Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir (n = 3). Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar Tukey HSD testine göre önemlidir ($p < 0,05$). PEG 6000 uygulamasının her iki özellik üzerindeki etkisi $p < 0,001$ düzeyinde önemli bulunmuştur. 192 ve 384 g L^{-1} uygulamalarında deneme sonunda yaşayan fide bulunmadığından bu uygulamalar büyüme analizine dâhil edilmemiştir.

PEG 6000 konsantrasyonlarının adventif köklerin enine yayılımı üzerindeki etkisi de önemli bulunmuştur ($F_{6,14}=34,412$; $p<0,001$). En yüksek ortalama değer 11,000 ± 1,155 cm ile kontrol uygulamasından elde edilmiştir. Adventif köklerin enine yayılımı 3, 6 ve 12 g L^{-1} uygulamalarında sırasıyla 7,463 ± 0,520, 8,604 ± 1,246 ve 8,857 ± 0,595 cm olarak belirlenmiştir. Kontrol ile 6 ve 12 g L^{-1} uygulamaları arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık bulunmazken, 3 g L^{-1} uygulaması kontrolden daha düşük bir değer göstermiştir. PEG 6000 konsantrasyonu 24 g L^{-1}'ye yükseldiğinde adventif köklerin enine yayılımı 1,533 ± 0,291 cm'ye gerilemiştir. Bu özellik bakımından 24, 48 ve 96 g L^{-1} uygulamaları arasında önemli bir farklılık bulunmamış ve bu uygulamalar aynı istatistiksel grupta yer almıştır. Buna karşılık söz konusu üç uygulama, 3, 6 ve 12 g L^{-1} uygulamalarından önemli derecede daha düşük değerler göstermiştir (Tablo 1).

Deneme sonunda 192 ve 384 g L^{-1} PEG 6000 uygulamalarında canlı fide bulunmamıştır. Bu nedenle söz konusu uygulamalar yaşayan fidelerden elde edilmiş büyüme ölçümleri olarak değerlendirilmemiş ve varyans analizine dâhil edilmemiştir; durum Tablo 1'de açıklayıcı dipnotla gösterilmiştir.

Tartışma

Bu çalışmada PEG 6000 konsantrasyonları, karpuz fidelerinin hem toprak üstü yaş ağırlığını hem de adventif köklerinin enine yayılımını önemli ölçüde etkilemiştir. Bununla birlikte, iki özellik PEG konsantrasyonlarına aynı tepki örüntüsünü göstermemiştir. Toprak üstü yaş ağırlığı PEG 6000 uygulanan bütün gruplarda kontrol grubuna göre önemli ölçüde azalırken, adventif köklerin enine yayılımındaki belirgin sınırlanma özellikle 24 g L^{-1} ve üzerindeki konsantrasyonlarda ortaya çıkmıştır. Bu farklılık, fidelerin toprak üstü gelişimi ile adventif kök sisteminin yatay yayılımının ozmotik koşullara karşı aynı duyarlılığa sahip olmayabileceğini göstermektedir.

Toprak üstü yaş ağırlığı kontrol uygulamasında 1,300 g olarak belirlenmiş; bu değer 3, 6, 12, 24, 48 ve 96 g L^{-1} PEG 6000 uygulamalarının tamamından istatistiksel olarak daha yüksek bulunmuştur. Bununla birlikte, 3, 6 ve 12 g L^{-1} uygulamaları arasında önemli bir farklılığın bulunmaması, düşük konsantrasyon aralığında düzenli ve basamaklı bir azalma gerçekleşmediğini göstermektedir. En düşük değerlerin 48 g L^{-1}'de 0,100 g ve 96 g L^{-1}'de 0,001 g olarak belirlenmesi ise yüksek konsantrasyonlarda toprak üstü fide gelişiminin çok güçlü biçimde sınırlandığını ortaya koymaktadır.

Bu bulgu, Hamurcu ve ark. (2020) tarafından iki farklı karpuz genotipinde bildirilen sonuçlarla genel olarak uyumludur.

Araştırıcılar, %15 PEG 6000 uygulamasının her iki genotipte de kontrol grubuna göre sürgün ve kök yaş ağırlıklarını azalttığını belirlemiştir. Benzer şekilde Ren ve ark. (2025), 13 karpuz genotipiyle yürüttükleri saksı çalışmasında devamlı su kısıtının sürgün ve kök yaş ve kuru ağırlıkları ile bazı kök mimarisi özelliklerini önemli ölçüde azalttığını bildirmiştir. Söz konusu çalışmalarda kullanılan genotipler, uygulama yöntemleri ve stres düzeyleri mevcut araştırmadan farklı olmakla birlikte, karpuz fidelerinde su alımını sınırlandıran koşulların sürgün yaş ağırlığını azaltabildiği yönündeki ortak eğilim, bu çalışmanın sonuçlarını desteklemektedir.

Toprak üstü yaş ağırlığındaki azalma, PEG 6000 konsantrasyonunun yükselmesine bağlı olarak ortamın su potansiyelinin düşmesi ve fidelerin su alımının güçleşmesiyle ilişkili olabilir. Su alımının kısıtlanması hücre turgorunu, hücre genişlemesini ve buna bağlı fide gelişimini sınırlandırabilir. Bununla birlikte, mevcut çalışmada bitki su durumu, hücre turgoru, fotosentez veya kuru ağırlık ölçülmediğinden, bu mekanizmalar doğrudan kanıtlanmış süreçler olarak değil, gözlenen yaş ağırlık azalmasının olası fizyolojik açıklamaları olarak değerlendirilmelidir. Ayrıca yaş ağırlık hem dokuların içerdiği su miktarından hem de oluşan biyokütleden etkilenmektedir. Bu nedenle elde edilen sonuçlar kuru madde birikimindeki azalmayla eş anlamlı kabul edilmemeli; doğrudan, PEG 6000 uygulaması altında toprak üstü yaş ağırlığının azaldığını gösterecek biçimde yorumlanmalıdır.

Adventif köklerin enine yayılımı bakımından farklı bir tepki örüntüsü belirlenmiştir. Kontrol grubunda 11,000 cm olan ortalama değer, 3, 6 ve 12 g L^{-1} uygulamalarında sırasıyla 7,463, 8,604 ve 8,857 cm olarak gerçekleşmiştir. Bu üç PEG konsantrasyonu kendi aralarında istatistiksel olarak farklı bulunmamıştır. Ayrıca 6 ve 12 g L^{-1} uygulamaları kontrol grubuyla da aynı istatistiksel grubu paylaşmıştır. Buna karşılık 24, 48 ve 96 g L^{-1} uygulamaları aynı düşük istatistiksel grupta yer almış ve bu konsantrasyonlarda adventif köklerin enine yayılımı belirgin biçimde sınırlandırılmıştır. Özellikle 12 g L^{-1}'de 8,857 cm olan ortalama değerin 24 g L^{-1}'de 1,533 cm'ye düşmesi, incelenen doz dizisi içinde en güçlü değişimin 12–24 g L^{-1} aralığında meydana geldiğini göstermektedir.

Karpuzda su kısıtının kök gelişimi üzerindeki etkilerine ilişkin literatür, kök tepkisinin her koşulda aynı yönde olmadığını göstermektedir. Yang ve ark. (2016), su noksanlığına görece dayanıklı M08 karpuz hattına uygulanan %20 PEG 6000'in köklerde ozmotik düzenleme, hormon yanıtları, hücre bölünmesi ve hücre döngüsüyle ilişkili süreçleri değiştirdiğini ve kısa süreli ozmotik stres altında kök büyümesinin baskılanmasının uyumsal yanıtın bir parçası olabileceğini bildirmiştir. Ren ve ark. (2025) da devamlı su kısıtı altında karpuz fidelerinin toplam kök uzunluğu, kök yüzey alanı, kök hacmi, kök ucu sayısı ve kök dallanmasının azaldığını belirlemiştir. Bu sonuçlar, mevcut çalışmada 24–96 g L^{-1} aralığında gözlenen sınırlı adventif kök yayılımıyla yön bakımından uyumludur.

Buna karşılık Yoshimura ve ark. (2008), yabani karpuzda kuraklığın erken döneminde kök gelişiminin sulanan bitkilere göre arttığını ve bu tepkinin daha derindeki su kaynaklarına ulaşmaya yönelik bir kuraklıktan kaçınma mekanizması olabileceğini bildirmiştir. Mevcut çalışmada yüksek PEG konsantrasyonları altında adventif kök yayılımının azalmasıyla bu bulgu arasındaki farklılık; kullanılan bitki materyalinin yabani veya kültür formu olması, genotip özellikleri, stres oluşturma yöntemi, stresin şiddeti ve süresi ile ölçülen kök özelliğinin farklılığıyla ilişkili olabilir. Nitekim kök gelişimindeki artışın hafif veya erken dönemli su kısıtında ortaya çıkabilmesi, buna karşılık stres şiddeti arttıkça kök büyümesinin sınırlandırılması mümkündür. Ancak mevcut araştırmada zamana bağlı ölçüm yapılmadığından, adventif kök yayılımının uygulama süresince önce artıp daha sonra azalıp azalmadığı belirlenememiştir.

Burada önemli bir diğer husus, mevcut araştırmada ölçülen özelliğin toplam kök uzunluğu, kök kuru ağırlığı veya kök yüzey alanı değil, adventif köklerin enine yayılımı olmasıdır. Dolayısıyla Yang ve ark. (2016), Yoshimura ve ark. (2008) ve Ren ve ark. (2025) tarafından bildirilen kök tepkileriyle yapılan karşılaştırmalar, aynı değişkenlerin bire bir karşılaştırılması olarak değerlendirilmemelidir. Bu çalışmalar, yalnızca karpuz kök sisteminin su kısıtı veya PEG uygulaması altındaki genel tepki yönünün tartışılmasına yardımcı olmaktadır. Bu araştırmanın bulguları ise doğrudan, 24–96 g L^{-1} PEG 6000 uygulamalarının adventif köklerin yatay yöndeki yayılımını sınırlandırdığını göstermektedir.

Adventif köklerin enine yayılımında 12 ve 24 g L^{-1} uygulamaları arasında gözlenen güçlü değişim, bu konsantrasyon aralığının genotip 37 bakımından dikkatle incelenmesi gerektiğini göstermektedir. Ancak denemede 12 ile 24 g L^{-1} arasında ara konsantrasyon bulunmadığından, 24 g L^{-1}'nin kesin bir fizyolojik eşik veya adventif kök gelişimini engelleyen en düşük konsantrasyon olduğu söylenemez.

Bu nedenle 12–24 g L^{-1} aralığı bir "kesin eşik" olarak değil, daha sık konsantrasyon basamaklarıyla araştırılması gereken olası bir geçiş aralığı olarak değerlendirilmelidir.

En yüksek iki konsantrasyon olan 192 ve 384 g L^{-1} uygulamalarında deneme sonunda canlı fide bulunmaması, bu uygulamaların kullanılan genotip ve deney koşulları altında fide yaşamasıyla bağdaşmayan düzeyde etkili olduğunu göstermektedir. Bu gruplara ait sıfır değerler, yaşayan fidelerden elde edilmiş büyüme ölçümleri değildir. Bu nedenle söz konusu uygulamaların yaş ağırlık ve adventif kök yayılımına ilişkin varyans analizinin dışında tutulması ve sonuçlarının "canlı fide bulunmaması" şeklinde tanımlayıcı olarak verilmesi uygundur. Bununla birlikte, bu konsantrasyonların etkisi yalnızca PEG miktarıyla ilişkilendirilmeli; çözeltilerin ozmotik potansiyeli ölçülmediği için belirli bir kuraklık şiddeti sınıfına karşılık geldiği ileri sürülmemelidir.

Sonuç olarak literatürle birlikte değerlendirildiğinde, toprak üstü yaş ağırlığının PEG 6000 uygulamasına düşük konsantrasyonlardan itibaren duyarlı olduğu; adventif köklerin enine yayılımındaki esas sınırlanmanın ise 24 g L^{-1} ve üzerindeki uygulamalarda ortaya çıktığı anlaşılmaktadır. Bununla birlikte, çalışma tek bir genotipte, fide döneminde ve kontrollü bir PEG sistemi altında gerçekleştirilmiştir. PEG ile oluşturulan ozmotik koşullar, toprakta gelişen kuraklığın bütün fiziksel ve biyolojik bileşenlerini temsil etmemektedir; nitekim PEG uygulamasının hızlı bir ozmotik etki oluşturması ile toprak suyunun zaman içinde azalması aynı süreçler değildir. Bu nedenle bulgular genotip 37'nin kuraklığa dayanıklılığının kesin göstergeleri olarak değil, PEG 6000 ile yürütülecek sonraki kontrollü çalışmalar için uygun konsantrasyon aralıklarının belirlenmesine katkı sağlayan ön bulgular olarak değerlendirilmelidir.

Sonuç

Bu çalışmada, farklı PEG 6000 konsantrasyonlarının 37 numaralı karpuz genotipinde toprak üstü yaş ağırlığı ve adventif köklerin enine yayılımı üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Toprak üstü yaş ağırlığı PEG 6000 uygulanan bütün gruplarda kontrol uygulamasına göre önemli ölçüde azalmış ve en düşük değerler 48 ve 96 g L^{-1} uygulamalarında elde edilmiştir. Adventif köklerin enine yayılımı ise 3–12 g L^{-1} aralığında görece korunurken, 24–96 g L^{-1} uygulamalarında belirgin biçimde sınırlandırılmıştır. Ayrıca 192 ve 384 g L^{-1} uygulamalarında deneme sonunda canlı fide bulunmamıştır. Bulgular, incelenen özellikler bakımından en belirgin değişimin özellikle 12–24 g L^{-1} aralığında ortaya çıktığını göstermektedir. Bununla birlikte, bu aralık kesin bir fizyolojik eşik olarak değerlendirilmemeli; 12 ile 24 g L^{-1} arasındaki ara konsantrasyonlar daha sık doz basamaklarıyla yeniden incelenmelidir. Sonraki çalışmalarda farklı karpuz genotiplerinin karşılaştırılması ve yaş ağırlığa ek olarak kuru ağırlık, bitki su durumu ve daha kapsamlı kök mimarisi özelliklerinin değerlendirilmesi, uygun PEG 6000 konsantrasyonlarının daha güvenilir biçimde belirlenmesine katkı sağlayacaktır.

Finansman

Bu çalışma, TÜBİTAK Bilim İnsanı Destek Programları Başkanlığı (BİDEB) 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında mali olarak desteklenmiştir.

Kaynaklar

Hamurcu, M., Khan, M. K., Pandey, A., Ozdemir, C., Avsaroglu, Z. Z., Elbasan, F., Omay, A. H., & Gezgin, S. (2020). Nitric oxide regulates watermelon (*Citrullus lanatus*) responses to drought stress. *3 Biotech, 10*(11), 494. https://doi.org/10.1007/s13205-020-02479-9

Karipçin, M. Z., Sarı, N., & Kırnak, H. (2012). Effects of drought on physiological and morphological features of wild and domestic Turkish watermelon genotypes. *Proceedings of the 10th EUCARPIA Meeting on Genetics and Breeding of Cucurbitaceae*, Antalya, Türkiye, 306–314.

Michel, B. E., & Kaufmann, M. R. (1973). The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology, 51*(5), 914–916. https://doi.org/10.1104/pp.51.5.914

Ren, K., Tang, T., Kong, W., Su, Y., Wang, Y., Cheng, H., Yang, Y.,… & Zhao, X. (2025). Response of watermelon to drought stress and its drought-resistance evaluation. *Plants, 14*(9), 1289. https://doi.org/10.3390/plants14091289

Yang, Y., Mo, Y., Yang, X., Zhang, H., Wang, Y., Li, H., Wei, C., … & Zhang, X. (2016). Transcriptome profiling of watermelon root in response to short-term osmotic stress. *PLOS ONE, 11*(11), e0166314. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166314

Yoshimura, K., Masuda, A., Kuwano, M., Yokota, A., & Akashi, K. (2008). Programmed proteome response for drought avoidance/tolerance in the root of a C_3 xerophyte (wild watermelon) under water deficits. *Plant and Cell Physiology*, *49*(2), 226–241. https://doi.org/10.1093/pcp/pcm180

Zhu, J., Mickelson, S. M., Kaeppler, S. M., & Lynch, J. P. (2006). Detection of quantitative trait loci for seminal root traits in maize (*Zea mays* L.) seedlings grown under differential phosphorus levels. *Theoretical and Applied Genetics*, *113*(1), 1–10. https://doi.org/10.1007/s00122-006-0260-z

KEÇİBOYNUZU PEKMEZİ UYGULAMALARINA İKİ BİBER GENOTİPİNİN MORFOLOJİK TEPKİLERİ

MORPHOLOGICAL RESPONSES OF TWO PEPPER GENOTYPES TO CAROB MOLASSES APPLICATIONS

İrem AVCI
Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Siirt University, Siirt, Türkiye.
ORCID ID: 0009-0005-8530-9852

M. Zeki KARİPÇİN
Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Siirt University, Siirt, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-0105-6052

Özet

Bu çalışma, farklı keçiboynuzu pekmezi dozlarının iki biber genotipinin morfolojik özellikleri üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Araştırmada *Capsicum annuum* L. türüne ait İsot 2 Çok Acı ve Soğuğa Tolerant genotipleri kullanılmıştır. Deneme, 2025 yılı güz döneminde Siirt Üniversitesi Bahçe Bitkileri Bölümü laboratuvarında, tesadüf parselleri deneme desenine göre iki genotip ve üç uygulama dozundan oluşan faktöriyel düzende kurulmuştur. Her uygulama kombinasyonu üç tekerrürlü olarak yürütülmüş ve her tekerrürde üç bitki kullanılmıştır. Keçiboynuzu pekmezi uygulamaları 0, 2,5 ve 10 mL L^{-1} düzeylerinde gerçekleştirilmiştir. Bitkilere haftada bir kez saksı başına 150 mL uygulama çözeltisi, kontrol grubuna ise aynı miktarda saf su verilmiştir. Uygulamalar ilk meyve oluşum dönemine kadar sürdürülmüş; bitki boyu, taç genişliği, dal sayısı ve dal açısı belirlenmiştir. Taç genişliği üzerinde genotip ($p=0,012$) ve doz ($p=0,002$) etkileri anlamlı, genotip × doz etkileşimi ise önemsiz bulunmuştur. İsot 2 Çok Acı genotipi 36,89 cm ile Soğuğa Tolerant genotipten (30,89 cm) daha yüksek taç genişliği göstermiştir. En yüksek doz ortalaması kontrolde (39,58 cm), en düşük ortalama ise 2,5 mL L^{-1} uygulamasında (27,75 cm) belirlenmiş; 10 mL L^{-1} uygulaması (34,33 cm) diğer iki dozla istatistiksel olarak benzer bulunmuştur. Dal açısında genotip × doz etkileşimi anlamlı olmuş ($p<0,001$) ve uygulamalara verilen tepkinin genotipe göre değiştiği belirlenmiştir. En yüksek dal açısı İsot 2 Çok Acı × 2,5 mL L^{-1} kombinasyonunda 53,00°, en düşük değer ise Soğuğa Tolerant kontrol grubunda 25,00° olarak ölçülmüştür. Bitki boyu üzerinde genotip, doz ve etkileşim etkileri önemsiz bulunmuştur. Dal sayısı verilerindeki sınırlı değişkenlik nedeniyle bu özellik yalnızca tanımlayıcı olarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar, keçiboynuzu pekmezi uygulamalarının biber bitki mimarisi üzerindeki etkilerinin incelenen özelliğe, uygulama dozuna ve genotipe bağlı olduğunu; uygulamaların bütün büyüme özelliklerinde ortak ve doğrusal bir iyileşme sağlamadığını göstermiştir.

Anahtar kelimeler: *Capsicum annuum* L., keçiboynuzu pekmezi, bitki mimarisi, taç genişliği, dal açısı.

Abstract

This study was conducted to determine the effects of different carob molasses doses on the morphological characteristics of two pepper genotypes. Two *Capsicum annuum* L. genotypes, 'İsot 2 Çok Acı' and 'Soğuğa Tolerant', were used as plant material. The experiment was conducted in the laboratory of the Department of Horticulture at Siirt University during the autumn semester of 2025. It was arranged in a factorial structure comprising two genotypes and three application doses according to a completely randomized design. Each treatment combination consisted of three replicates, with three plants per replicate. Carob molasses was applied at concentrations of 0, 2.5, and 10 mL L^{-1}. Each pot received 150 mL of the respective treatment solution once a week, while the control plants received the same volume of distilled water. Applications continued until the first fruit formation stage, after which plant height, crown width, branch number, and branch angle were determined. Genotype ($p=0.012$) and dose ($p=0.002$) significantly affected crown width, whereas the genotype × dose interaction was not significant. The 'İsot 2 Çok Acı' genotype had a greater crown width (36.89 cm) than the 'Soğuğa Tolerant' genotype (30.89 cm). The highest dose mean was recorded in the control treatment (39.58 cm), whereas the lowest was obtained with 2.5 mL L^{-1} (27.75 cm); the 10 mL L^{-1} treatment (34.33 cm) did not differ significantly from either of the other two treatments.

The genotype × dose interaction was significant for branch angle ($p<0.001$), indicating that the response to the applications differed between genotypes. The greatest branch angle was recorded for the 'İsot 2 Çok Acı' × 2.5 mL L^{-1} combination (53.00°), whereas the smallest was recorded in the 'Soğuğa Tolerant' control treatment (25.00°). Genotype, dose, and their interaction had no significant effects on plant height. Owing to the limited variation in branch number, this trait was evaluated using descriptive statistics only. The results showed that the effects of carob molasses applications on pepper plant architecture depended on the trait examined, application dose, and genotype, and that the applications did not produce a consistent or linear improvement across all growth traits.
Keywords: *Capsicum annuum* L., carob molasses, plant architecture, crown width, branch angle.

Giriş

Biber, farklı kullanım alanlarına ve geniş bir genetik çeşitliliğe sahip önemli bir sebze türüdür. Bitki boyu, taç genişliği, dal sayısı ve dalların ana gövdeyle yaptığı açı gibi morfolojik özellikler, bitkinin genel mimarisini belirlemekte ve yetiştirme alanının kullanımı, ışığın bitki tacı içerisindeki dağılımı ve kültürel işlemlerin uygulanabilirliği bakımından önem taşımaktadır. Biberde taç yapısı ve yaprakların konumu, bitki içerisindeki ışık dağılımını ve bütün bitki düzeyindeki fotosentetik performansı etkileyebilmektedir (Kim ve ark., 2016). Benzer şekilde, dal açısı bitkinin kompakt veya yayvan gelişme biçimini belirleyen; ışıklanma, havalanma, dikim sıklığına uygunluk ve yetiştiricilik performansıyla ilişkili bir bitki mimarisi özelliğidir. Biber genotipleri arasında dal açısı bakımından önemli genetik farklılıklar bulunduğu ve bu özelliğin genetik yapı ile bitki hormonlarının ortak etkisi altında şekillendiği bildirilmiştir (Yuan ve ark., 2025).

Sürdürülebilir bitkisel üretimde, mineral gübre kullanımının azaltılmasına veya besin maddelerinden yararlanma etkinliğinin artırılmasına katkı sağlayabilecek organik kökenli uygulamalara yönelik ilgi giderek artmaktadır. Bitki biyostimülantları; doğrudan gübre etkisinden bağımsız olarak besin kullanım etkinliğini, stres toleransını veya ürün kalite özelliklerini etkileyebilen farklı köken ve bileşimdeki ürünleri kapsamaktadır (Calvo ve ark., 2014). Bununla birlikte, organik kökenli her materyalin biyostimülant olarak değerlendirilmesi doğru değildir; bu nitelendirme uygulanan materyalin bileşimine, dozuna, uygulama yöntemine ve bitkide oluşturduğu doğrulanmış etkilere bağlıdır. Biberde balık emülsiyonu, siyanobakteri temelli gübreler ve deniz yosunu ekstraktları gibi organik veya biyolojik girdilerin bitki boyu, dallanma, taç yapısı, verim ve meyve özelliklerini etkileyebildiği bildirilmiştir (Ashour ve ark., 2021; Wickham ve Davis, 2024). Ancak bu uygulamalara verilen yanıtların kullanılan ürünün içeriğine, uygulama dozuna, genotipe ve yetiştirme koşullarına göre değişebildiği görülmektedir.

Şeker üretiminin yan ürünü olan melas; yüksek oranda çözünebilir şeker içermesinin yanı sıra organik bileşikler ve değişen miktarlarda mineral maddeler taşıyan yoğun bir üründür. Melasın tarımsal kullanımına ilişkin çalışmalar, bu materyalin etkilerinin uygulama dozuna ve yöntemine göre değişebildiğini göstermektedir. Şanlı ve ark. (2016), şeker pancarı melasının toprak ve yaprak uygulamalarının şeker pancarında bazı verim ve kalite özelliklerini etkilediğini, ancak yüksek dozların bitki gelişimini olumsuz etkileyebildiğini bildirmiştir. Koźmińska ve ark. (2021) ise şeker pancarı melasının topraktan uygulanmasının tuzluluk koşullarında kekik bitkilerinin bazı büyüme ve stres toleransı özellikleri üzerinde olumlu etkiler oluşturabildiğini belirlemiştir. Yoğunlaştırılmış melas çözünürünün kolzada çimlenme, bitki gelişimi ve biyokütle oluşumu üzerindeki etkilerinin de uygulama koşullarına ve doza bağlı olduğu gösterilmiştir (Li ve ark., 2020). Bu bulgular, melas kökenli materyallerin bitki gelişimi üzerinde tek yönlü ve doğrusal bir etki göstermesinin beklenmemesi gerektiğine işaret etmektedir.

Melas ve benzeri şekerce zengin organik materyallerin bitki gelişimi üzerindeki etkileri yalnızca mineral madde içerikleriyle açıklanamamaktadır. Melasın çözünebilir karbon kaynağı olarak yetiştirme ortamındaki mikrobiyal aktiviteyi etkileyebildiği (Waguespack ve ark., 2022) ve bitki gelişimini teşvik edici özellik taşıyan, indol-3-asetik asit üreten bazı toprak mayalarının gelişmesi için substrat veya taşıyıcı olarak kullanılabildiği bildirilmiştir (Bispo ve ark., 2023). Bununla birlikte, melas uygulamalarına verilen bitkisel yanıtın uygulama dozu ve yöntemine göre değişebildiği; yüksek uygulama düzeylerinin bazı koşullarda büyümeyi sınırlandırabildiği belirlenmiştir (Şanlı ve ark., 2016).

Bu nedenle şekerce zengin organik materyallerin bitki gelişimi üzerindeki olası etkilerinin doğrudan besin sağlama, yetiştirme ortamındaki mikrobiyal süreçler ve uygulama dozuna bağlı ortam değişiklikleriyle birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Ancak bu mekanizmaların ayrı ayrı doğrulanabilmesi için yetiştirme ortamının kimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerinin de ölçülmesi gerekir.

Keçiboynuzu pekmezi, keçiboynuzu meyvesinin sulu ekstraksiyonu ve yoğunlaştırılmasıyla elde edilen şekerce zengin geleneksel bir üründür. Anadolu keçiboynuzu meyvelerinde sakkaroz, glikoz ve fruktozun başlıca şekerler olduğu; ayrıca organik asitler, fenolik bileşikler ve başta potasyum olmak üzere çeşitli mineral maddelerin bulunduğu bildirilmiştir (Ayaz ve ark., 2007). Keçiboynuzu meyvesi, unu ve şurubunun karşılaştırıldığı bir başka çalışmada, şurubun yüksek toplam şeker içeriğine sahip olduğu ve potasyum, fosfor, kalsiyum ve magnezyum gibi mineral elementler içerdiği belirlenmiştir (Özcan ve ark., 2007). Bununla birlikte, keçiboynuzu ürünlerinin bileşimi meyvenin yetiştirildiği bölgeye, genotipe, işleme yöntemine ve yoğunlaştırma derecesine göre değişebilmektedir. Dolayısıyla literatürde bildirilen bileşim değerlerinin, kimyasal analizi yapılmamış ticari bir keçiboynuzu pekmezine doğrudan aktarılması mümkün değildir.

Mevcut literatürde şeker pancarı veya şeker kamışı melasının farklı bitki türlerinde kullanımına ilişkin çalışmalar bulunmasına rağmen, keçiboynuzu pekmezinin biber bitkilerinin morfolojik gelişimi üzerindeki etkilerine ilişkin bilgi oldukça sınırlıdır. Özellikle farklı biber genotiplerinin keçiboynuzu pekmezi uygulamalarına taç genişliği, dallanma ve dal açısı gibi bitki mimarisi özellikleri bakımından nasıl tepki verdiği yeterince bilinmemektedir.

Bu nedenle çalışmanın amacı, sulama suyuna farklı oranlarda ilave edilen keçiboynuzu pekmezi çözeltilerinin iki biber genotipinde taç genişliği, dal sayısı, dalların ana gövdeyle yaptığı açı ve bitki boyu üzerindeki etkilerini laboratuvar ortamında belirlemektir. Ayrıca uygulama dozlarına verilen morfolojik tepkilerin genotiplere göre farklılaşıp farklılaşmadığının ortaya konulması amaçlanmıştır.

Materyal ve Yöntem

Deneme yeri ve bitkisel materyal

Araştırma, 2025 yılı güz döneminde Siirt Üniversitesi Bahçe Bitkileri Bölümü laboratuvarında yürütülmüştür. Bitkisel materyal olarak, Bahçe Bitkileri Bölümü sebze gen havuzunda bulunan *Capsicum annuum* L. türüne ait "İsot 2 Çok Acı" ve "Soğuğa Tolerant" olarak adlandırılan iki genotip kullanılmıştır. "Soğuğa Tolerant" genotipi, araştırıcıya ait ıslah materyalleri arasından seçilmiş bir genotiptir.

Deneme deseni ve yetiştirme koşulları

Deneme, tesadüf parselleri deneme desenine göre, iki genotip ve üç uygulama dozundan oluşan 2 × 3 faktöriyel düzende kurulmuştur. Her genotip × uygulama kombinasyonu üç tekerrürlü olarak yürütülmüş, her tekerrürde üç bitki yer almış ve her bitki ayrı bir saksıda yetiştirilmiştir. Böylece denemede toplam 54 saksı ve 54 bitki kullanılmıştır. Aynı tekerrürde bulunan üç bitkiden elde edilen ölçümlerin ortalaması alınarak ilgili tekerrüre ait tek bir değer oluşturulmuş; istatistiksel analizlerde her genotip × uygulama kombinasyonu için üç bağımsız tekerrür değeri kullanılmıştır (n=3).

Bitkiler; üst çapı 15 cm, alt çapı 13 cm ve yüksekliği 14 cm olan saksılarda, torf yetiştirme ortamı kullanılarak yetiştirilmiştir. Deneme laboratuvar ortamında yürütülmüş; bağıl nem kontrol edilmemiş, ortam sıcaklığı ve ışık koşullarına ilişkin düzenli ölçüm veya kayıt tutulmamıştır. Bu nedenle çevre koşulları sayısal olarak tanımlanmamıştır.

Her saksıya haftada bir kez 150 mL sulama çözeltisi verilmiştir. Kontrol grubundaki bitkilere aynı sıklıkta ve aynı miktarda, yani saksı başına 150 mL saf su uygulanmıştır. Pekmez uygulaması dışında bitkilere herhangi bir gübre veya başka bir besin maddesi verilmemiştir.

Keçiboynuzu pekmezi çözeltilerinin hazırlanması ve uygulanması

Denemede ticari, gıda amaçlı keçiboynuzu pekmezi kullanılmıştır. Ürün etiketinde 100 g pekmezde 69,3 g karbonhidrat bulunduğu ve bunun tamamının şekerlerden oluştuğu; ayrıca 1,4 g protein bulunduğu bildirilmiştir.

Uygulama çözeltileri iki aşamalı hacimsel seyreltme yöntemiyle hazırlanmıştır.

İlk aşamada, 50 mL keçiboynuzu pekmezi saf suyla 1 L'ye tamamlanarak birinci ön çözelti; 100 mL keçiboynuzu pekmezi ise saf suyla 1 L'ye tamamlanarak ikinci ön çözelti hazırlanmıştır. İkinci aşamada, birinci ön çözeltiden 50 mL alınarak saf suyla 1 L'ye tamamlanmış ve böylece nihai olarak **2,5 mL L^{-1} pekmez eşdeğeri** içeren uygulama çözeltisi elde edilmiştir. İkinci ön çözeltiden 100 mL alınarak saf suyla 1 L'ye tamamlanmış ve nihai olarak **10 mL L^{-1} pekmez eşdeğeri** içeren uygulama çözeltisi hazırlanmıştır.

Buna göre denemede aşağıdaki uygulamalar yer almıştır:

- Kontrol: 0 mL L^{-1} keçiboynuzu pekmezi, yalnızca saf su
- Düşük doz: 2,5 mL L^{-1} keçiboynuzu pekmezi eşdeğeri
- Yüksek doz: 10 mL L^{-1} keçiboynuzu pekmezi eşdeğeri

Hazırlanan nihai çözeltiler ilgili uygulama gruplarına haftada bir kez, saksı başına 150 mL olacak şekilde verilmiştir. Uygulamalar, bitkilerin ilk meyve oluşturma dönemine kadar sürdürülmüş ve ardından morfolojik ölçümler gerçekleştirilmiştir. Pekmezin yoğunluğu ve ayrıntılı kimyasal bileşimi analitik olarak belirlenmediğinden uygulama miktarları ppm veya mg L^{-1} olarak ifade edilmemiş; doğrudan hazırlama yöntemini yansıtan **mL L^{-1} pekmez eşdeğeri** kullanılmıştır. Denemede kullanılan biber bitkilerinin laboratuvar ortamındaki genel görünümü Resim 1'de verilmiştir.



Resim 1. Denemede kullanılan biber bitkilerinin laboratuvar ortamındaki genel görünümü (Fotoğraf: İrem Avcı, 2025).

Morfolojik ölçümler

Uygulamaların sonunda bitki boyu, taç genişliği, dal sayısı ve dal açısı özellikleri belirlenmiştir.

Bitki boyu, bitkinin kök boğazından en yüksek noktasına kadar ölçülmüş ve santimetre olarak kaydedilmiştir. Taç genişliği, birbirine yaklaşık dik iki yönde yapılan ölçümlerin aritmetik ortalaması alınarak santimetre olarak belirlenmiştir. Dal sayısı, bitki üzerindeki dalların tamamı sayılarak adet/bitki şeklinde kaydedilmiştir. Dal açısı ise ana gövde ile bitkinin orta bölümünde bulunan, gelişmesini tamamlamış bir dal arasındaki açı gönye yardımıyla ölçülmüş ve derece (°) olarak ifade edilmiştir.

Yalnızca kayıt bütünlüğü ve ölçüm güvenilirliği doğrulanan bitki boyu, taç genişliği, dal sayısı ve dal açısı verileri değerlendirmeye alınmıştır. Ölçüm zamanına ilişkin güvenilirlik sorunu bulunan SPAD değerleri ile kayıtlarının doğruluğu kesin olarak doğrulanamayan yaprak ve kök yaş-kuru ağırlık değerleri analize dâhil edilmemiştir.

Üçüncü tekerrüre ait ham kayıtlarda aynı bitkisel materyal üzerinde iki teknik ölçüm bulunan durumlarda, bu ölçümlerin aritmetik ortalaması alınmıştır. Teknik ölçümler bağımsız bitki veya bağımsız tekerrür olarak değerlendirilmemiştir.

İstatistiksel analiz

Veriler, iki genotip ve üç uygulama dozundan oluşan 2 × 3 faktöriyel deneme yapısına uygun olarak değerlendirilmiştir. Her genotip × doz kombinasyonu üç tekerrürden ve her tekerrür üç bitkiden oluşmuştur.

Aynı tekerrürdeki üç bitkiden elde edilen değerlerin ortalaması alınarak her tekerrür için tek bir gözlem değeri oluşturulmuştur. İki yönlü faktöriyel varyans analizi uygulanmıştır. Anlamlı bulunan etkilerin ortalamaları Tukey'in HSD çoklu karşılaştırma testiyle karşılaştırılmıştır. Genotip × doz etkileşiminin anlamlı olduğu özelliklerde yorumlar, uygulama kombinasyonlarının ortalamaları üzerinden yapılmıştır. Bütün istatistik testlerde önem düzeyi α=0,05 olarak kabul edilmiştir. Dal sayısı değerlerinin 18 tekerrür ortalamasının 15'inde 4 adet bitki^{-1} düzeyinde toplanması, verinin ayrık ve sınırlı yapısı ile bazı uygulama hücrelerinde varyasyon bulunmaması nedeniyle bu özellik için faktöriyel varyans analizine dayalı çıkarımsal sonuç verilmemiş; değerler yalnızca tanımlayıcı istatistiklerle sunulmuştur. Analizler JMP Pro 18 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) programında gerçekleştirilmiştir.

Bulgular

Keçiboynuzu pekmezi uygulamalarının incelenen özellikler üzerindeki etkilerine ilişkin varyans analizi sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. İncelenen özelliklere ait iki yönlü varyans analizi sonuçları

Özellik	Varyasyon kaynağı	sd	F	p	Sonuç	CV (%)
Taç genişliği (cm)	Genotip	1	8,7831	0,012	Anlamlı	12,67
Taç genişliği (cm)	Doz	2	11,4360	0,002	Anlamlı	12,67
Taç genişliği (cm)	Genotip × doz	2	1,3035	0,307	Önemsiz	12,67
Dal açısı (°)	Genotip	1	68,0672	<0,001	Anlamlı	6,69
Dal açısı (°)	Doz	2	46,4454	<0,001	Anlamlı	6,69
Dal açısı (°)	Genotip × doz	2	42,8824	<0,001	Anlamlı	6,69
Bitki boyu (cm)	Genotip	1	4,5830	0,054	Önemsiz	11,21
Bitki boyu (cm)	Doz	2	0,2007	0,821	Önemsiz	11,21
Bitki boyu (cm)	Genotip × doz	2	0,9489	0,414	Önemsiz	11,21

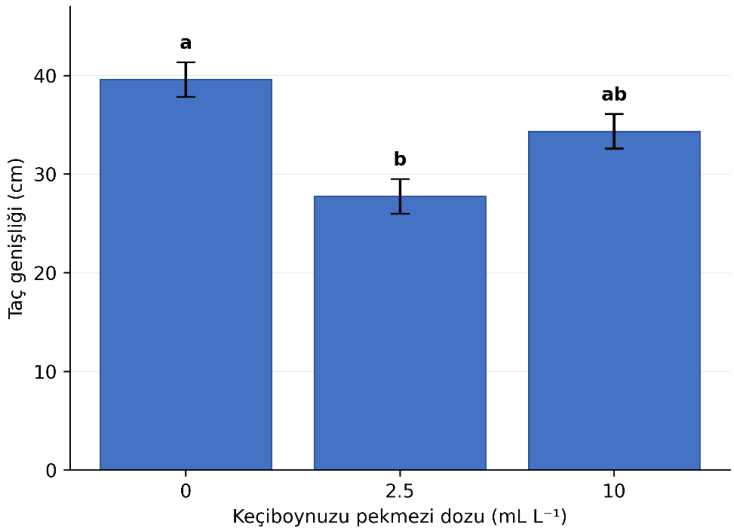
Dal sayısı verilerinin ayrık ve sınırlı yapısı ile bazı uygulama hücrelerinde varyasyon bulunmaması nedeniyle bu özellik varyans analizine dâhil edilmemiş ve yalnızca tanımlayıcı istatistiklerle sunulmuştur. ANOVA uygulanan her özellik için hata serbestlik derecesi 12, toplam serbestlik derecesi 17'dir.

Taç genişliği bakımından genotip (p=0,012) ve uygulama dozu (p=0,002) etkileri istatistiksel olarak anlamlı bulunurken, genotip × doz etkileşimi önemsiz olmuştur (p=0,307). Genotip ortalamaları incelendiğinde, İsot 2 Çok Acı genotipi 36,89 cm ile Soğuğa Tolerant genotipten (30,89 cm) daha yüksek taç genişliği göstermiştir. Doz ortalamaları bakımından en yüksek değer kontrol uygulamasında (39,58 cm) belirlenmiş, bunu 10 mL L^{-1} (34,33 cm) ve 2,5 mL L^{-1} (27,75 cm) uygulamaları izlemiştir. Tukey HSD testine göre kontrol ile 2,5 mL L^{-1} uygulaması birbirinden farklı gruplarda yer alırken, 10 mL L^{-1} uygulaması her iki uygulamayla da istatistiksel olarak benzer bulunmuştur (Çizelge 2; Şekil 1).

Çizelge 2. Taç genişliğinde anlamlı ana etkilere ait ortalamalar

Faktör	Düzey	n	Ortalama (cm)	SH	Tukey grubu
Genotip	İsot 2 Çok Acı	9	36,89	1,43	a
Genotip	Soğuğa Tolerant	9	30,89	1,43	b
Doz	0 mL L^{-1}	6	39,58	1,75	a
Doz	2,5 mL L^{-1}	6	27,75	1,75	b
Doz	10 mL L^{-1}	6	34,33	1,75	ab

Genotip ortalamalarında n=9 (3 doz × 3 tekerrür), doz ortalamalarında n=6'dır (2 genotip × 3 tekerrür). Her tekerrür değeri üç bitkinin aritmetik ortalamasından oluşmaktadır. SH: standart hata. Aynı faktör içerisinde ortak harf taşımayan ortalamalar Tukey HSD testine göre istatistiksel olarak farklıdır (p < 0,05).



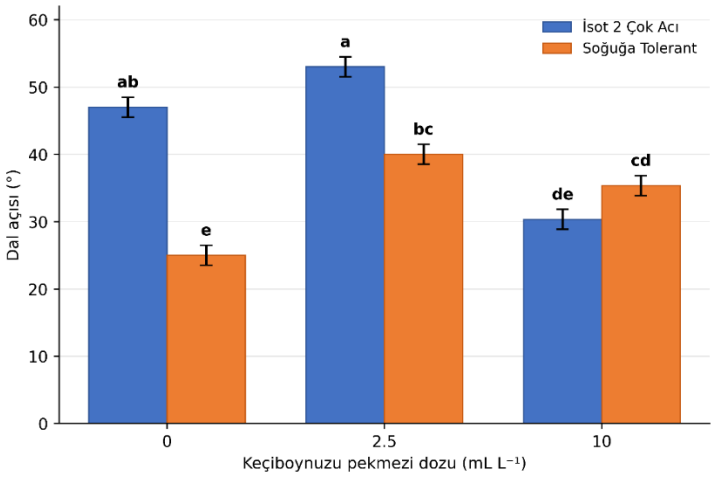
Şekil 1. Keçiboynuzu pekmezi uygulama dozlarının biber bitkilerinde taç genişliği üzerine etkisi. Sütunlar ortalamayı, hata çubukları standart hatayı göstermektedir. Her doz ortalaması, iki genotip ve üç tekerrürden elde edilen altı tekerrür ortalamasına dayanmaktadır (n=6). Ortak harf taşımayan ortalamalar Tukey HSD testine göre istatistiksel olarak farklıdır ($p < 0,05$).

Dal açısı üzerinde genotip, doz ve genotip × doz etkileşiminin etkileri istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,001$). Etkileşimin anlamlı olması nedeniyle dal açısı, genotip × doz kombinasyonları üzerinden değerlendirilmiştir. En yüksek dal açısı İsot 2 Çok Acı genotipinin 2,5 mL L^{-1} uygulamasında 53,00° olarak belirlenmiştir. Bunu aynı genotipin kontrol uygulaması 47,00° ile izlemiştir. Soğuğa Tolerant genotipte dal açısı kontrol grubunda 25,00° iken, 2,5 ve 10 mL L^{-1} uygulamalarında sırasıyla 40,00° ve 35,33° olmuştur. İsot 2 Çok Acı genotipinde ise 10 mL L^{-1} uygulaması dal açısını 30,33°'ye düşürmüştür. Bu sonuçlar, uygulama dozlarına verilen dal açısı tepkisinin genotiplere göre farklılaştığını göstermektedir (Çizelge 3; Şekil 2).

Çizelge 3. Dal açısında genotip × doz etkileşimine ait ortalamalar

Genotip	Doz (mL L^{-1})	n	Ortalama (°)	SH	Tukey grubu
İsot 2 Çok Acı	0,0	3	47,00	1,48	ab
İsot 2 Çok Acı	2,5	3	53,00	1,48	a
İsot 2 Çok Acı	10,0	3	30,33	1,48	de
Soğuğa Tolerant	0,0	3	25,00	1,48	e
Soğuğa Tolerant	2,5	3	40,00	1,48	bc
Soğuğa Tolerant	10,0	3	35,33	1,48	cd

Her genotip × doz ortalaması, her biri üç bitkinin aritmetik ortalamasından oluşan üç bağımsız tekerrüre dayanmaktadır (n=3). SH: standart hata. Ortak harf taşımayan genotip × doz ortalamaları Tukey HSD testine göre istatistiksel olarak farklıdır ($p < 0,05$). Genotip × doz etkileşimi istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < 0,001$).



Şekil 2. Keçiboynuzu pekmezi uygulama dozlarının farklı biber genotiplerinde dal açısı üzerine etkisi. Sütunlar ortalamayı, hata çubukları standart hatayı göstermektedir. Her genotip × doz ortalaması, her biri üç bitkinin ortalamasından oluşan üç bağımsız tekerrüre dayanmaktadır (n=3). Ortak harf taşımayan genotip × doz ortalamaları Tukey HSD testine göre istatistiksel olarak farklıdır ($p < 0,05$). Genotip × doz etkileşimi anlamlıdır ($p < 0,001$).

Bitki boyu bakımından genotip (p=0,054), doz (p=0,821) ve genotip × doz etkileşimi (p=0,414) istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Kombinasyon ortalamaları 43,50–52,83 cm arasında değişmiştir. En yüksek sayısal ortalama İsot 2 Çok Acı × 10 mL L^{-1} kombinasyonunda 52,83 cm, en düşük ortalama ise Soğuğa Tolerant × 2,5 mL L^{-1} kombinasyonunda 43,50 cm olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte bu sayısal farklılıklar istatistiksel olarak anlamlı değildir (Çizelge 4).

Çizelge 4. Genotip × doz kombinasyonlarına ait bitki boyu ortalamaları ve dal sayısı tanımlayıcı istatistikleri

Genotip	Doz (mL L^{-1})	Bitki boyu (cm)	SS	Dal sayısı (adet $bitki^{-1}$)	Dal sayısı aralığı
İsot 2 Çok Acı	0	47,17	3,01	4,00	4–4
İsot 2 Çok Acı	2,5	51,00	5,29	3,00	2–4
İsot 2 Çok Acı	10	52,83	8,13	4,00	4–4
Soğuğa Tolerant	0	46,67	2,89	4,00	4–4
Soğuğa Tolerant	2,5	43,50	7,70	4,00	4–4
Soğuğa Tolerant	10	44,67	0,58	4,00	4–4

Her genotip × doz ortalaması, her biri üç bitkinin ortalamasından oluşan üç bağımsız tekerrüre dayanmaktadır (n=3). SS: standart sapma. Bitki boyu bakımından genotip, doz ve genotip × doz etkileşimi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p > 0,05$). Dal sayısı yalnızca tanımlayıcı olarak sunulmuştur.

Dal sayısı değerlerinin 18 gözlemin 15'inde 4 adet $bitki^{-1}$ düzeyinde toplanması, verinin ayrık ve sınırlı yapısı ile bazı uygulama hücrelerinde varyasyon bulunmaması nedeniyle bu özellik için çıkarımsal istatistik sonuçları verilmemiştir. Dal sayısı yalnızca tanımlayıcı olarak sunulmuş; ortalamalar 3,00–4,00 adet $bitki^{-1}$ arasında değişmiştir. En düşük ortalama 3,00 adet $bitki^{-1}$ ile İsot 2 Çok Acı × 2,5 mL L^{-1} kombinasyonunda belirlenmiştir (Çizelge 4).

Tartışma

Bu çalışmada keçiboynuzu pekmezi uygulamalarının biber bitkilerinin morfolojik özellikleri üzerindeki etkisi; incelenen özelliğe, uygulama dozuna ve genotipe bağlı olarak değişmiştir. Taç genişliğinde genotip ve doz ana etkileri anlamlı bulunurken genotip × doz etkileşiminin önemsiz olması, iki genotip arasında genel bir taç genişliği farkı bulunduğunu ancak genotiplerin uygulama dozlarına verdikleri tepkilerin istatistiksel olarak farklılaşmadığını göstermektedir. Buna karşılık dal açısında genotip × doz etkileşiminin anlamlı bulunması, bu özelliğin pekmez uygulamasına verdiği tepkinin genotipe bağlı olduğunu ortaya koymuştur. Bitki boyunda anlamlı bir uygulama etkisinin belirlenmemesi ve dal sayısının yalnızca tanımlayıcı olarak değerlendirilebilmesi ise pekmez uygulamasının bütün morfolojik özellikleri aynı yönde etkilemediğini göstermektedir.

Taç genişliği bakımından İsot 2 Çok Acı genotipinin Soğuğa Tolerant genotipten daha yüksek ortalamaya sahip olması, genotiplerin doğal bitki mimarilerinin farklı olduğunu düşündürmektedir. Kim ve ark. (2016), biber tacının üç boyutlu yapısındaki farklılıkların ışığın taç içerisindeki dağılımını ve bütün bitki düzeyindeki fotosentetik performansı etkileyebildiğini göstermiştir. Bununla birlikte mevcut çalışmada ışık tutulumu veya fotosentez ölçülmediğinden, genotipler arasındaki taç genişliği farklılığının fizyolojik sonuçları hakkında doğrudan bir değerlendirme yapılamaz.

Doz ortalamaları incelendiğinde, taç genişliğinin kontrol uygulamasında 39,58 cm, 2,5 mL L^{-1} uygulamasında 27,75 cm ve 10 mL L^{-1} uygulamasında 34,33 cm olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte Tukey HSD testine göre yalnızca kontrol ile 2,5 mL L^{-1} uygulaması arasındaki farklılık anlamlı olmuş; 10 mL L^{-1} uygulaması hem kontrol hem de 2,5 mL L^{-1} uygulamasıyla aynı istatistiksel grupta yer almıştır. Bu nedenle sonuçlar, pekmez dozunun artmasıyla taç genişliğinin düzenli olarak arttığı veya azaldığı biçiminde doğrusal bir doz–yanıt ilişkisi olarak yorumlanmamalıdır. Bulgular yalnızca düşük doz uygulamasının kontrol grubuna göre taç genişliğini azalttığını, yüksek dozun ise iki uygulamadan da istatistiksel olarak ayrılmadığını göstermektedir.

Melas kökenli materyallerle yapılan çalışmalarda da bitkisel tepkilerin uygulama dozuna, uygulama yöntemine, bitki türüne ve yetiştirme koşullarına göre değişebildiği bildirilmiştir. Şanlı ve ark. (2016), şeker pancarında belirli melas uygulamalarının bazı verim ve kalite özelliklerini artırabildiğini, ancak yüksek uygulama düzeylerinin bitki ve kök gelişimini sınırlandırabildiğini belirlemiştir. Li ve ark. (2020) ise yoğunlaştırılmış melas çözünürünün kolzada oluşturduğu etkinin uygulama miktarına ve yetiştirme sistemine bağlı olduğunu bildirmiştir. Tuzluluk koşullarında yetiştirilen kekikte şeker pancarı melasının biyokütle ve stres toleransıyla ilişkili bazı özellikler üzerinde olumlu etkiler oluşturabildiği de belirtilmiştir (Koźmińska ve ark., 2021). Ancak bu çalışmalarda kullanılan şeker pancarı melası veya yoğunlaştırılmış melas çözünürü ile mevcut çalışmada kullanılan ticari keçiboynuzu pekmezi; kimyasal bileşim, uygulama dozu ve yetiştirme koşulları bakımından aynı değildir. Bu nedenle literatürde bildirilen olumlu veya olumsuz etkilerin keçiboynuzu pekmezine doğrudan aktarılması doğru olmayacaktır.

Dal açısında belirlenen anlamlı genotip × doz etkileşimi, çalışmanın en belirgin sonucudur. İsot 2 Çok Acı genotipinde dal açısı kontrol ve 2,5 mL L^{-1} uygulamalarında sırasıyla 47,00° ve 53,00° olmuş ve bu iki uygulama istatistiksel olarak benzer bulunmuştur. Buna karşılık 10 mL L^{-1} uygulamasında dal açısının 30,33°'ye düşmesi, bu genotipte yüksek doz uygulamasının daha dar bir dallanma açısıyla ilişkili olduğunu göstermektedir. Soğuğa Tolerant genotipte ise kontrol grubunda 25,00° olan dal açısı, 2,5 ve 10 mL L^{-1} uygulamalarında sırasıyla 40,00° ve 35,33° olarak belirlenmiş; her iki uygulama da kontrol grubundan daha yüksek değer vermiştir. Böylece aynı uygulama, genotipe bağlı olarak dal açısını farklı yönlerde değiştirmiştir.

Dal açısı; bitki tacının kompakt veya yayvan gelişme biçimini belirleyen, genetik ve hormonal düzenlemeyle ilişkili bir özelliktir. Yuan ve ark. (2025), biberde ilk dal açısı bakımından genotipler arasında belirgin farklılıklar bulunduğunu ve bu özelliğin hormonal ve transkripsiyonel düzenlemelerle ilişkili olduğunu göstermiştir. Mevcut çalışmada belirlenen genotip × doz etkileşimi de dal açısının çevresel veya dışsal uygulamalara verdiği tepkinin genetik yapıya bağlı olabileceğini düşündürmektedir. Bununla birlikte çalışmada bitki hormonları, gen anlatımı veya fizyolojik süreçler ölçülmediğinden, gözlenen dal açısı değişikliklerinin hormonal bir mekanizmaya bağlanması mümkün değildir. Sonuç, yalnızca morfolojik düzeyde bir genotipe bağlı tepki olarak değerlendirilmelidir.

Keçiboynuzu pekmezinin içerdiği çözünebilir karbon bileşikleri, yetiştirme ortamındaki mikroorganizma etkinliğini veya ortamın kimyasal özelliklerini değiştirmiş olabilir.

Nitekim Waguespack ve ark. (2022), farklı oranlarda uygulanan siyah melasın yetiştirme ortamındaki mikrobiyal etkinliği artırdığını, ancak bu artışın domates ve çim bitkilerinde boy veya biyokütle artışına dönüşmediğini bildirmiştir. Bu bulgu, mevcut çalışmada pekmez dozlarının bitki boyu üzerinde anlamlı bir etkisinin bulunmamasıyla genel olarak uyumludur. Bununla birlikte mevcut denemede mikrobiyal aktivite, pH, elektriksel iletkenlik, yetiştirme ortamının besin içeriği veya bitki besin elementi alımı ölçülmemiştir. Bu nedenle elde edilen morfolojik değişikliklerin mikrobiyal aktiviteye, mineral beslenmeye veya ortamın ozmotik özelliklerine dayandığı ileri sürülemez.

Bitki boyunda genotip, doz ve genotip × doz etkileşimi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Genotip etkisine ait olasılık değeri 0,05 sınırına yakın olsa da ($p=0,054$), önceden kabul edilen $\alpha=0,05$ düzeyini karşılamadığından anlamlı olarak değerlendirilmemelidir. Dolayısıyla kombinasyon ortalamaları arasında görülen 43,50–52,83 cm aralığındaki sayısal farklılıklar, uygulama etkisinin kanıtı olarak yorumlanamaz. Organik veya biyolojik girdilerin biberde bitki boyu ve taç mimarisini etkileyebildiğini gösteren çalışmalar bulunmakla birlikte, bu etkilerin ürünün bileşimine ve uygulama koşullarına bağlı olduğu bildirilmektedir. Örneğin Wickham ve Davis (2024), farklı organik sıvı gübre ve biyolojik girdilerin biber bitki mimarisi üzerindeki etkilerinin uygulama materyaline göre değiştiğini göstermiştir. Ashour ve ark. (2021) da deniz yosunu kökenli bir uygulamanın acı biberde büyüme özelliklerini etkileyebildiğini bildirmiştir. Ancak söz konusu ürünlerin besin içeriği ve etki biçimleri keçiboynuzu pekmezinden farklı olduğundan, bu çalışmalar yalnızca organik kökenli uygulamalara verilen morfolojik yanıtların materyale ve koşullara bağlı değişebildiğini göstermek amacıyla karşılaştırılabilir.

Dal sayısı değerlerinin 18 tekerrür ortalamasının 15'inde 4 adet bitki^{-1} düzeyinde toplanması ve bazı uygulama kombinasyonlarında varyasyon bulunmaması, bu özellik bakımından uygulamaları ayırt edecek yeterli değişkenliğin oluşmadığını göstermektedir. Bu nedenle dal sayısına ilişkin ortalama farklılıklarının çıkarımsal biçimde yorumlanmaması doğru bir yaklaşımdır. İsot 2 Çok Acı genotipinin 2,5 mL L^{-1} uygulamasında belirlenen 3,00 adet bitki^{-1} değeri yalnızca tanımlayıcı bir sonuçtur ve uygulamanın dal sayısını azalttığına ilişkin istatistiksel kanıt oluşturmamaktadır.

Genel olarak bulgular, keçiboynuzu pekmezi uygulamalarının iki biber genotipinde bütün morfolojik özellikleri ortak ve doğrusal bir yönde değiştirmediğini göstermektedir. En açık uygulama tepkisi dal açısında ortaya çıkmış ve bu tepki genotipe bağlı olarak farklılaşmıştır. Taç genişliğinde ise kontrol ile 2,5 mL L^{-1} uygulaması arasında farklılık belirlenmiş, 10 mL L^{-1} uygulaması ara grupta kalmıştır. Buna karşılık bitki boyu üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etki belirlenmemiştir. Dal sayısı için güvenilir bir çıkarımsal değerlendirme yapılamamıştır. Bu sonuçlar, keçiboynuzu pekmezinin genel anlamda "büyümeyi artıran" veya "büyümeyi azaltan" bir uygulama olarak tanımlanmasına izin vermemektedir; etkisinin özellik, doz ve genotip düzeyinde değerlendirilmesi gerekmektedir.

Çalışmanın yorumlanmasındaki başlıca sınırlılıklar; ortam sıcaklığı, bağıl nem ve ışık koşullarının kaydedilmemesi, pekmezin yoğunluğu ile ayrıntılı kimyasal bileşiminin analiz edilmemesi ve yetiştirme ortamında pH, elektriksel iletkenlik, besin içeriği ve mikrobiyal aktivite ölçümlerinin yapılmamış olmasıdır. Ayrıca çalışma iki genotip, üç doz ve tek bir yetiştirme dönemiyle sınırlıdır. Bu nedenle sonuçlar ticari yetiştiriciliğe yönelik doğrudan bir uygulama önerisi olarak değil, keçiboynuzu pekmezinin biber bitki mimarisi üzerinde genotipe ve doza bağlı etkiler oluşturabileceğini gösteren bir ön çalışma olarak değerlendirilmelidir. Gelecekteki araştırmalarda daha geniş bir doz aralığının, birden fazla genotipin ve farklı yetiştirme dönemlerinin incelenmesi; pekmez ve yetiştirme ortamında pH, elektriksel iletkenlik, mineral içerik, çözünebilir şekerler ve mikrobiyal aktivitenin belirlenmesi, gözlenen morfolojik tepkilerin altında yatan süreçlerin açıklanmasına katkı sağlayacaktır.

Sonuç

Bu çalışmada, keçiboynuzu pekmezi uygulamalarının iki biber genotipinin morfolojik gelişimi üzerindeki etkilerinin özellik ve genotip temelinde farklılaştığı belirlenmiştir. Taç genişliği bakımından İsot 2 Çok Acı genotipi Soğuğa Tolerant genotipten daha yüksek değerlere sahip olmuştur. Dozlar arasında yalnızca kontrol ile 2,5 mL L^{-1} uygulaması arasında anlamlı farklılık belirlenmiş; 10 mL L^{-1} uygulaması hem kontrol hem de düşük dozla istatistiksel olarak benzer bulunmuştur. Bu nedenle taç genişliği bakımından düzenli veya doğrusal bir doz–yanıt ilişkisi ortaya çıkmamıştır.

Dal açısında belirlenen anlamlı genotip × doz etkileşimi, keçiboynuzu pekmezi uygulamalarına verilen morfolojik tepkinin genotipe bağlı olduğunu göstermiştir.

İsot 2 Çok Acı genotipinde 10 mL L^{-1} uygulaması daha dar dal açısıyla ilişkiliyken, Soğuğa Tolerant genotipte her iki pekmez dozu kontrol grubuna göre daha geniş dal açısı meydana getirmiştir. Buna karşılık bitki boyu üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir uygulama etkisi belirlenmemiştir. Dal sayısındaki sınırlı değişkenlik ve bazı uygulama kombinasyonlarında varyasyon bulunmaması nedeniyle bu özellik için uygulama etkisi hakkında çıkarımsal bir sonuca ulaşılamamıştır.

Elde edilen bulgular, keçiboynuzu pekmezinin biber bitkilerinin gelişimini genel olarak artıran veya azaltan bir uygulama şeklinde tanımlanamayacağını göstermektedir. En belirgin tepki, bitki mimarisinin önemli bileşenlerinden biri olan dal açısında ortaya çıkmış ve bu tepki genotipe göre değişmiştir. Bununla birlikte pekmezin ayrıntılı kimyasal bileşimi ile yetiştirme ortamının pH, elektriksel iletkenlik, besin içeriği ve mikrobiyal özellikleri belirlenmediğinden, gözlenen morfolojik değişikliklerin altında yatan mekanizmalar açıklanamamıştır.

Çalışmanın iki genotip, üç uygulama dozu ve tek bir yetiştirme dönemiyle sınırlı olması nedeniyle sonuçlar doğrudan yetiştiricilik önerisine dönüştürülmemelidir. Bulgular, keçiboynuzu pekmezinin biber bitki mimarisi üzerindeki olası etkilerini ortaya koyan bir **ön çalışma** niteliğindedir. Daha geniş doz aralıkları, farklı genotipler ve birden fazla yetiştirme dönemi kullanılarak yapılacak çalışmalarda pekmezin kimyasal bileşimi ile yetiştirme ortamındaki fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik değişimlerin birlikte incelenmesi gerekmektedir.

Kaynaklar

Ashour, M., Hassan, S. M., Elshobary, M. E., Ammar, G. A. G., Gaber, A., Alsanie, W. F., Mansour, A. T., & El-Shenody, R. (2021). Impact of Commercial Seaweed Liquid Extract (TAM®) Biostimulant and Its Bioactive Molecules on Growth and Antioxidant Activities of Hot Pepper (*Capsicum annuum*). *Plants*, *10*(6), 1045. https://doi.org/10.3390/plants10061045

Ayaz, F. A., Torun, H., Ayaz, S., Correia, P. J., Alaiz, M., Sanz, C., Gruz, J. & Strnad, M. (2007). Determination of chemical composition of Anatolian carob pod (*Ceratonia siliqua* L.): Sugars, amino and organic acids, minerals and phenolic compounds. *Journal of Food Quality*, 30(6), 1040–1055. https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2007.00176.x

Bispo, R. L. B., Ceccato-Antonini, S. R., Tosta, C. D., Fontanetti, A., Prado, V. S., Takita, M. A. & Rosa-Magri, M. M. (2023). Sugarcane molasses as substrate to soil yeasts: Indole-3-acetic acid production and maize initial growth promotion. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 47, 102618. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102618

Calvo, P., Nelson, L., & Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and soil*, *383*(1), 3-41. https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8

Kim, J. H., Lee, J. W., Ahn, T. I., Shin, J. H., Park, K. S., & Son, J. E. (2016). Sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) canopy photosynthesis modeling using 3D plant architecture and light ray-tracing. *Frontiers in Plant science*, *7*, 1321. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01321

Koźmińska, A., Hanus-Fajerska, E., Halecki, W., & Ciarkowska, K. (2021). Beet Molasses Enhance Salinity Tolerance in *Thymus serpyllum*—A Study under Greenhouse Condition. *Plants*, *10*(9), 1819. https://doi.org/10.3390/plants10091819

Li, S., Zhao, X., Ye, X., Zhang, L., Shi, L., Xu, F., & Ding, G. (2020). The Effects of Condensed Molasses Soluble on the Growth and Development of Rapeseed through Seed Germination, Hydroponics and Field Trials. *Agriculture*, *10*(7), 260. https://doi.org/10.3390/agriculture10070260

Özcan, M. M., Arslan, D. & Gökçalık, H. (2007). Some compositional properties and mineral contents of carob (*Ceratonia siliqua*) fruit, flour and syrup. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, **58**(8), 652–658. https://doi.org/10.1080/09637480701395549

Şanlı, A., Karadoğan, T., & Tosun, B. (2016). The Effects of Sugar Beet Molasses Applications on Root Yield and Sugar Content of Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.). *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, *24*(2), 103-108. https://doi.org/10.21566/tbmaed.00450

Waguespack, E., Bush, E., & Fontenot, K. (2022). The effect of organic biostimulants on beneficial soil microorganism activity. *Open Journal of Ecology*, *12*, 499–512. https://doi.org/10.4236/oje.2022.128027

Wickham, A., & Davis, J. G. (2024). Fish Emulsions, Cyano-Fertilizer, and Seaweed Extracts Affect Bell Pepper (*Capsicum annuum* L.) Plant Architecture, Yield, and Fruit Quality. *Horticulturae, 10*(5), 491. https://doi.org/10.3390/horticulturae10050491

Yuan, X., Chen, X., Zhou, K., Lei, G., Huang, Y., Li, G., ... & Fang, R. (2025). Genetic, hormonal, and transcriptomic analyses highlight the crucial role of phytohormones in first branch angle regulation in pepper. *BMC Plant Biology*, *25*(1), 1492. https://doi.org/10.1186/s12870-025-07499-2

PAENARTHROBACTER NİTROGUAJACOLİCUS (KF3B) FAYDALI BAKTERİSİ VE FARKLI NEM DÜZEYLERİNİN ZAKKUM ÇELİKLERİNİN KÖKLENDİRİLMESİNE ETKİLERİ

EFFECTS OF THE BENEFICIAL BACTERIUM PAENARTHROBACTER NITROGUAJACOLICUS (KF3B) AND DIFFERENT MOISTURE LEVELS ON THE ROOTING OF OLEANDER CUTTINGS

Muazzez DEĞERLİ ERDOĞAN
Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Siirt University, Siirt, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-7828-3512

Arzu ÇIĞ
Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Siirt University, Siirt, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-2142-5986

ÖZET
Süs bitkileri üretiminde kaliteli çoğaltım materyali elde edilmesi önemlidir. Dekoratif yaprakları ve çiçekleriyle peyzajda değer taşıyan zakkumun üretiminde, bitki gelişimini teşvik eden bakteriler (PGPB) kök gelişimini ve stres toleransını destekleyebilecek biyolojik uygulamalar olarak değerlendirilmektedir. Bu kapsamda, bu araştırma, *Paenarthrobacter nitroguajacolicus* KF3B suşunun farklı nem düzeylerinde zakkum (*Nerium oleander* L.) çeliklerinin köklenmesi ve kök özellikleri üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü Laboratuvarı'nda tesadüf parselleri deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak kurulan araştırmada steril perlit kullanılmıştır. Bakteri inokulasyonu yapılan ve yapılmayan çelikler, referans ortam neminin %25, %50 ve %100 düzeylerinde yetiştirilmiştir. Çalışmanın sonunda köklenme yüzdesi ve kök yaş ağırlığı bakımından uygulamalar arasında fark bulunmuştur (P<0,001). En yüksek köklenme bakterisiz %100 nemde %80,00 olmuş; bakterisiz %50 ve %25 nemde sırasıyla %56,67 ve %50,00 elde edilmiştir. KF3B uygulanan %50 ve %100 nem düzeylerinde köklenme %33,33 ve %40,00'a düşmüştür. KF3B + %25 nemde köklenme gözlenmemiştir. Bakteri uygulanmayan gruplarda kök yaş ağırlığı 2,00-2,36 g, inokulasyon gruplarında 0,74-0,89 g arasında değişmiştir. Kök sayısı, en uzun kök uzunluğu, kök kalınlığı ve kök kuru ağırlığı bakımından fark istatistik olarak önemli bulunmamıştır. Sonuç olarak KF3B, kullanılan protokolde aynı nem düzeyindeki bakterisiz uygulamalara göre köklenme yüzdesi veya kök yaş ağırlığında diğerlerine göre beklenen etkiyi gösterememiştir. Bakterisiz %100 nem uygulaması köklenen çelik oranı açısından en başarılı uygulama olmuştur.
Anahtar kelimeler: Zakkum, *Paenarthrobacter nitroguajacolicus* (KF3B), nem, adventif köklenme, kök biyokütlesi.

Abstract
Obtaining high-quality propagation material is important in ornamental plant production. In the propagation of oleander, which is valued in landscaping for its decorative foliage and flowers, plant growth-promoting bacteria (PGPB) are considered biological treatments with the potential to support root development and stress tolerance. Accordingly, this study was conducted to determine the effects of *Paenarthrobacter nitroguajacolicus* strain KF3B on the rooting and root characteristics of oleander (*Nerium oleander* L.) cuttings under different moisture levels. The experiment was established in the Horticulture Department Laboratory of the Faculty of Agriculture at Siirt University using a completely randomized design with three replicates and sterile perlite as the rooting medium. Inoculated and uninoculated cuttings were grown at 25%, 50%, and 100% of the reference substrate moisture level. At the end of the study, significant differences among treatments were found for rooting percentage and root fresh weight (P<0.001). The highest rooting percentage (80.00%) was obtained in the uninoculated 100% moisture treatment, whereas uninoculated cuttings at 50% and 25% moisture achieved rooting percentages of 56.67% and 50.00%, respectively. With KF3B inoculation, rooting percentages decreased to 33.33% and 40.00% at 50% and 100% moisture, respectively. No rooting was observed in the KF3B + 25% moisture treatment. Root fresh weight ranged from 2.00 to 2.36 g in uninoculated treatments and from 0.74 to 0.89 g in inoculated treatments. Differences in root number, longest root length, root thickness, and root dry weight were not statistically significant. Consequently, under the

protocol employed, KF3B failed to demonstrate the expected effect—relative to the other treatments—in terms of rooting percentage or root fresh weight when compared to bacteria-free controls maintained at the same moisture level.
The uninoculated 100% moisture treatment was the most successful in terms of the proportion of rooted cuttings.
Keywords: Oleander, *Paenarthrobacter nitroguajacolicus* (KF3B), humidity, adventitious rooting, root biomass.

1.GİRİŞ

Zakkum (*Nerium oleander* L.), dekoratif yaprakları ve çiçekleri nedeniyle peyzaj düzenlemelerinde kullanılan herdem yeşil bir bitkidir. Çelikle çoğaltma, anaç özelliklerinin korunması ve üretim materyalinin elde edilmesi açısından önem taşımaktadır. Panaşalı zakkumda yapılan bir çalışma, köklenme başarısının çelik alma dönemi ve IBA uygulamasına göre değiştiğini göstermiştir (Köse ve Kostak, 2000). Bu nedenle zakkum çeliklerinin köklendirilmesinde yalnızca uygulanan maddenin değil, yetiştirme koşullarının da değerlendirilmesi gerekir.
Anaçtan ayrılan bir çelikte yeni kök sisteminin oluşması, su ve besin alım kapasitesinin yeniden kurulmasını sağlamaktadır. Adventif kök oluşumu; hormonal sinyaller, yaralanma yanıtı ve metabolik kaynakların kullanımının birlikte etkilediği bir süreçtir (Druege ve ark., 2019). Köklendirme ortamının nem düzeyi bu süreç boyunca uygulanan önemli bir yetiştirme koşuludur.
Bitki gelişimini teşvik eden rizobakteriler, doğrudan veya dolaylı mekanizmalarla bitki gelişimini etkileyebilir; etkin bir ilişki için kök yüzeyinin kolonizasyonu önemlidir (Lugtenberg ve Kamilova, 2009). ACC deaminaz üreten bakterilerin bitkide etilen düzeyini azaltabilmesi, stres koşullarında büyümenin desteklenmesine ilişkin bir mekanizma olarak ele alınmaktadır (Glick, 2014). Ancak laboratuvar koşullarında belirlenen bir özelliğin, her bitki türü ve uygulama ortamında olumlu büyüme yanıtını göstermesi mümkün görünmemektedir. Bakteri seçimi ve inokulasyon yöntemi, uygulamanın sonucunu etkileyen unsurlardır (Ruzzi ve Aroca, 2015).
PGPB uygulamaları, kök gelişimine katkının yanında bitki beslenmesi ve abiyotik stres koşullarında erken gelişimin desteklenmesi amacıyla da araştırılmaktadır.
Aynı KF3B suşunun *Sesbania punicea* fidelerinde PEG 6000 ile oluşturulan su stresi ve Zn içeren ortamlarda denenmiş olması, suşun stres koşullarındaki kök yanıtlarının karşılaştırılmasına olanak vermektedir (Çığ ve Çığ, 2021; Çığ, 2021). Pb içeren ortamlarda aynı türde KF3B dâhil beş suşun kök uzunluğu ve yan kök sayısı incelenmiştir (Çığ, 2022). Bununla birlikte tohumdan gelişen fidenin kök sistemi ile bir zakkum çeliğinde oluşan adventif kök sistemi farklı gelişim süreçleri göstermiştir.
Çelikle çoğaltmada bakteriyel uygulamaların farklı sonuçlar verdiği bildirilmiştir. Yabani vişne çeliklerinde *Agrobacterium rubi* suşları ile IBA'nın birlikte kullanılması köklenmeyi artırmıştır (Eşitken ve ark., 2003). Kuşburnunda ise bazı bakteriyel uygulamalar köklenme oranından çok köklenme kalitesiyle ilişkili özelliklerde etkili olmuştur (Kınık ve Çelikel, 2017). Kalanşo çeliklerinde *Bacillus* esaslı formülasyonlarla köklenme ve fide kalitesinde artış rapor edilmiştir (Dalda Şekerci ve Ünlü, 2023).
Süs bitkisi türlerinde yapılan çalışmalar da bakteriyel yanıtın her ölçütte artış anlamına gelmediğini göstermektedir. Çığ ve ark. (2024), laboratuvar koşullarında, Pb içeren ortamlarda *Acacia cyanophylla* tohumlarının çimlenmesi ve bitkicik oluşumunda KF58B ve KF3A suşlarını değerlendirmiş; en uzun kökü bakterisiz ve Pb içermeyen kontrolde belirlemiştir. Çığ ve ark. (2025) ise yine laboratuvarda ve aynı bitki türünde *Serratia grimesii* ile Cd uygulamalarını inceleyerek bakteriyel uygulamaların farklı ağır metal kontamine koşullarında da sınanabildiğini göstermiştir. Bu çalışmalar, bitki türü–suş–ortam ilişkisinin örnekleri olarak değerlendirilebilir.Zakkumu da içeren beş süs bitkisi türünde KF58B, KF63C ve IBA uygulamalarını inceleyen Batur ve Çığ (2025b), kök özelliklerinde tür × uygulama etkileşimlerinin önemli olduğunu bildirmiştir (Batur ve Çığ, 2025a). Zivzik narı çeliklerinde bakteriyel dip daldırması ve melatonin uygulamalarını inceleyen Pakyürek ve Çığ (2021) ile zakkumda KF3B, TV53D ve KF63C suşlarını salisilik asitle birlikte değerlendiren Dirikolu ve Çığ (2025), suş ve uygulama protokolünün seçimine ilişkin doğrudan örnekler sunmaktadır.
Bu araştırmanın amacı, *Paenarthrobacter nitroguajacolicus* (KF3B) suşunun köklendirme ortamı içinde farklı nem düzeylerinde zakkum çeliklerinin köklenme yüzdesi, kök sayısı, en uzun kök uzunluğu, kök kalınlığı ve kök yaş/kuru ağırlığı üzerine etkilerini belirlemektir. Çalışma, inokulasyonun kök

oluşumuna katkı sağlayıp sağlamadığını aynı nem düzeyindeki PGPB (bitki gelişimini teşvik eden bakteri) inokulasyonu olmayan uygulamalarla karşılaştırarak değerlendirmektedir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1 Bitki materyali ve deneme düzeni

Bu çalışma 01.08.2024 - 01.12.2024 tarihleri arasında Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü Laboratuvarı'nda, tesadüf parselleri deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak yürütülmüş ve her tekerrürde 30 zakkum çeliği kullanılmıştır.

Siirt Üniversitesi Kezer Yerleşkesi'nde yetiştirilen sağlıklı zakkum (*Nerium oleander* L.) anaçlarından temin edilmiştir (Şekil 1a). Bir veya iki yaşlı sürgünlerden alınan çelikler 30 cm uzunluğunda ve en az üç göz içerecek biçimde hazırlanmıştır (Şekil 1c). Çeliklerin dip kısmında 0,5 cm uzunluğunda kabuk kaldırılarak yara dokusu açılmış ve çelikler aynı gün dikime hazırlanmıştır.

Köklendirme ortamı olarak steril perlit kullanılmış; çelikler yaklaşık 40 cm derinliğindeki plastik kasalara dikilmiştir (Şekil 1b). Uygulamalar, bakteri inokulasyonu yapılmayan %25, %50 ve %100 nem düzeyleri ile KF3B inokulasyonu yapılan aynı üç nem düzeyinden oluşmuştur. Böylece bakteri varlığı/yokluğu ve üç nem düzeyinin birlikte ele alındığı altı uygulama oluşturulmuştur. Kontrol çeliklerine bakteriyel muamele yapılmamıştır.



Şekil 1: Zakkum çeliklerinin. a) Kampüs alanından alınması, b) Üç göz içerecek şekilde 30 cm uzunluğunda hazırlanması, c) Dikim ortamı,, d) Bakteri solüsyonuna batırılması

2.2 Bakteri izolatı ve inokulasyon

Siirt ili ekolojik koşullarından izole edilmiş KF3B (*Paenarthrobacter nitroguajacolicus*) suşu, Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü'nden temin edilmiştir. İzolatın tanısı 16S ribozomal DNA analiziyle yapılmıştır. Ön karakterizasyonunda azot bağlama ve siderofor üretimi pozitif, fosfat çözme negatif, ACC deaminaz etkinliği ise çok kuvvetli olarak bildirilmiştir.

Katı kültür ortamı için 1 L saf suya 20 g nutrient agar (Merck-VM71680604), sıvı kültür ortamı için 1 L saf suya 8 g nutrient broth (Merck VM775843711) eklenmiş ve ortamların pH'sı 7,0'ye ayarlanmıştır. Besi ortamları 121 °C'de 15 dakika sterilize edilmiştir. Stok kültürler katı besi yerine aktarılarak 26 ± 2 °C'de 24 saat inkübe edilmiş; daha sonra tek koloni sıvı ortama alınarak aynı sıcaklıkta 24 saat ve 120 rpm'de çalkalanmıştır. Süspansiyon yoğunluğu turbidimetrik olarak yaklaşık 10^8 CFU mL^{-1} düzeyine ayarlanmıştır.Çeliklerin dip kısmındaki 1 cm'lik bölüm bakteriyel süspansiyonda iki saat bekletilmiştir (Şekil 1d).
Dikimden sonra her çeliğin kök boğazı çevresine şırınga yardımıyla 5 mL bakteriyel süspansiyon verilmiştir. Kontrol grubu aynı nem düzeylerinde bakterisiz olarak yetiştirilmiştir.

2.3 Ortam neminin düzenlenmesi

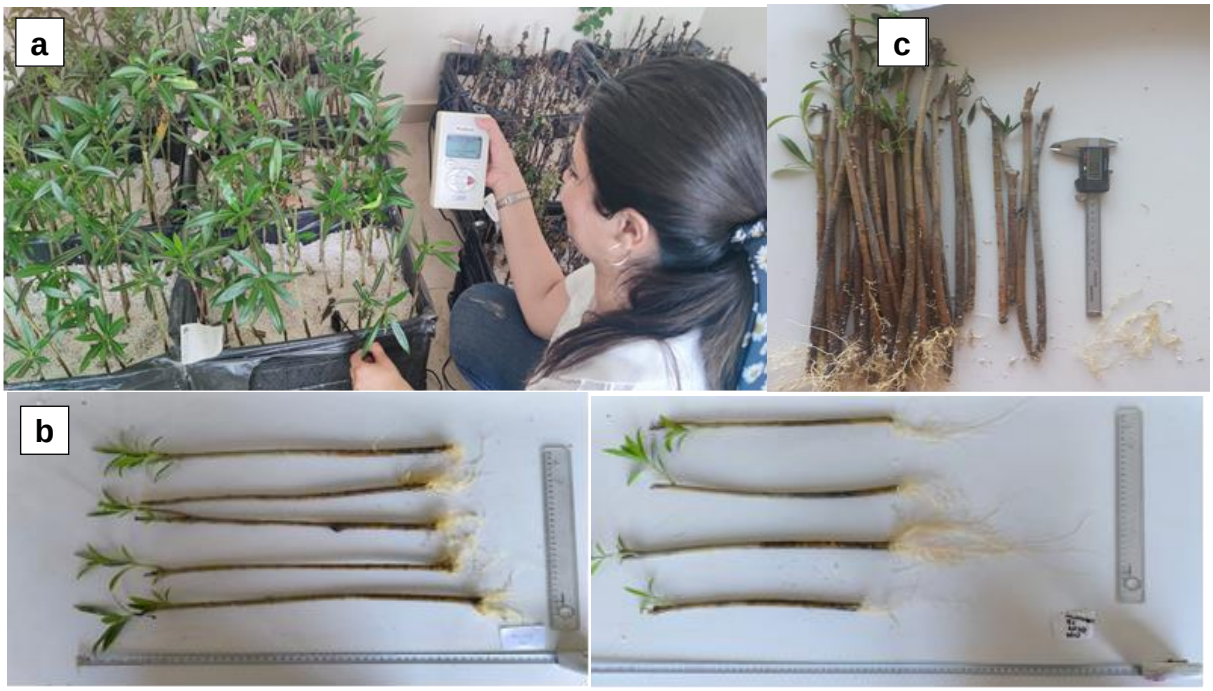
Nem uygulamaları, köklendirme ortamının su içeriğine göre düzenlenmiştir. Referans %100 nem düzeyinde perlit suyla doyurulmuş ve bu düzey tarla kapasitesi yaklaşımıyla esas alınmıştır. Diğer uygulamalar, bu referansa göre %50 ve %25 düzeylerinde düzenlenmiştir. Ortam nemi TDR (Time Domain Reflectometry) cihazıyla izlenmiş ve sulama uygulamaları hedef düzeylere göre yapılmıştır (Şekil 2a). Burada kullanılan yüzdeler atmosferik bağıl nemi değil, köklendirme ortamı için tanımlanan göreli nem uygulamalarını ifade etmektedir. Günlük gözlemler ve nem ölçümleriyle çeliklerin gelişimi takip edilmiştir.

2.4 Gözlem ve ölçümler

Köklenme yüzdesi, her uygulamada köklenen çelik sayısının dikilen çelik sayısına bölünerek 100 ile çarpılmasıyla hesaplanmıştır. Köklenen çeliklerde kökler sayılmış; en uzun kök uzunluğu ve kök kalınlığı dijital kumpasla milimetre cinsinden ölçülmüştür (Şekil 2b). Kök yaş ağırlığı, çelikler ortamdan çıkarıldığında hassas teraziyle belirlenmiştir. Kök kuru ağırlığı için kökler çelikten ayrılarak (Şekil 2c) önce laboratuvar koşullarında, daha sonra 70 °C'de etüvde kurutulmuş ve tartılmıştır.

2.5 İstatistiksel değerlendirme

Veriler R istatistik yazılımıyla değerlendirilmiş; ortalamaların karşılaştırılmasında LSD testi α=0,05 önem düzeyinde kullanılmıştır (Keskin ve ark., 2025).



Şekil 2: Zakkum çeliklerinde a) TDR ile nem ölçümü, b) Dijital kumpasla kök ölçümü, c) Kök sayımı

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmanın sonunda KF3B + %25 nem uygulamasında köklenme ve sürgün gelişiminin gerçekleşmediği belirlenmiştir. Bu grubun gelişim göstermemesi bir uygulama sonucu olarak dikkate alınmış, fakat köklenen çeliklere ait morfolojik özellikler için ise beş uygulamanın ortalamaları kullanılmıştır. Dolayısı ile bu faktör istatistik analize katılmamıştır.

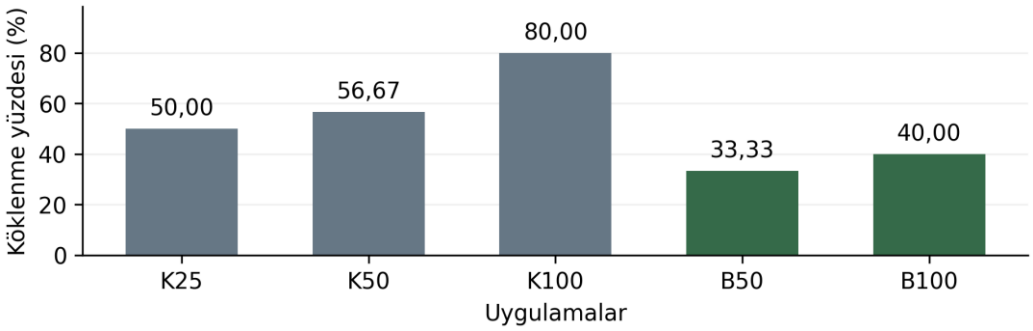
Tablo 1: Uygulamaların zakkum çeliklerinin köklenme ve kök özelliklerine etkileri

Özellik	K25	K50	K100	B50	B100	P değeri
Köklenme yüzdesi (%)**	50,00 bc	56,67 b	80,00 a	33,33 d	40,00 d	P<0,001
Kök sayısı (adet)	9,13	9,59	8,73	6,20	8,00	ÖD
En uzun kök uzunluğu (mm)	135,60	64,38	73,89	57,59	131,89	ÖD
En uzun kök kalınlığı (mm)	0,83	0,67	0,50	0,63	0,51	ÖD
Kök yaş ağırlığı (g)**	2,36 a	2,00 a	2,24 a	0,74 b	0,89 b	P<0,001
Kök kuru ağırlığı (g)	0,29	0,51	0,59	0,37	0,25	ÖD

K25: Bakterisiz kontrol, %25 nem; **K50:** Bakterisiz kontrol, %50 nem; **K100:** Bakterisiz kontrol, %100 nem; **B:** Bakteri - KF3B *Paenarthrobacter nitroguaiacolicus*; **B50:** KF3B uygulanmış çelikler, %50 nem; **B100:** KF3B uygulanmış çelikler, %100 nem; ÖD: İstatistik olarak önemli değil.
**Aynı satırda farklı harfler ile gösterilen ortalamalar arasında istatistik olarak P<0,001 düzeyinde fark vardır.

3.1 Köklenme yüzdesi

Uygulamalar arasında köklenme yüzdesi bakımından farklılık belirlenmiştir (P<0,001). En yüksek oran bakterisiz %100 nem uygulamasında %80,00 ile elde edilmiştir. Bakterisiz %50 ve %25 nem düzeylerinde oranlar sırasıyla %56,67 ve %50,00 olmuştur. KF3B uygulanan %50 ve %100 nem gruplarında ise köklenme %33,33 ve %40,00 olarak gerçekleşmiştir. Her iki inokulasyon grubu istatistik olarak aynı grupta yer almıştır (Tablo 1; Şekil 3). KF3B + %25 nem uygulamasında köklenme gözlenmemiştir.



Şekil 3: Köklenme yüzdesi (%)
K25/K50/K100: bakterisiz %25/%50/%100 nem; B50/B100: KF3B + %50/%100 nem.

Köse ve Kostak (2000), şubat döneminde aldıkları panaşalı zakkum çeliklerinde 4000 ppm IBA ile perlitte %76,47 köklenme elde etmiştir. Bu sonucun bitkisel materyal, çelik alma zamanı ve hormon uygulaması farklılığından ileri geldiği düşünülmektedir. Eşitken ve ark. (2003) vişnede 250 mg/L IBA + *Agrobacterium rubi* (A16) suşu uygulamasında yeşil çeliklerde %65, yarı odunsu çeliklerde %70 köklenme bildirmiştir.
Dirikolu ve Çığ (2025), zakkumda KF3B ile %50,00, kontrol grubunda %70,00 köklenme olduğunu bildirmiştir. KF63C ile elde edilen %73,33 ise kontrolle aynı grupta yer almıştır. Dolayısıyla bu

çalışmada da bütün bakterilerin köklenmeyi arttırmadığı tespit edilmiştir. Dalda Şekerci ve Ünlü (2023), kalanşoda *Bacillus* formülasyonlarıyla köklenme oranında kontrole göre %30 artış bildirmiştir. Burada ise %50 ve %100 nem düzeylerinde KF3B grupları kendi kontrollerinin altında kalmıştır. Bu farklılık, uygulamanın bitki materyali ve bakteri suşu özelinde değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

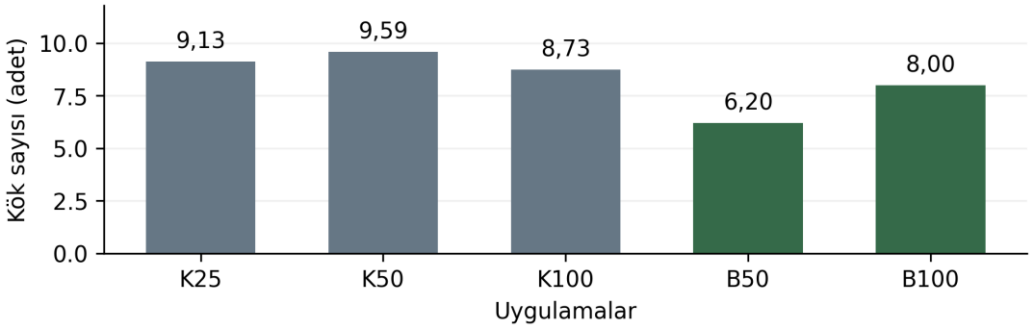
3.2 Kök sayısı

Köklenen çeliklerde ortalama kök sayısı 6,20-9,59 adet arasında değişmiş, uygulamalar arasındaki fark istatistik olarak önemli bulunmamıştır.

En yüksek ortalama değer bakterisiz %50 nemde 9,59 adet, en düşük değer KF3B + %50 nemde 6,20 adet olmuştur. Bakterisiz %25 ve %100 nem gruplarında 9,13 ve 8,73 adet; KF3B + %100 nemde 8,00 adet kök belirlenmiştir (Tablo 1; Şekil 4).

Bu sonuç, köklenme oranındaki farklılığın köklenen çelik başına kök sayısında istatistiksel olarak desteklenen bir farklılığa dönüşmediğini göstermektedir. Kınık ve Çelikel (2017), kuşburnu çeliklerinde köklenme oranı ile köklenme kalitesinin farklı yanıtlar verebildiğini bildirmiştir. Pakyürek ve Çığ (2021), Zivzik narı çeliklerinde TV53D uygulamasıyla 9,6 adet, kontrol grubunda 3,0 adet kök belirlemiş ve bu ortalamaları farklı istatistiksel gruplarda vermiştir. Nar çeliklerinde görülen kök sayısı artışının bakteri suşu, köklendirme harcı ve dip daldırma süresinin farklı olmasından ileri geldiği düşünülebilir.

Çığ (2022), *Sesbania punicea*'da 0, 10 ve 20 ppm Pb düzeyleri üzerinden hesaplanan KF3B ortalamasını 4,88 adet yan kök olarak vermiştir. Suşların yan kök sayısına etkisi önemli bulunmuştur.

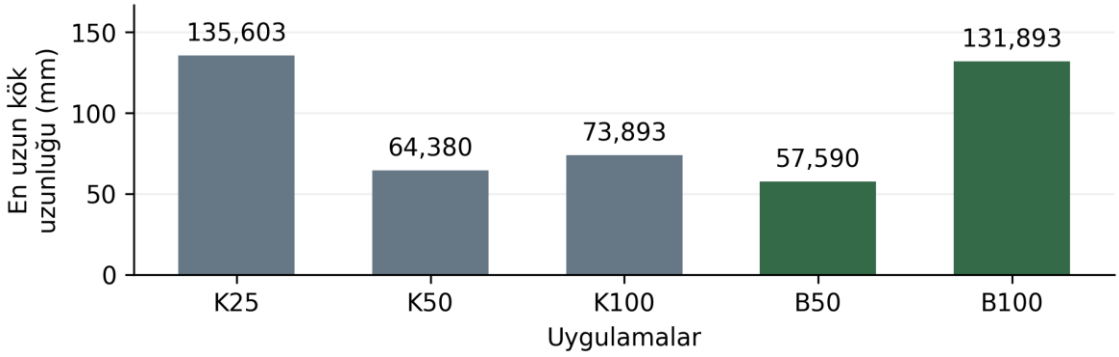


Şekil 4: Kök sayısı (adet)

K25/K50/K100: bakterisiz %25/%50/%100 nem; B50/B100: KF3B + %50/%100 nem.

3.3 En uzun kök uzunluğu

En uzun kök uzunluğu bakımından uygulamalar arasındaki fark önemli bulunmamıştır. Bakterisiz %25, %50 ve %100 nem uygulamalarında ortalamalar sırasıyla 135,603; 64,380 ve 73,893 mm olmuştur. KF3B + %50 nemde 57,590 mm, KF3B + %100 nemde 131,893 mm belirlenmiştir (Tablo 1; Şekil 5).



Şekil 5: En uzun kök uzunluğu (mm).

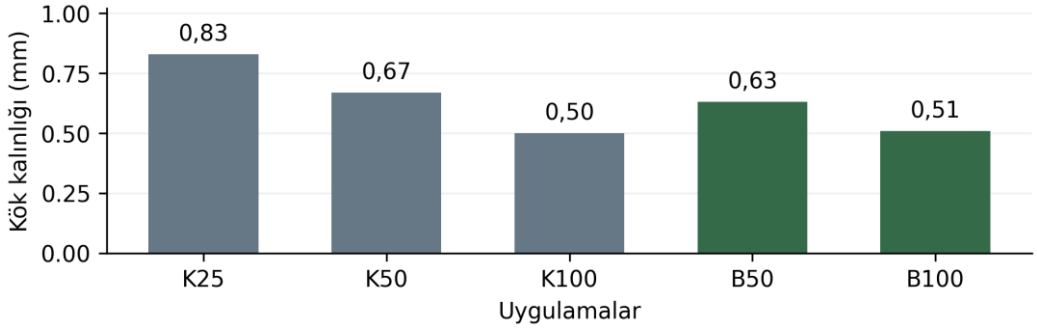
K25/K50/K100: bakterisiz %25/%50/%100 nem; B50/B100: KF3B + %50/%100 nem.

Çığ ve Çığ (2021), *Sesbania punicea*'da PEG düzeyleri üzerinden hesaplanan kök uzunluğunu KF3B için 5,216 cm olarak bildirmiş; bakteri ana etkisini istatistik olarak önemli bulmamıştır. Çığ (2021) ise aynı bitki türünde Zn düzeyleri üzerinden KF3B'de 5,507 cm kök uzunluğu belirlemiş ve bu özellikte

suşlar arası fark saptamamıştır. Mevcut zakkum denemesinde de kök uzunluğu bakımından önemli fark bulunmaması, sayısal sıralamanın tek başına bakteriyel başarı ölçütü olmadığını desteklemektedir.

3.4. En uzun kök kalınlığı

Kök kalınlığı bakımından uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Bakterisiz %25 nemde 0,83 mm ile en yüksek sayısal değer belirlenmiştir (Tablo 1; Şekil 6). Krizantem çeliklerinde PGPR formülasyonlarıyla köklenme ve kök uzunluğunda artış bildiren Dalda-Sekerci ve ark. (2026), mikrobiyal yanıtların özellik ve konukçu bazında incelenmesi gerektiğine ilişkin bir örnek sunmaktadır.

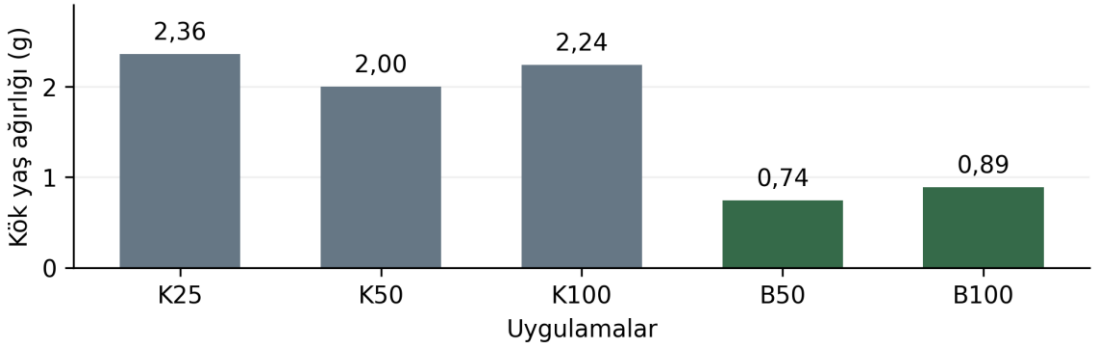


Şekil 6: Kök kalınlığı (mm).
K25/K50/K100: bakterisiz %25/%50/%100 nem; B50/B100: KF3B + %50/%100 nem.

Çığ ve ark. (2024), *Acacia cyanophylla*'da kontrolün kök uzunluğunu 3,25 cm ve kök kalınlığını 0,34 cm olarak bildirmiştir. KF58B ile en yüksek sayısal yan kök sayısı 1,07 adet olmasına rağmen bu özellikte uygulamalar arası fark önemli bulunmamıştır.

3.5 Kök yaş ağırlığı

Kök yaş ağırlığında uygulamalar arası fark istatistik olarak önemli bulunmuştur ($P<0,001$). Bakterisiz %25, %50 ve %100 nem düzeylerinde sırasıyla 2,36; 2,00 ve 2,24 g elde edilmiş ve bu üç uygulama istatistik olarak aynı grupta yer almıştır. KF3B + %50 ve KF3B + %100 nem gruplarında değerler 0,74 ve 0,89 g olmuş; her iki uygulama aynı grupta yer almıştır (Tablo 1; Şekil 7). Böylece üç bakterisiz uygulama arasında kök yaş ağırlığı yönünden fark bulunmazken, inokulasyon uygulamalarının ortalamaları daha düşük bir grupta toplanmıştır.



Şekil 7: Kök yaş ağırlığı (g).

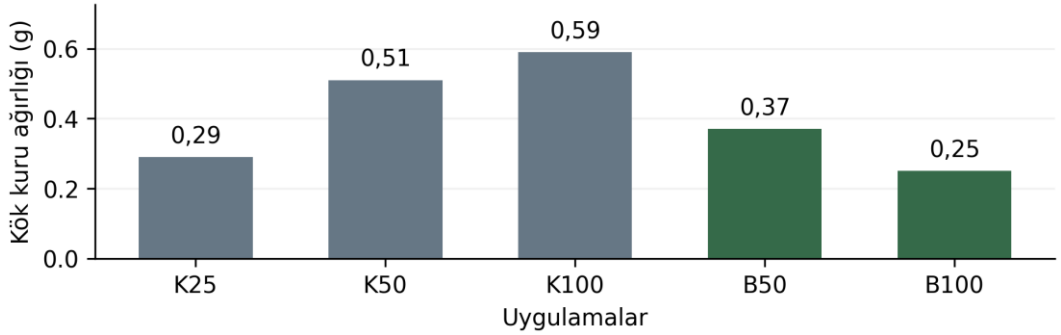
K25/K50/K100: bakterisiz %25/%50/%100 nem; B50/B100: KF3B + %50/%100 nem.

Dirikolu ve Çığ (2025), zakkumda KF3B uygulamasında 3,48 g kök yaş ağırlığı, kontrolde 2,32 g bildirmiş ve KF3B'yi daha yüksek bir harf grubunda göstermiştir. Buna karşılık mevcut denemede KF3B gruplarında 0,74–0,89 g elde edilmiş ve aynı nemdeki kontroller daha yüksek bulunmuştur. Aynı suşun köklenme yüzdesi ve kök yaş ağırlığı bakımından farklı yanıtlar verebilmesi, köklenen çelik oranı ile köklenen bireylerin biyokütlesinin birlikte değerlendirilmesini gerektirir. Batur ve Çığ (2025b) da beş süs bitkisi türünde kök yaş ağırlığı için uygulama ana etkisini önemsiz, tür × uygulama etkileşimini

ise önemli bulmuştur. Bu sonuçlar, bakteriyel etkinliğin tür ve yetiştirme koşulları çerçevesine göre değişebileceğini göstermektedir.

3.6 Kök kuru ağırlığı

Kök kuru ağırlığı 0,25-0,59 g arasında değişmiş ve uygulamalar arasında istatistiksel fark saptanmamıştır. Bakterisiz %25, %50 ve %100 nemde değerler 0,29; 0,51 ve 0,59 g, KF3B + %50 ve KF3B + %100 nemde 0,37 ve 0,25 g olmuştur (Tablo 1; Şekil 8). Bakterisiz uygulamalarda kök kuru ağırlığı nem düzeyi arttıkça sayısal olarak yükselmiş; ancak uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.



Şekil 8: Kök kuru ağırlığı (g).

K25/K50/K100: bakterisiz %25/%50/%100 nem; B50/B100: KF3B + %50/%100 nem.

Çığ ve Çığ (2021), *Sesbania* fidelerinde KF3B için 0,221 g yaş ve 0,021 g kuru ağırlık; Çığ (2021) ise Zn uygulamalarında aynı suş için 0,337 g yaş ve 0,084 g kuru ağırlık bildirmiştir.

4. SONUÇ

Zakkum çeliklerinde kullanılan KF3B inokulasyon protokolü, aynı nem düzeyindeki bakterisiz kontrollere göre köklenme yüzdesi ve kök yaş ağırlığını artırmamıştır. Bakterisiz %100 nem uygulaması %80,00 köklenmeyle en yüksek çoğaltma başarısını sağlamış; KF3B uygulanan %50 ve %100 nem düzeylerinde oranlar sırasıyla %33,33 ve %40,00'da kalmıştır. KF3B + %25 nemde köklenme oluşmaması, bu uygulamanın düşük nemde başarılı olmadığını göstermiştir. Ngumbi ve Kloepper (2016), bakterilerin kuraklıkla ilişkili etkilerinin değerlendirilmesinde tarama protokolleri ve fizyolojik ölçümlerin önemini vurgulamaktadır. İleri denemelerde farklı inokulum dozlarının ve daldırma sürelerinin sınanması, uygulanabilir bir köklendirme protokolü geliştirilmesine yardımcı olabilir.

Teşekkür: Bu çalışma, Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yüksek lisans yapan Muazzez DEĞERLİ ERDOĞAN tarafından yürütülen "Zakkum Çeliklerinin Köklendirilmesinde Kullanılan ve ACC Deaminaz Etkinligi Gösteren KF3B (*Paenarthrobacter nitroguajacolicus*) Bakterisinin Farklı Nem Düzeylerindeki Etkisi" adlı yüksek lisans tez çalışmasının bir kısmından üretilmiştir.

Kaynaklar

Batur, Ş., & Çığ, A. (2025a). Bazı süs bitkileri çeliklerinde bakteriyel inokülasyon ve IBA'nın sürgün gelişimine etkileri. Bahçe, 54(Özel Sayı 1), 343–348. https://doi.org/10.53471/bahce.1558751

Batur, Ş., & Çığ, A. (2025b). Rizobakteriyel inokülasyon ve IBA'nın bazı süs bitkileri çeliklerinin köklenmesi üzerine etkilerin belirlenmesi. Bahçe, 54(Özel Sayı 1), 335–342. https://doi.org/10.53471/bahce.1558628

Bintaş, P. A., Çığ, A., & Türkoğlu, N. (2020). Investigation of the effects of some bacterial isolates and fertilizer applications on nutrient contents of hyacinth. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 48(2), 978–988. https://doi.org/10.15835/nbha48211911

Çığ, A. (2021). Germination of *Sesbania punicea* (Cav.) Benth. seeds by bacteria applications showing ACCD activity and zinc-contaminated media. ISPEC 7th International Conference on Agriculture, Animal Sciences and Rural Development 18-19 September 2021, Muş, Türkiye, pp: 1220-1232.

Çığ, A. (2022). Determination of germination and some early development parameters of *Sesbania punicea* (Cav.) Benth. seeds by bacteria applications showing ACCD activity under lead stress. International Conference on Global Practice of Multidisciplinary Scientific Studies, 6-8 March 2022, Kyrenia- Turkish Republic of Northern Cyprus, pp:1506-1517.

Çığ, A., Alp, Ş., & Bayram, M. (2025). Kadmiyum etkisi altındaki Kıbrıs akasyası (*Acacia cyanophylla* Lindley) tohumlarının çimlenmesine *Serratia grimesii* bakteri ırkının yaptığı etkiler. Bahçe, 54(Özel Sayı 1), 361–368. https://doi.org/10.53471/bahce.1556832

Çığ, A., Mikail, N., & Aundov, İ. (2024). Effect of PGPB on germination and early development parameters of *Acacia cyanophylla* (Lindley) seeds in lead contaminated media. F. S. Mammadov, R. A. Aliev, J. Kacprzyk, & W. Pedrycz (Ed.), International Conference on Smart Environment and Green Technologies – ICSEGT2024 (Lecture Notes in Networks and Systems, Cilt 1251, ss. 261–268). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-81567-6_30

Çığ, F., & Çığ, A. (2021). The effect of ACCD bacterial strains on seedling of *Sesbania punicea* (Cav.) Benth. under drought stress. B. Kır & S. Seydoşoğlu (Ed.), 3rd International Conference On Food, Agriculture and Veterinary, 19-20 June 2021, İzmir, Türkiye. pp: 1137-1144.

Dalda Şekerci, A., & Ünlü, E. (2023). Bitki gelişimini teşvik eden rizobakteri (PGPR) uygulamalarının kalanşo (*Kalanchoe blossfeldiana*) çeliklerinde köklenme ve fide kalitesine etkisi. Erciyes Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi, 6(1), 73-78. https://doi.org/10.55257/ethabd.1265770

Dalda-Sekerci, A., Unlu, E., Avci, M., & Yetisir, H. (2026). Evaluation of the impact of IAA gene-expressing PGPR strains on rooting efficiency, seedling vigor, and protein profile in chrysanthemum cuttings. Biologia, 81, Article 47. https://doi.org/10.1007/s11756-025-02125-w

Dirikolu, S. M., & Çığ, A. (2025). Zakkum çeliklerinin köklenmesinde bitki büyümeyi teşvik edici bakteri ve salisilik asit uygulamalarının etkileri. M. F. Baran & S. Seydoşoğlu (Ed.), International Conference on Global Practice of Multidisciplinary Scientific Studies – X, Mayıs 23 - 28, 2025, Kyrenia, CYPRUS, pp: 1492-1505.

Druege, U., Hilo, A., Pérez-Pérez, J. M., Klopotek, Y., Acosta, M., Shahinnia, F., Zerche, S., Franken, P., & Hajirezaei, M. R. (2019). Molecular and physiological control of adventitious rooting in cuttings: Phytohormone action meets resource allocation. Annals of Botany, 123(6), 929-949. https://doi.org/10.1093/aob/mcy234

Eşitken, A., Ercişli, S., Şevik, İ., & Şahin, F. (2003). Effect of indole-3-butyric acid and different strains of Agrobacterium rubi on adventive root formation from softwood and semi-hardwood wild sour cherry cuttings. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 27(1), 37-42. https://journals.tubitak.gov.tr/agriculture/vol27/iss1/6/

Glick, B. R. (2014). Bacteria with ACC deaminase can promote plant growth and help to feed the world. Microbiological Research, 169(1), 30-39. https://doi.org/10.1016/j.micres.2013.09.009

Keskin, İ., Başpınar, E., Mikail, N., & Altay, Y. (2025). Deneysel istatistik yöntemler (RStudio uygulamalı). Necmettin Erbakan Üniversitesi Yayınları. https://doi.org/10.51144/neupress.2025.400

Kınık, E., & Çelikel, F. G. (2017). Bakteri ve oksin uygulamalarının kuşburnu bitkisinin çelikle çoğaltılması üzerine etkileri. Türk Tarım - Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5(13), 1714-1719. https://doi.org/10.24925/turjaf.v5i13.1714-1719.1526

Köse, H., & Kostak, S. (2000). Panaşalı zakkumun (*Nerium oleander* L. cv. Variegata) çelikle çoğaltılması ve paclobutrazolun büyüme ve çiçeklenmeye etkileri. ANADOLU Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi, 10(1), 31-42. https://dergipark.org.tr/tr/pub/anadolu/issue/1780/21898

Lugtenberg, B., & Kamilova, F. (2009). Plant-growth-promoting rhizobacteria. Annual Review of Microbiology, 63, 541-556. https://doi.org/10.1146/annurev.micro.62.081307.162918

Ngumbi, E., & Kloepper, J. (2016). Bacterial-mediated drought tolerance: Current and future prospects. Applied Soil Ecology, 105, 109-125. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.04.009

Pakyürek, M., & Çığ, A. (2021). The effect of bacterial & hormonal applications on the rooting of Zivzik pomegranate cuttings. B. Kır & S. Seydoşoğlu (Ed.), 3rd International Conference on Food, Agriculture and Veterinary, 19-20 June 2021, İzmir, Türkiye, pp: 1347-1357.

Ruzzi, M., & Aroca, R. (2015). Plant growth-promoting rhizobacteria act as biostimulants in horticulture. Scientia Horticulturae, 196, 124-134. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.042

BİTKİLERDE TUZ STRESİNİN ETKİLERİ

EFFECTS OF SALT STRESS ON PLANTS

Mustafa ÇİRKA
Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Iğdır University, Iğdır, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-006506-7407

ÖZET

Toprak tuzluluğu, dünya genelinde tarımsal üretimi sınırlandıran ve bitkisel verimliliği olumsuz etkileyen önemli abiyotik stres faktörlerinden biridir. Özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde yetersiz yağış, yüksek buharlaşma, bilinçsiz sulama uygulamaları, drenaj yetersizliği ve düşük kaliteli sulama sularının kullanımı topraklarda tuz birikimini artırmaktadır. Tuz stresi, bitkilerde başta ozmotik stres ve iyon toksisitesi olmak üzere oksidatif stres, mineral beslenme bozuklukları, fotosentetik aktivitede azalma, büyüme ve gelişmede gerileme gibi çok yönlü fizyolojik ve biyokimyasal değişikliklere neden olmaktadır. Yüksek tuz konsantrasyonları, tohumların su alımını sınırlandırarak çimlenme oranını düşürmekte, kök ve sürgün gelişimini baskılamakta, hücresel iyon dengesini bozmakta ve sonuç olarak tarımsal verim kayıplarına yol açmaktadır. Bununla birlikte bitkiler, tuz stresinin olumsuz etkilerini azaltabilmek amacıyla ozmotik düzenleme, iyon homeostazisinin korunması, antioksidan savunma sistemlerinin etkinleştirilmesi ve stresle ilişkili genlerin ifade düzeylerinin değiştirilmesi gibi çeşitli adaptasyon mekanizmaları geliştirmektedir. Bu çalışmada, tuz stresinin bitkiler üzerindeki morfolojik, fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler etkileri güncel bilimsel literatür çerçevesinde değerlendirilmiş; bitkilerin tuzluluğa karşı geliştirdikleri tolerans mekanizmaları ve tarımsal üretimde uygulanabilecek yönetim stratejileri tartışılmıştır. Sonuç olarak tuzluluk probleminin azaltılmasında uygun sulama ve drenaj yönetimi, tuza dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesi, dengeli bitki besleme ve biyoteknolojik yaklaşımların birlikte değerlendirilmesinin sürdürülebilir bitkisel üretim açısından önem taşıdığı sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Abiyotik stres, bitki fizyolojisi, iyon toksisitesi, oksidatif stres, tuz toleransı, toprak tuzluluğu.

ABSTRACT

Soil salinity is one of the major abiotic stress factors limiting agricultural production and negatively affecting plant productivity worldwide. Particularly in arid and semi-arid regions, insufficient precipitation, high evaporation rates, improper irrigation practices, inadequate drainage, and the use of poor-quality irrigation water contribute to salt accumulation in soils. Salt stress causes various physiological and biochemical alterations in plants, including osmotic stress, ion toxicity, oxidative damage, nutrient imbalance, reduced photosynthetic activity, and inhibited growth and development. High salt concentrations restrict water uptake by seeds, reduce germination rates, suppress root and shoot development, disrupt cellular ion homeostasis, and ultimately decrease crop productivity. However, plants have developed several adaptive mechanisms to alleviate the adverse effects of salinity, including osmotic adjustment, maintenance of ion homeostasis, activation of antioxidant defense systems, and regulation of stress-responsive gene expression. In this review, the morphological, physiological, biochemical, and molecular effects of salt stress on plants were evaluated based on the scientific literature. Furthermore, plant tolerance mechanisms and potential management strategies for improving agricultural productivity under saline conditions were discussed. It was concluded that integrating appropriate irrigation and drainage management, developing salt-tolerant cultivars, maintaining balanced plant nutrition, and applying biotechnological approaches is essential for sustainable crop production in salt-affected agricultural areas.

Keywords: Abiotic stress, ion toxicity, oxidative stress, plant physiology, salt tolerance, soil salinity.

1. GİRİŞ

Tarımsal üretimin sürdürülebilirliği, bitkilerin yetiştirildiği çevresel koşullarla doğrudan ilişkilidir. İklim değişikliği, su kaynaklarının azalması, toprak bozulumu ve artan tuzluluk, dünya genelinde bitkisel üretimin karşı karşıya olduğu temel sorunlar arasında yer almaktadır.

Özellikle toprak ve sulama suyu tuzluluğu, bitkilerin normal metabolik faaliyetlerini sınırlandırarak büyüme, gelişme ve verim üzerinde önemli kayıplara neden olmaktadır (Munns & Tester, 2008; Zörb et al., 2019). Toprak tuzluluğu, bitki kök bölgesinde çözünür tuzların bitkisel gelişmeyi olumsuz etkileyecek düzeyde birikmesiyle ortaya çıkmaktadır. Tuzlu topraklarda genellikle sodyum (Na^+) ve klorür (Cl^-) iyonları önemli rol oynamakla birlikte kalsiyum, magnezyum, sülfat ve diğer çözünür iyonlar da toplam tuzluluğa katkıda bulunmaktadır. Tuzluluğun bitkiler üzerindeki etkisi yalnızca toplam tuz konsantrasyonuna değil, tuzların kimyasal bileşimine, bitki türüne, gelişme dönemine ve çevresel koşullara göre değişmektedir (Isayenkov & Maathuis, 2019). Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü tarafından yayımlanan küresel değerlendirmeye göre dünya genelinde yaklaşık 1,38 milyar hektar alan tuzdan etkilenmiş durumda olup bu miktar küresel kara alanlarının yaklaşık %10,7'sine karşılık gelmektedir (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2024). Bu durum, toprak tuzluluğunun yalnızca bölgesel bir tarımsal sorun olmadığını, aynı zamanda gıda güvenliği ve doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı açısından küresel bir tehdit oluşturduğunu göstermektedir.

Kurak ve yarı kurak iklim koşullarına sahip bölgelerde düşük yağış miktarı, yüksek evapotranspirasyon ve yetersiz drenaj nedeniyle tuzların toprak profilinde birikme riski artmaktadır. Sulama uygulamalarında drenajın yeterince sağlanmaması, taban suyu seviyesinin yükselmesi ve tuz içeren sulama sularının kullanılması ikincil tuzlulaşmayı hızlandırabilmektedir. Tuz stresine maruz kalan bitkilerde ilk olarak su alımında güçlük meydana gelmekte, daha sonraki süreçte iyon birikimi ve hücresel toksisite belirginleşmektedir. Bu değişimler fotosentez, solunum, mineral beslenme, protein sentezi ve enzimatik faaliyetleri etkileyerek bitki gelişimini sınırlandırmaktadır (Gupta & Huang, 2014). Bitkilerin tuz stresine karşı gösterdikleri tepkiler oldukça karmaşık olup morfolojik, fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler düzeylerde gerçekleşmektedir. Bazı bitki türleri yüksek tuz konsantrasyonlarına karşı duyarlılık gösterirken bazı türler çeşitli adaptasyon mekanizmaları sayesinde tuzlu ortamlarda yaşamlarını sürdürebilmektedir (Flowers & Colmer, 2008).

2. TUZ STRESİNİN OLUŞUMU VE TEMEL MEKANİZMALARI

Topraklarda tuz birikimi doğal ve insan kaynaklı süreçler sonucunda meydana gelmektedir. Ana materyalin ayrışması, tuz içeren yer altı sularının kapilar yükselmesi, deniz suyu girişimi ve doğal iklim koşulları birincil tuzlulaşmanın nedenleri arasında bulunmaktadır. Buna karşılık yanlış sulama uygulamaları, yetersiz drenaj ve uygunsuz arazi yönetimi ikincil tuzlulaşmaya yol açmaktadır. Tuz stresinin bitkiler üzerindeki etkileri genel olarak iki temel aşamada değerlendirilmektedir. Birinci aşama, kök çevresindeki çözeltinin ozmotik potansiyelinin düşmesiyle ortaya çıkan ozmotik stres; ikinci aşama ise bitki dokularında özellikle Na^+ ve Cl^- iyonlarının birikmesiyle gelişen iyonik strestir (Munns & Tester, 2008).

2.1. Ozmotik stres

Toprak çözeltisinde tuz konsantrasyonunun artması suyun ozmotik potansiyelini düşürmekte ve bitki köklerinin su alımını güçleştirmektedir. Toprakta yeterli miktarda nem bulunsa bile yüksek tuz konsantrasyonu nedeniyle bitkiler fizyolojik kuraklık yaşayabilmektedir. Ozmotik stresin ilk etkileri arasında hücre genişlemesinin yavaşlaması, yaprak gelişiminin sınırlandırılması, stomatal iletkenliğin azalması ve sürgün büyümesinin gerilemesi bulunmaktadır. Bu süreçte bitkiler, su kaybını azaltmak amacıyla stomalarını kısmen kapatabilmekte, ancak bu tepki karbon dioksit alımını sınırlandırarak fotosentetik kapasitenin azalmasına da neden olabilmektedir (van Zelm et al., 2020).

2.2. İyonik stres ve iyon toksisitesi

Tuz stresinin ilerleyen aşamalarında Na^+ ve Cl^- iyonlarının bitki dokularında aşırı birikmesi hücresel metabolizmayı olumsuz etkilemektedir. Özellikle sitoplazmada yüksek Na^+ konsantrasyonu, potasyumun (K^+) hücresel işlevlerini bozabilmekte ve çeşitli enzimatik süreçlerde düzensizliklere neden olabilmektedir. Potasyum; protein sentezi, enzim aktivasyonu, stomatal hareketler ve hücresel ozmotik düzenleme açısından önemli bir elementtir. Tuzlu koşullarda Na^+ ile K^+ arasındaki rekabetin artması, bitki dokularındaki K^+/Na^+ dengesinin bozulmasına neden olabilmektedir (Deinlein et al., 2014).

İyonik stresin uzun süre devam etmesi yapraklarda kloroz, nekroz, erken yaşlanma ve fotosentetik dokuların zarar görmesiyle sonuçlanabilmektedir. Bununla birlikte iyonların toksik etkileri bitki türüne ve dokuların iyonları depolama kapasitesine göre farklılık göstermektedir.

3. TUZ STRESİNİN BİTKİLERİN MORFOLOJİK GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİLERİ

3.1. Tohum çimlenmesi ve fide gelişimi

Tohum çimlenmesi, bitki yaşam döngüsünün çevresel koşullara duyarlı aşamalarından biridir. Tuz stresi, tohumların su alımını sınırlandırarak çimlenme sürecini geciktirebilmekte ve çimlenme yüzdesini azaltabilmektedir. Yüksek tuz konsantrasyonlarında tohumun su alımının azalması, çimlenme için gerekli metabolik faaliyetlerin başlamasını güçleştirmektedir. Ayrıca iyon toksisitesi, hücre zarlarının işlevlerini ve çimlenmeyle ilişkili enzimatik aktiviteleri olumsuz etkileyebilmektedir (Parihar et al., 2015). Tuz stresinin fide dönemindeki etkileri arasında kök ve sürgün uzunluğunda azalma, kuru madde birikiminin gerilemesi, yaprak alanının küçülmesi ve fide canlılığının düşmesi bulunmaktadır. Bu nedenle tuzluluğun erken gelişme döneminde oluşturduğu olumsuzluklar, bitkilerin sonraki gelişme dönemlerini de etkileyebilmektedir.

3.2. Kök gelişimi

Kök sistemi, tuz stresini doğrudan algılayan ve strese karşı ilk fizyolojik tepkilerin ortaya çıktığı organlardan biridir. Tuzlu koşullarda köklerin uzama hızı azalabilmekte, kök mimarisi değişebilmekte ve köklerin su ile besin elementi alım kapasitesi olumsuz etkilenebilmektedir. Bununla birlikte bazı bitkilerde kök/sürgün oranı artabilmektedir. Bu durum her zaman kök büyümesinin mutlak olarak arttığını göstermemekte; sürgün gelişiminin kök gelişimine göre daha fazla baskılanmasından da kaynaklanabilmektedir (Munns & Tester, 2008). Kök gelişimindeki değişiklikler, bitki türünün genetik özelliklerine, tuzluluk düzeyine ve stres süresine bağlı olarak farklılık göstermektedir.

3.3. Yaprak ve gövde gelişimi

Tuz stresi altında bitkilerin yaprak alanı, gövde uzunluğu, boğum arası mesafesi ve biyokütle üretiminde azalma görülebilmektedir. Özellikle yaprak genişlemesinin yavaşlaması, fotosentetik yüzey alanını azaltarak bitkilerin karbon kazanımını sınırlandırmaktadır. Yapraklarda sararma, uç ve kenar yanıklıkları, nekrotik lekeler ve erken yaşlanma tuz stresinin gözlenebilen belirtileri arasında yer almaktadır. Ancak bu belirtiler yalnızca tuzluluğa özgü olmadığından besin elementi eksiklikleri ve diğer stres faktörleriyle birlikte değerlendirilmelidir (Gupta & Huang, 2014).

4. TUZ STRESİNİN FİZYOLOJİK ETKİLERİ

4.1. Bitki-su ilişkileri

Bitkilerin su dengesi, normal büyüme ve gelişme açısından temel öneme sahiptir. Tuz stresinde toprak çözeltisinin ozmotik potansiyelinin düşmesi, köklerden su alımını güçleştirmektedir. Bitkiler, su kaybını azaltmak amacıyla stomatal açıklıklarını düzenlemekte ve terleme hızlarını sınırlandırabilmektedir. Bununla birlikte stomaların kapanması, fotosentez için gerekli CO_2 girişini de azaltmaktadır. Tuz stresine dayanıklı bitkiler, hücresel su dengesini koruyabilmek amacıyla prolin, glisin betain ve çeşitli çözünür şekerler gibi organik bileşikleri biriktirebilmektedir. Bu bileşikler ozmotik düzenlemeye katkıda bulunarak hücrelerin su kaybına karşı korunmasını desteklemektedir (Gupta & Huang, 2014).

4.2. Fotosentez üzerine etkileri

Fotosentez, tuz stresinden önemli ölçüde etkilenen fizyolojik süreçlerden biridir. Tuzlu koşullarda stomatal iletkenliğin azalması, klorofil içeriğindeki değişimler, fotosentetik elektron taşınımının bozulması ve karbon fiksasyonunda görev alan enzimlerin etkilenmesi sonucunda fotosentetik performans düşebilmektedir. Fotosentezde meydana gelen azalma başlangıçta stomatal sınırlamalardan kaynaklanabilirken stresin şiddeti ve süresi arttıkça stomatal olmayan sınırlamalar da belirginleşebilmektedir (Zörb et al., 2019). Tuz stresinin şiddetlenmesi, kloroplast yapısının zarar görmesine, fotosistemlerin etkinliğinin azalmasına ve reaktif oksijen türlerinin aşırı oluşmasına neden olabilmektedir.

4.3. Mineral beslenme üzerine etkileri

Tuzlu topraklarda iyonlar arasındaki rekabet ve köklerin seçici iyon alımındaki değişimler, bitkilerin mineral beslenmesini olumsuz etkileyebilmektedir. Özellikle yüksek Na^+ konsantrasyonu, K^+ alımını ve hücresel K^+ dengesini etkileyebilirken bazı koşullarda kalsiyum ve magnezyum beslenmesi de bozulabilmektedir. Bunun yanı sıra tuzluluk, azot ve fosfor metabolizmasını doğrudan veya dolaylı olarak etkileyebilmektedir (Isayenkov & Maathuis, 2019). Mineral beslenmedeki bozulmalar, enzim faaliyetleri, protein sentezi, klorofil oluşumu ve hücresel metabolizma üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır.

5. TUZ STRESİNİN BİYOKİMYASAL ETKİLERİ

5.1. Oksidatif stres ve reaktif oksijen türleri

Tuz stresi, bitki hücrelerinde reaktif oksijen türlerinin üretimini artırabilmektedir. Süperoksit radikali ($O_2^{\bullet -}$), hidrojen peroksit (H_2O_2) ve hidroksil radikali ($^{\bullet}OH$) gibi reaktif oksijen türleri normal koşullarda da hücresel metabolizma sırasında oluşmaktadır. Bununla birlikte tuz stresi altında bu moleküllerin üretimi ile antioksidan savunma kapasitesi arasındaki dengenin bozulması, oksidatif stresin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Aşırı reaktif oksijen türleri, membran lipitlerinin peroksidasyonuna, proteinlerin oksidatif modifikasyonuna, nükleik asitlerde hasara ve hücresel işlevlerin bozulmasına yol açabilmektedir (Parihar et al., 2015). Oksidatif hasarın göstergelerinden biri olan malondialdehit (MDA) düzeyindeki artış, tuz stresine karşı bitki dokularında meydana gelen membran hasarının değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Ancak MDA düzeyi tek başına tuz toleransını belirleyen kesin bir ölçüt değildir.

5.2. Antioksidan savunma sistemi

Bitkiler, tuz stresinin neden olduğu oksidatif hasarı sınırlandırabilmek amacıyla enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidan savunma sistemlerini etkinleştirmektedir. Enzimatik antioksidanlar arasında süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), askorbat peroksidaz (APX) ve çeşitli peroksidazlar yer almaktadır. Süperoksit dismutaz, süperoksit radikallerinin hidrojen peroksite dönüşümünü katalizlerken katalaz ve askorbat peroksidaz gibi enzimler hidrojen peroksitin uzaklaştırılmasında görev almaktadır. Askorbik asit, glutatyon, karotenoidler ve fenolik bileşikler ise enzimatik olmayan antioksidan savunmanın önemli bileşenleridir (Gupta & Huang, 2014). Antioksidan savunma sisteminin etkinliği, bitkilerin tuz stresine karşı gösterebildikleri toleransın önemli bileşenlerinden biridir.

5.3. Prolin ve ozmotik düzenleyici maddeler

Prolin, tuz stresi koşullarında birçok bitki türünde birikimi artabilen önemli bir amino asittir. Hücresel ozmotik düzenlemeye katkıda bulunmasının yanı sıra protein ve membran yapılarının korunmasıyla ilişkili metabolik süreçlerde görev alabilmektedir. Benzer şekilde glisin betain, trehaloz ve çözünür şekerler de hücresel ozmotik dengenin korunmasında rol oynayabilmektedir. Bununla birlikte prolin birikiminin her durumda yüksek tuz toleransını gösterdiği söylenemez. Çünkü prolin miktarındaki artış, bazı bitki türlerinde stresin şiddetine verilen metabolik bir yanıtı da yansıtabilmektedir (Gupta & Huang, 2014).

6. TUZ STRESİNİN MOLEKÜLER ETKİLERİ VE TOLERANS MEKANİZMALARI

Bitkilerin tuz stresine karşı geliştirdikleri tolerans mekanizmaları, çok sayıda gen ve düzenleyici sinyal yolunun koordineli çalışması sonucunda oluşmaktadır. Tuz stresinin algılanmasından sonra hücre içerisinde kalsiyum sinyalleri, protein kinaz aktiviteleri, hormon düzeyleri ve gen ifade profillerinde değişiklikler meydana gelmektedir (Yang & Guo, 2018).

6.1. İyon homeostazisi ve SOS sinyal yolu

Tuz toleransının temel mekanizmalarından biri, hücre içerisindeki iyon dengesinin korunmasıdır. Bitkiler, sitoplazmada aşırı Na^+ birikimini sınırlandırabilmek amacıyla plazma membranındaki iyon taşıyıcılarını ve vakuolar depolama mekanizmalarını kullanmaktadır. Salt Overly Sensitive (SOS) sinyal yolu, sodyum iyonlarının hücre dışına taşınmasının düzenlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Bu sistemde SOS1, plazma membranında bulunan bir Na^+/H^+ antiporteri olarak görev yapmaktadır.

SOS2 ve SOS3 gibi sinyal bileşenleri ise bu mekanizmanın düzenlenmesine katkı sağlamaktadır (Yang & Guo, 2018).

6.2. HKT ve NHX taşıyıcı proteinleri

High-Affinity K^+ Transporter (HKT) ailesi içerisinde yer alan bazı taşıyıcılar, Na^+ iyonlarının bitki içerisindeki dağılımını düzenleyerek özellikle yapraklarda aşırı Na^+ birikiminin sınırlandırılmasına katkıda bulunmaktadır. NHX ailesindeki belirli Na^+/H^+ antiporterleri ise iyonların vakuollerde depolanmasını sağlayarak sitoplazmik iyon dengesinin korunmasında görev yapabilmektedir. Bu mekanizmalar, bitkinin hem iyon toksisitesinden korunmasına hem de ozmotik düzenleme kapasitesinin geliştirilmesine katkıda bulunmaktadır (Deinlein et al., 2014; van Zelm et al., 2020).

6.3. Bitki hormonlarının rolü

Tuz stresi altında absisik asit (ABA), etilen, oksin, sitokinin ve diğer bitki hormonlarının sentezi, taşınması veya sinyal iletiminde değişiklikler meydana gelebilmektedir. Özellikle ABA, su stresine verilen yanıtlarda stomatal hareketlerin düzenlenmesi ve stresle ilişkili genlerin aktivasyonu açısından önemli işlevler üstlenmektedir. Bununla birlikte hormonal yanıtların etkisi, bitki türüne ve stresin şiddetine göre değişebilmektedir. Bu nedenle tuz toleransı tek bir hormonun etkisiyle açıklanamamaktadır (van Zelm et al., 2020).

6.4. Genetik ve biyoteknolojik yaklaşımlar

Tuz toleransının geliştirilmesinde geleneksel ıslah, moleküler markörlerden yararlanma, genetik mühendisliği ve genom düzenleme gibi yaklaşımlar önemli araştırma alanları arasında bulunmaktadır. Özellikle iyon taşınımı, antioksidan savunma, ozmotik düzenleme ve stres sinyal yollarıyla ilişkili genlerin belirlenmesi, tuza dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesi bakımından önem taşımaktadır. Ancak laboratuvar koşullarında belirlenen tolerans özelliklerinin tarla koşullarındaki verim performansını her zaman aynı şekilde yansıtmadığı dikkate alınmalıdır. Bu nedenle tuz toleransına yönelik moleküler çalışmaların farklı çevre koşullarında yürütülen agronomik denemelerle desteklenmesi gerekmektedir (Deinlein et al., 2014).

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Toprak tuzluluğu, bitkisel üretimi sınırlandıran ve sürdürülebilir tarım açısından giderek önem kazanan başlıca abiyotik stres faktörlerinden biridir. Tuz stresinin bitkiler üzerindeki etkileri, yalnızca su alımının azalmasıyla sınırlı kalmamakta; iyon toksisitesi, oksidatif hasar, mineral beslenme bozuklukları, fotosentetik kapasitede azalma ve metabolik düzensizlikler gibi birbiriyle ilişkili çok sayıda fizyolojik ve biyokimyasal süreç üzerinden gerçekleşmektedir. Literatür değerlendirmesi sonucunda tuz stresinin etkilerinin bitki türüne, genotipe, gelişme dönemine, stresin şiddetine ve süresine bağlı olarak önemli farklılıklar gösterdiği anlaşılmaktadır. Özellikle erken gelişme dönemlerinde çimlenme ve fide gelişiminin olumsuz etkilenmesi, sonraki dönemlerde bitki büyümesinin ve verim potansiyelinin azalmasına neden olabilmektedir.

Bitkilerin tuz stresine karşı geliştirdikleri ozmotik düzenleme, iyon homeostazisi, antioksidan savunma ve stresle ilişkili genlerin düzenlenmesi gibi mekanizmalar, tuz toleransının temel bileşenlerini oluşturmaktadır. Bununla birlikte tuz toleransının karmaşık ve çok genli yapısı, dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesinde bütünleşik yaklaşımların önemini artırmaktadır. Sürdürülebilir bitkisel üretimin sağlanabilmesi için toprak ve sulama suyu tuzluluğunun düzenli olarak izlenmesi, uygun drenaj sistemlerinin oluşturulması, dengeli gübreleme uygulanması ve tuza dayanıklı bitki çeşitlerinin yetiştiriciliğe kazandırılması gerekmektedir. Gelecekte yapılacak araştırmalarda özellikle yerel bitki genotiplerinin tuz stresine karşı fizyolojik ve moleküler tepkilerinin belirlenmesi, farklı tuzluluk düzeylerinde verim ve kalite ilişkilerinin incelenmesi ve laboratuvar bulgularının tarla koşullarında doğrulanması önem taşımaktadır.

Sonuç olarak tuz stresinin olumsuz etkilerinin azaltılması, yalnızca bitkilerin genetik dayanıklılığının artırılmasıyla değil, aynı zamanda toprak, su ve bitki yönetiminin birlikte ele alındığı bütünleşik tarımsal uygulamalarla mümkün olabilecektir.

KAYNAKLAR

Deinlein, U., Stephan, A. B., Horie, T., Luo, W., Xu, G., & Schroeder, J. I. (2014). Plant salt-tolerance mechanisms. Trends in Plant Science, 19(6), 371–379. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2014.02.001

Flowers, T. J., & Colmer, T. D. (2008). Salinity tolerance in halophytes. New Phytologist, 179(4), 945–963. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02531.x

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2024). Global status of salt-affected soils. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cd3044en

Gupta, B., & Huang, B. (2014). Mechanism of salinity tolerance in plants: Physiological, biochemical, and molecular characterization. International Journal of Genomics, 2014, Article 701596. https://doi.org/10.1155/2014/701596

Isayenkov, S. V., & Maathuis, F. J. M. (2019). Plant salinity stress: Many unanswered questions remain. Frontiers in Plant Science, 10, Article 80. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00080

Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology, 59, 651–681. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911

Parihar, P., Singh, S., Singh, R., Singh, V. P., & Prasad, S. M. (2015). Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: A review. Environmental Science and Pollution Research, 22(6), 4056–4075. https://doi.org/10.1007/s11356-014-3739-1

van Zelm, E., Zhang, Y., & Testerink, C. (2020). Salt tolerance mechanisms of plants. Annual Review of Plant Biology, 71, 403–433. https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050718-100005

Yang, Y., & Guo, Y. (2018). Unraveling salt stress signaling in plants. Journal of Integrative Plant Biology, 60(9), 796–804. https://doi.org/10.1111/jipb.12689

Zörb, C., Geilfus, C.-M., & Dietz, K.-J. (2019). Salinity and crop yield. Plant Biology, 21(S1), 31–38. https://doi.org/10.1111/plb.12884

MARUL ÇEŞİTLERİNİN IN VİTRO KURAKLIK STRESİNE MORFOLOJİK TEPKİLERİ

MORPHOLOGICAL RESPONSES OF LETTUCE CULTIVARS TO IN VITRO DROUGHT STRESS

Faruk AKKAŞ
Department of Plant Production and Technologies, Graduate School of Education, Sivas University of Science and Technology, Sivas, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-9981-931X

Assoc. Prof. Dr. Gökhan BAKTEMUR
Faculty of Agricultural Sciences and Technology, Sivas University of Science and Technology, Sivas, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-0362-5108

ÖZET
Kuraklık, abiyotik stres faktörlerinden biri olup bitkilerin büyüme ve gelişme süreçlerinde çeşitli morfolojik ve fizyolojik değişimlere neden olmaktadır. Bu çalışmada, farklı marul (*Lactuca sativa* L.) çeşitlerinin in vitro koşullarda kuraklık stresine karşı gösterdikleri morfolojik tepkilerin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Araştırma, Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Bitki Doku Kültürü Laboratuvarında yürütülmüştür. Temel besin ortamı olarak Murashige ve Skoog (MS) besin ortamı kullanılmış ve ortama %0, %2, %4 ve %6 konsantrasyonlarında polietilen glikol (PEG 6000) ilave edilmiştir. Çalışmada bitkilerin gövde ve kök uzunlukları ile gövde ve kök yaş ve kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Elde edilen veriler, marul çeşitlerinin farklı ozmotik stres düzeylerine karşı gösterdikleri morfolojik gelişim tepkilerinin karşılaştırılması amacıyla değerlendirilmiştir. Araştırma, marul çeşitlerinin kontrollü in vitro koşullarda su kısıtıyla ilişkili stres tepkilerinin belirlenmesine yönelik bir değerlendirme yaklaşımı sunmaktadır.
Anahtar Kelimeler: Marul, Kuraklık stresi, PEG 6000, *In vitro*

ABSTRACT
Drought is one of the abiotic stress factors that cause various morphological and physiological changes in plant growth and development. This study aimed to evaluate the morphological responses of different lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivars to drought stress under in vitro conditions. The experiment was conducted at the Plant Tissue Culture Laboratory of Sivas University of Science and Technology. Murashige and Skoog (MS) medium was used as the basal culture medium and supplemented with polyethylene glycol (PEG 6000) at concentrations of 0%, 2%, 4%, and 6%. Shoot and root lengths, as well as shoot and root fresh and dry weights, were determined. The collected data were evaluated to compare the morphological growth responses of lettuce cultivars under different levels of osmotic stress. This research provides an experimental approach for assessing early morphological responses of lettuce cultivars to water-limitation-related stress under controlled *in vitro* conditions.
Keywords: Lettuce, Drought stress, PEG 6000, *In vitro*

13th International Cukurova Agriculture and Veterinary Congress

September 21-22, 2026 / Adana, Türkiye

REF: Akademik Teşvik

İLGİLİ MAKAMA

13. ULUSLARARASI ÇUKUROVA TARIM VE VETERİNERLİK KONGRESİ 21-22 Eylül 2026 tarihleri arasında Sivas/ Türkiye'de 18 farklı ülkenin (Türkiye-57, Diğer Ülkelerden-75) akademisyen/araştırmacılarının katılımıyla gerçekleşmiştir. Kongre 16 Ocak 2020 Akademik Teşvik Ödeneği Yönetmeliğine getirilen "Tebliğlerin sunulduğu yurt içinde veya yurt dışındaki etkinliğin uluslararası olarak nitelendirilebilmesi için Türkiye dışında en az beş farklı ülkeden sözlü tebliğ sunan konuşmacının katılım sağlaması ve tebliğlerin yarıdan fazlasının Türkiye dışından katılımcılar tarafından sunulması esastır." değişikliğine uygun düzenlenmiştir.

Bilgilerinize arz edilir,
Saygılarımla

Assoc. Prof. Dr. Zeynep DEMİR
Head of the Congress

T.C.
TARIM VE ORMAN BAKANLIĞI
Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü
Ankara Toprak, Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü

Sayı : E-67843524-900-25237055 16.06.2026

Konu : Çukurova Tarım ve Veteriner Bilimleri Kongresi Kongre Başkanlığı Daveti Hk.

Sayın Doç.Dr. Zeynep DEMİR

İlgi : 12.06.2026 tarihli başvurunuz.

İlgi tarihli dilekçe ile İKSAD İktisadi Kalkınma ve Sosyal Araştırmalar Enstitüsü tarafından 21-22 Eylül 2026 tarihleri arasında Adana ilinde düzenlenmesi planlanan "13. Uluslararası Çukurova Tarım ve Veteriner Bilimleri Kongresi"ne Kongre Başkanı olarak davet edildiğiniz belirtilerek söz konusu çalışmalar için gerekli iznin tarafınıza verilmesi talep edilmektedir. Bahse konu kongrenin Tarım ve Veteriner Bilimleri alanlarında ulusal ve uluslararası düzeyde bilimsel bilgi paylaşımına ve akademik iş birliklerinin geliştirilmesine katkı sağlayacağı değerlendirildiğinden, belirtilen tarihlerde yıllık izin kullanarak resmi görevlendirme olmaksızın mezkur çalışmalara katılmanız uygun görülmüştür.

Bilgilerinizi ve gereğini rica ederim.

Mahmut Sami ÇİFTCİ
Enstitü Müdürü V.

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.
Doğrulama Kodu: A8057654-A3C1-4E75-980D-9C11ACCC1969 Doğrulama Adresi: https://www.turkiye.gov.tr/tarim-ebys

Gayret Mah. Fatih Sultan Mehmet Bulvarı No:32 Yenimahalle/ANKARA
Tel: (312) 315 65 60
E-Posta: toprakgubresu@tarim.gov.tr Kep: tarimveormanbakanligi@hs01.kep.tr
KEP Adresi : tarimveormanbakanligi@hs01.kep.tr

Bilgi için:İrem Nur CANGÜR
4/B Sözleşmeli Personel
Telefon No:(312) 315 65 60-124